

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  
Dott. 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

E – DEPOSITO PRINCIPALE

Relazione di stabilità e cedimenti versante

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO  Ing. Pietro Gianvecchio		-

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 5 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	IL PROGETTISTA A. ROLLI  15/12/2022
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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	1 di 64

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>5</b>
<b>3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>6</b>
<b>4. SOFTWARE</b> .....	<b>8</b>
<b>5. INQUADRAMENTO GENERALE</b> .....	<b>9</b>
<b>6. CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE</b> .....	<b>10</b>
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
<b>7. DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA</b> .....	<b>15</b>
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
<b>8. CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA</b> .....	<b>20</b>
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
<b>9. CARATTERISTICHE GENERALI DELLA SEZIONE DI CALCOLO</b> .....	<b>27</b>
9.1. DESCRIZIONE DELLA SEZIONE DI CALCOLO PER LE ANALISI DI STABILITA’ .....	27
9.2. DESCRIZIONE DELLA SEZIONE DI CALCOLO PER LE ANALISI DEI CEDIMENTI .....	30

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	2 di 64

9.3. PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO .....	31
9.4. APPLICAZIONE DEI CARICHI .....	33
<b>10. ANALISI DI STABILITÀ .....</b>	<b>34</b>
10.1.1 Sezione S1 – Verifiche in condizioni statiche e sismiche.....	34
10.1.2 Sezione S2 – Verifiche in condizioni statiche e sismiche.....	40
<b>11. ANALISI DEI CEDIMENTI.....</b>	<b>46</b>
11.1. MODELLO DI CALCOLO .....	46
11.2. RISULTATI .....	54
11.2.1 Spostamenti globali.....	54
11.2.2 Spostamenti indotti sul maso e stima delle categorie di danneggiamento.....	56
11.2.3 Definizione delle categorie di danno .....	2
<b>12. ALLEGATI.....</b>	<b>3</b>

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	3 di 64

## 1. PREMESSA

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

Nell'ambito di tale progetto si prevede anche la sistemazione dei depositi comunemente indicati come depositi in Val Riga. Tali depositi sono: deposito di 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 globale del deposito di Hinterrigger. Inoltre, si riporta la stima dei cedimenti indotti dal rilevato di abbancamento sul maso di Hinterrigger.

Le sezioni di calcolo per le verifiche di stabilità sono la S1 e la S2 (Figura 9-2 e Figura 9-3), mentre per il calcolo dei cedimenti è stata considerata la sezione S3 (Figura 9-7).



Figura 1-1 - Ortofoto dell'area di studio



APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 5 di 64

## 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:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	6 di 64

### 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 - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Relazione di rispondenza tecnico-funzionale del PE, comparativa con PD e di ottemperanza alle prescrizioni – IBOU1BEZZRHRIO350001B;
- Rif. [7] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Relazione geotecnica – IBOU1BEZZCLRIO350004A;
- Rif. [8] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Relazione tecnico descrittiva – IBOU1BEZZCLRIO350001B;
- Rif. [9] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Relazione di monitoraggio – IBOU1BEZZRHRIO350006A;
- Rif. [10] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Relazione descrittiva della fasistica operativa – IBOU1BEZZRHRIO350005B;
- Rif. [11] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Relazione idraulica – IBOU1BEZZCLRIO350003B;
- Rif. [12] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Relazione tecnica e di calcolo pozzetti idraulici – IBOU1BEZZRHRIO350003B;
- Rif. [13] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Relazione tecnica e di calcolo opere di scarico – IBOU1BEZZRHRIO350004B;
- Rif. [14] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Planimetria stato di fatto – IBOU1BEZZP7RIO350001B;
- Rif. [15] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Planimetria di progetto fase finale – IBOU1BEZZP7RIO350002B;
- Rif. [16] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Planimetria sistema drenante superficiale – fase finale – IBOU1BEZZP7RIO350003B;
- Rif. [17] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Sezioni geotecniche – IBOU1BEZZWZRIO350002B;
- Rif. [18] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Sezioni trasversali fase finale Tav. 1 di 2 – IBOU1BEZZWARIO350001B;
- Rif. [19] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Sezioni trasversali fase finale Tav. 2 di 2 – IBOU1BEZZWARIO350002B;
- Rif. [20] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Sezioni di raffronto PD-PE – IBOU1BEZZWARIO350003B;
- Rif. [21] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Fasi realizzative – IBOU1BEZZPZRIO350001B;
- Rif. [22] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Fasi realizzative – Planimetria e sezioni Fase 1 - IBOU1BEZZPZRIO350002B;

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	7 di 64

- Rif. [23] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Fasi realizzative – Planimetria e sezioni Fase 2 - IB0U1BEZZPZRI0350003B;
- Rif. [24] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Fasi realizzative – Planimetria e sezioni Fase 4 - IB0U1BEZZPZRI0350004B;
- Rif. [25] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Fasi realizzative – Planimetria e sezioni Fase Finale - IB0U1BEZZPZRI0350005B;
- Rif. [26] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Particolari e dettagli realizzativi - IB0U1BEZZBBRI0350001B;
- Rif. [27] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Viabilità di collegamento – Sezioni trasversali e tipologiche - IB0U1BEZZBZRI0350001B;
- Rif. [28] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Mitigazione del rischio idraulico - Sezione tipologica barriera - IB0U1BEZZBZRI0350002B;
- Rif. [29] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Particolari opere idrauliche - Tombino di scarico 1 - IB0U1BEZZBZRI0350003B;
- Rif. [30] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Particolari opere idrauliche - Tombino di scarico 2 - IB0U1BEZZBZRI0350004B;
- Rif. [31] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Particolari opere idrauliche - Tombino di scarico 3 - IB0U1BEZZBZRI0350005B;
- Rif. [32] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Mitigazione del rischio idraulico - Profilo protezioni spondali con integrazioni - IB0U1BEZZF7RI0350002B;
- Rif. [33] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Viabilità di collegamento - Planimetria di progetto, di tracciamento e profilo longitudinale - IB0U1BEZZP7RI0350004B;
- Rif. [34] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Viabilità di collegamento - Relazione tecnica descrittiva e di tracciamento - IB0U1BEZZRHRI0350002B;
- Rif. [35] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – Deposito Principale – Viabilità di collegamento - Planimetria di segnaletica e barriere di sicurezza - IB0U1BEZZRHRI0350002B;



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 9 di 64

## 5. INQUADRAMENTO GENERALE

Per il deposito di Hinterrigger, oggetto della presente relazione, si prevede l'abbancamento del materiale di scavo direttamente sulla superficie topografica (Rif. [15]).

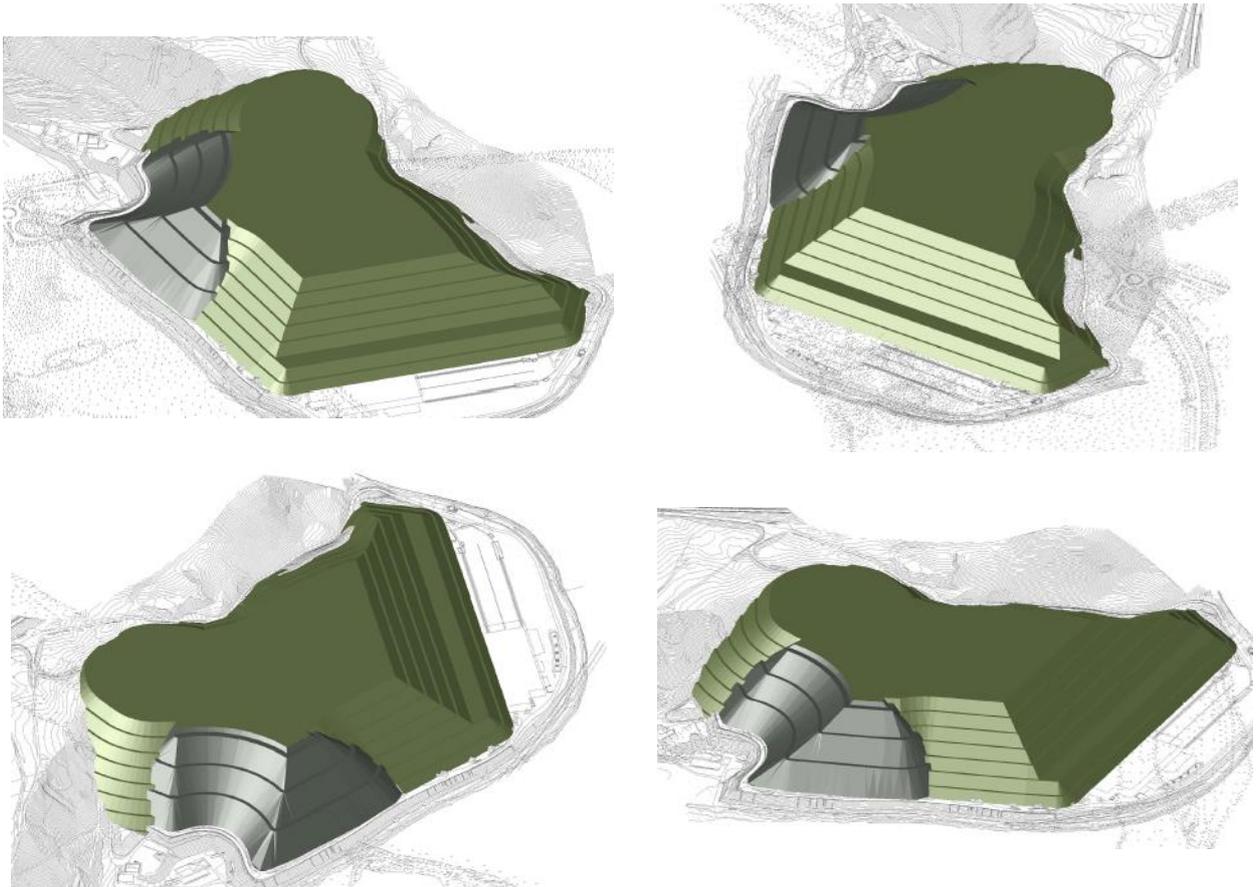


Figura 5-1 - Vista 3D fase finale di progetto del deposito di Hinterrigger

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	10 di 64

## 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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 11 di 64

## 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 riportate nei seguenti paragrafi.

### 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

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

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 $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Tabella 6-1: Coefficienti parziali sulle azioni (A1, A2 e EQU) - (Tab. 6.2.I, Doc. Rif. [1]).

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	$\gamma_\varphi$	1.0	1.25
Coazione efficace	$\gamma_c$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	1.0	1.0

Tabella 6-2: Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) - (Tab. 6.2.II, Doc. Rif. [1]).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 12 di 64

<b>Coefficiente parziale</b>	<b>(R2)</b>
$\gamma_R$	1.1

Tabella 6-3: Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) - (Tab. 6.8.1, Doc. Rif. [1]).

## 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 (SLE):

- 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 C7.1.1 del Doc. Rif. [2]).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	13 di 64

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  $V_r$ ).

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.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	14 di 64

### 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:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	15 di 64

## 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 7-1 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:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	16 di 64

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.

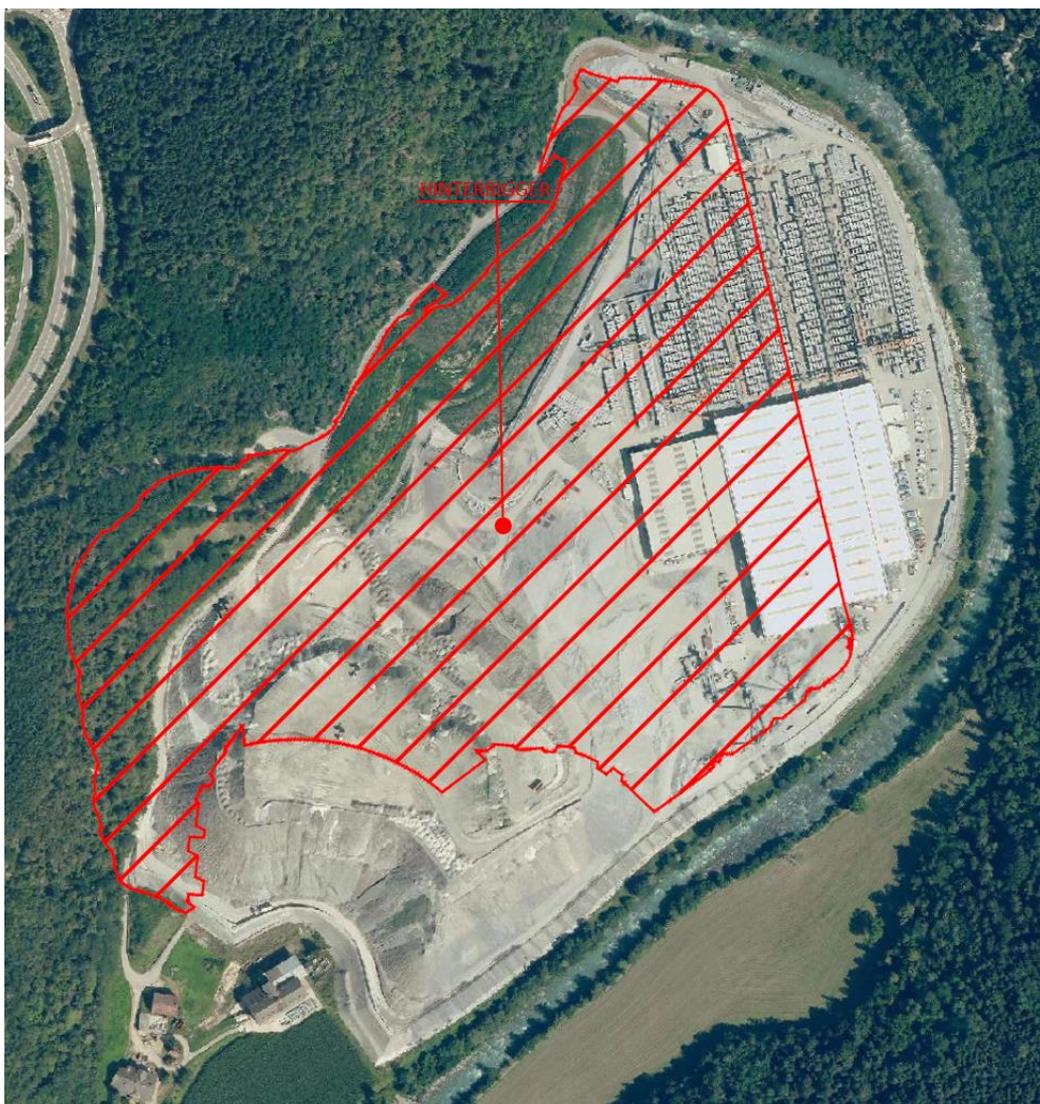


Figura 7-1 – Individuazione delle coordinate del sito di interesse

La seguente tabella individua le coordinate del sito di interesse:

SITO	Latitudine	Longitudine
HINTERRIGER	46.76215	11.64888

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	17 di 64



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
<b>SLV</b>	<b>475</b>	<b>0.049</b>	<b>2.559</b>	<b>0.355</b>
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, CSLLPP (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:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	18 di 64

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  $S_s=1.500$  (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  $S=1.500 \times 1.400=2.100$ .

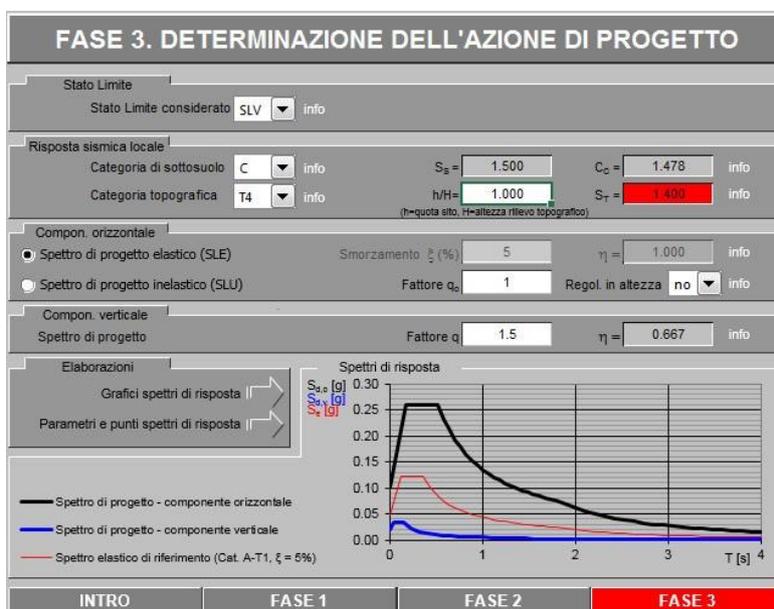


Figura 7-3 – Valutazione dei coefficienti di amplificazione Topografica  $S_s$  e Topografica  $S_T$  attraverso il foglio di calcolo Spettri- NTC ver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009).

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
<b>SLV</b>	<b>475</b>	<b>0.049</b>	<b>2.1</b>	<b>0.102</b>
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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	19 di 64

#### 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:

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

$$k_v = \pm k_h / 2$$

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito; per la **categoria di sottosuolo C** (Tabella 7-3) il coefficiente  $\beta_s$  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  $\beta_s$  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
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0.2 < a_g$ (g) < 0.4	0.30	0.28
$0.1 < a_g$ (g) < 0.2	0.27	0.24
<b><math>a_g</math> (g) &lt; 0.1</b>	<b>0.20</b>	<b>0.20</b>

Tabella 7-3 - Coefficiente  $\beta_s$ .

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:

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

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	20 di 64

## 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:
  - $\gamma$  = peso totale dell'unità di volume del terreno,
  - $\phi'$  = angolo d'attrito interno,
  - $c'$  = coesione,
  - $E'$  = modulo di Young,
  - $\nu$  = coefficiente di Poisson.
- altri parametri dipendenti dal modello costitutivo adottato;

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	21 di 64

- tipo di comportamento (drenato o non drenato);
- caratteristiche degli elementi strutturali impiegati:
  - EJ ed EA per gli elementi plate,
  - EA per gli elementi anchor,
  - rigidità elastica per elementi geotessili in trazione,
  - rigidità 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.

#### 8.2.2.1 Valutazione dei danni agli edifici tramite definizione e stima delle categorie di danneggiamento

Le analisi degli edifici sono state condotte considerando gli effetti combinati dovuti ai cedimenti verticali e orizzontali. Per tutti gli edifici le analisi sono state svolte con lo schema della trave equivalente. I fabbricati interferenti vengono schematizzati come semplici travi elastiche e prive di peso aventi altezza H e lunghezza L pari a quelle della sezione dell'edificio analizzato (Burland, 1997).

La curva dei cedimenti verticali del terreno sotto l'effetto di un carico si suddivide in tre zone:

- due zone con concavità verso il basso – zone "hogging", dove le strutture che poggiano sul p.c. sono sottoposte a trazione, per la presenza di deformazioni superficiali di estensione e per il contributo della curvatura del p.c.;

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	22 di 64

- una zona con concavità verso l'alto – zona "sagging", dove le strutture che poggiano sul p.c. sono sottoposte a compressione, per la presenza di deformazioni superficiali di compressione oltre che per il contributo della curvatura del p.c.

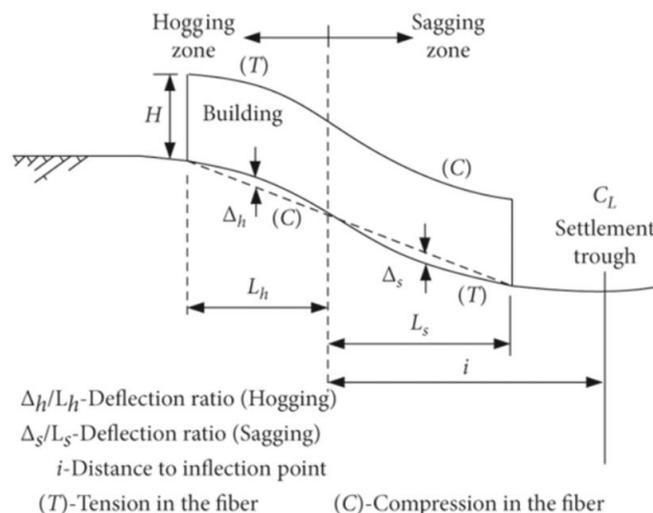


Figura 8-1 - Curva dei cedimenti, zona di "sagging" e zona di "hogging".

Si riportano di seguito i principali parametri di deformazione di una struttura (Burland e Wroth, 1974):

- massimo cedimento differenziale della struttura  $\delta S_{v,max} = S_{v,A} - S_{v,B}$ ;
- inflessione relativa  $\Delta_{sag}$  o  $\Delta_{hog}$ , è la massima distanza verticale tra la deformata del terreno e la linea retta che unisce due punti di riferimento;
- rapporto di inflessione  $\Delta/L$ , dove L è la distanza tra i due punti di riferimento;
- inclinazione  $\omega$ , descrive la rotazione di un corpo rigido;
- distorsione angolare  $\beta = \omega - \varphi$ , è la rotazione relativa all'inclinazione della congiungente tra due punti della struttura, data dalla differenza tra la rotazione rigida  $\omega$  e la pendenza locale della curva dei cedimenti  $\varphi$ ;

APPALTATORE:			<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMessa IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 23 di 64

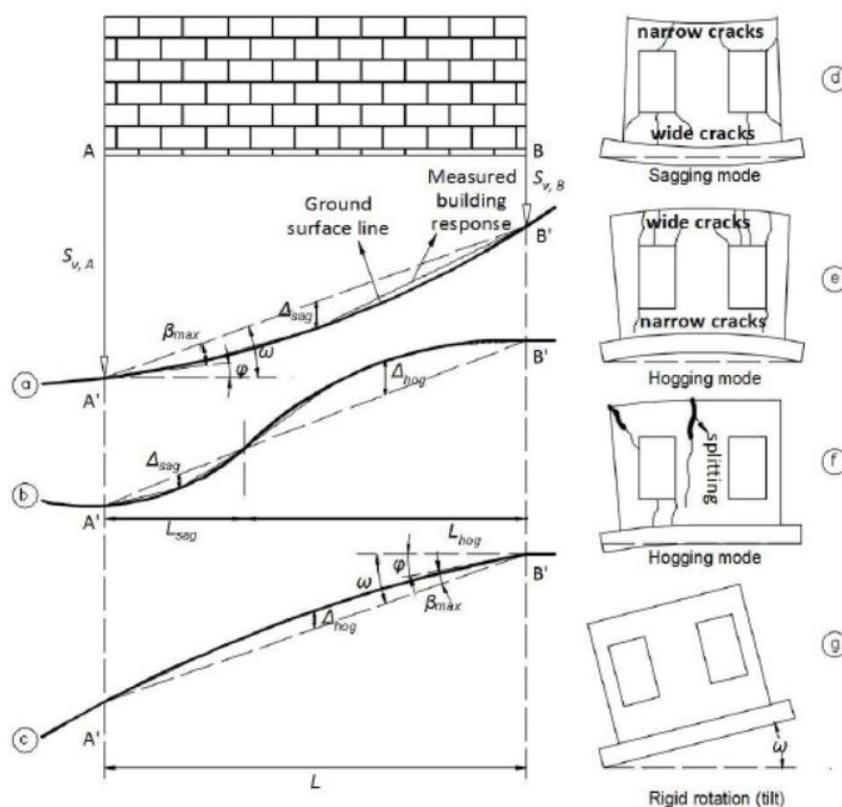


Figura 8-2 – Parametri di deformazione per un edificio in muratura sottoposto ad una curva dei cedimenti in (a) zona di sagging, (b) zona di sagging e hogging, (c) zona di hogging, e i tipici danni risultanti negli edifici (d, e, f, g).

Inoltre, si menziona la deformazione di trazione critica  $\varepsilon_{crit}$  per cui la fessurazione nel materiale diventa visibile. Polshin e Tokar (1957) propongono  $\varepsilon_{crit} = 0.05\%$  come valore limite per muri portanti in muratura.

### 8.2.2.2 Approccio della trave equivalente (Burland e Wroth, 1974)

Burland e Wroth (1974) estesero gli studi di Polshin e Tokar (1957) proponendo l'analogia della trave equivalente per calcolare in maniera semplificata il valore di deformazione a trazione limite  $\varepsilon_{lim}$ .

$\varepsilon_{lim}$  è un parametro utile a rilevare danni dovuti alla fessurazione per flessione o taglio perché è indipendente dalla direzione del carico e dal tipo di deflessione ("sagging" o "hogging"). Il modello di trave equivalente che si assume rappresenti il comportamento dell'edificio è riportato nella figura seguente.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	24 di 64

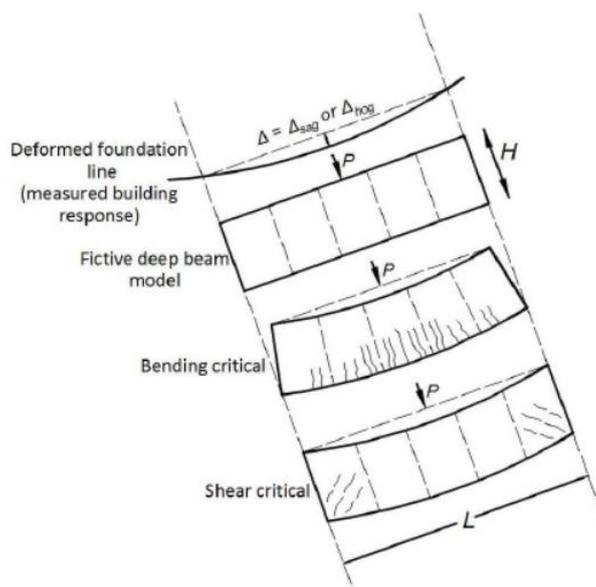


Figura 8-3 - Modello di trave equivalente (Burland e Wroth, 1974)

L'inflessione in mezzera  $\Delta$  è presente sia nel caso si ricada nella zona di "sagging" che nella zona di "hogging" della curva dei cedimenti del terreno. L e H denotano rispettivamente la lunghezza e l'altezza della trave. In particolare, H corrisponde all'altezza dell'edificio dal livello di fondazione al livello della gronda (tetto escluso). La trave fittizia è elastica, isotropa e semplicemente appoggiata. Viene trascurata l'interazione terreno-struttura e sono considerati esclusivamente i cedimenti del terreno.

La maggior parte delle strutture è tipicamente sollecitata sia a flessione che a taglio; nel caso di trave appoggiata con carico puntuale applicato in mezzera e asse neutro ad  $H/2$  ("sagging"), il massimo spostamento trasversale che si verifica nel punto di carico è fornito dalla teoria di Timoshenko (1957):

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \left[ 1 + \frac{18EI}{L^2HG} \right] \quad (1)$$

Se si riscrive tale equazione in termini della massima deformazione di trazione per flessione  $\varepsilon_{b,max}$  e si esplicita  $\Delta/L$ , si ottiene l'equazione seguente:

$$\frac{\Delta}{L} = \left[ \frac{L}{12t} + \frac{3EI}{2tLHG} \right] \varepsilon_{b,max} \quad (2)$$

L'espressione si applica al caso in cui compare la prima fessura a seguito della flessione della struttura dovuta ad un comportamento di tipo "sagging" o "hogging".  $\varepsilon_{b,max}$  denota la deformazione di trazione massima che subiscono le fibre più esterne della trave fittizia equivalente una volta raggiunto il rapporto di inflessione  $\Delta/L$ . Il termine t rappresenta la distanza dell'asse neutro dal bordo teso della trave.

Analogamente, l'Eq.(1) può essere riscritta in termini della deformazione massima a trazione in direzione diagonale  $\varepsilon_{d,max}$ :

$$\frac{\Delta}{L} = \left[ 1 + \frac{HL^2G}{18EI} \right] \varepsilon_{d,max} \quad (3)$$

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	25 di 64

Questa espressione si riferisce al caso in cui compaia la prima fessura per azione di taglio dovuta ad un comportamento di tipo “sagging” o “hogging”.  $\varepsilon_{d,max}$  denota la deformazione di trazione massima in direzione diagonale una volta raggiunto il rapporto di inflessione  $\Delta/L$ .

Le Eq. (2) e (3) rappresentano espressioni separate del rapporto di inflessione  $\Delta/L$  e delle deformazioni a trazione massime  $\varepsilon_{b,max}$  e  $\varepsilon_{d,max}$  che possono essere potenzialmente responsabili di apertura di fessure per azione flessionale o di taglio.

Boscardin e Cording (1989) hanno riportato che gli spostamenti orizzontali trasferiti dal terreno alla struttura, combinati con le deformazioni di trazione per flessione e taglio, possono ridurre significativamente i limiti di tolleranza sui cedimenti degli edifici. Poiché l’approccio della trave equivalente di Burland e Wroth (1974) non include l’effetto della deformazione orizzontale, Boscardin e Cording considerano l’effetto combinando la deformazione orizzontale media ( $\varepsilon_h$ ) con i valori di  $\varepsilon_{b,max}$  e  $\varepsilon_{d,max}$ .

Mentre  $S_{h,A}$  e  $S_{h,B}$  sono gli spostamenti orizzontali monitorati in due punti specifici della costruzione,  $\varepsilon_h$  può essere calcolata tramite la seguente espressione:

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta S_h}{L} \quad (4)$$

$$\Delta S_h = S_{h,A} - S_{h,B} \quad (5)$$

La deformazione di trazione totale  $\varepsilon_{tot}$ , è calcolata secondo le seguenti equazioni, una volta includendo le deformazioni per flessione, poi quelle per taglio:

$$\varepsilon_{tot} = \varepsilon_{b,max} + \varepsilon_h \quad (6)$$

$$\varepsilon_{tot} = 0.35 \cdot \varepsilon_h + [(0.65 \cdot \varepsilon_h)^2 + \varepsilon_{d,max}^2]^{0.5} \quad (7)$$

Preso il valore massimo tra le due, è possibile quindi confrontarlo con i range di deformazione limite presenti nella Tabella 8-1.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 26 di 64

Category of damage	Damage class	Description of typical damage and ease of repair <sup>a,b</sup>	Approximate crack width <sup>c</sup> (mm)	$\epsilon_{lim}$ (%) After Boscardin and Cording (1989)	
				$\epsilon_{lim(low)}$	$\epsilon_{lim(up)}$
Aesthetic damage	0-Negligible	Hairline cracks	Up to 0.1 mm	0.000	0.050
	I-Very slight	Fine cracks that can easily be treated during normal decoration.	Up to 1 mm	0.050	0.075
	II-Slight	Cracks can be easily filled. Cracks are visible externally.	Up to 5 mm	0.075	0.150
Functional damage affecting serviceability	III-Moderate	The cracks require some opening up and can be patched by a mason.	5 to 15 mm or a number of cracks larger than 3 mm	0.150	0.300
	IV-Severe	Includes large cracks. Extensive repair work is required.	15 to 25 mm but also depends on the number of cracks	> 0.300	
Structural damage affecting stability	V-Very severe	Beams lose bearing, walls lean and require shoring, and there is a danger of structural instability.	Usually larger than 25 mm but also depends on the number of cracks	> 0.300	

Notes:

<sup>a</sup> Location of damage in the building or structure must be considered when classifying the degree of damage.

<sup>b</sup> Descriptions are shortened for brevity. Refer to Burland et al. (1977) for full descriptions.

<sup>c</sup> Crack width is only one aspect of damage and should not be used alone as a direct measure of it.

Tabella 8-1 – Classificazione del danno (Burland et al., 1977; Boscardin e Cording, 1989).

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatari:	Mandanti:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	27 di 64

## 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]).

### 9.1. DESCRIZIONE DELLA SEZIONE DI CALCOLO PER LE ANALISI DI STABILITA'

Di seguito si riporta la geometria del deposito implementata nei software di calcolo. Le sezioni di calcolo sono la S1 e la S2 come visibili dalla figura seguente.



Figura 9-1: Ubicazione planimetrica delle sezioni analizzate per la stabilità del deposito

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 28 di 64

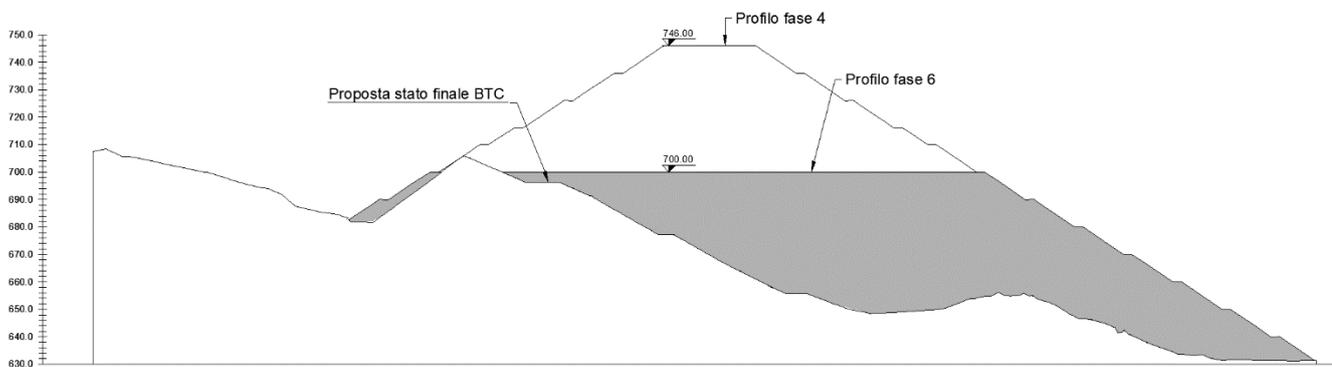


Figura 9-2 - Sezione di calcolo S1

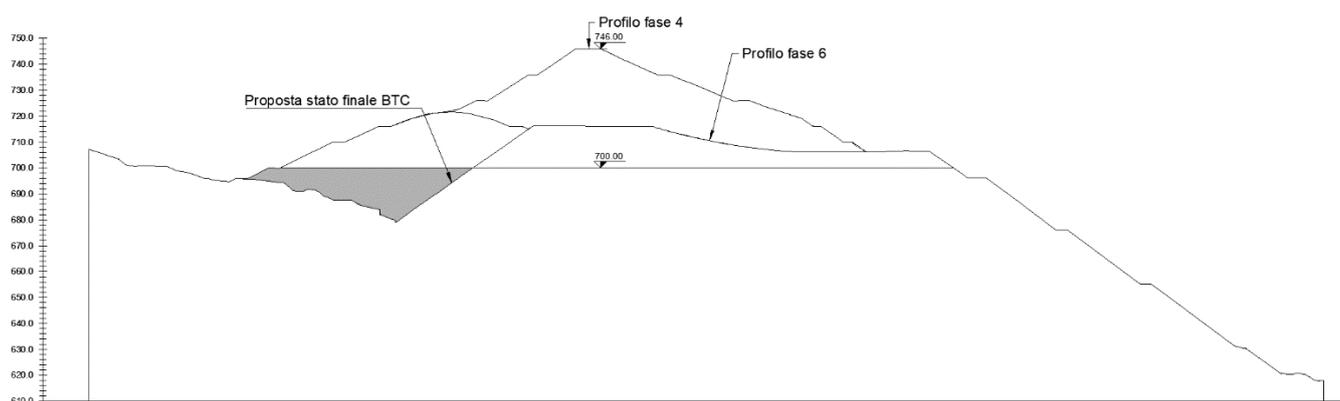


Figura 9-3 - Sezione di calcolo S2

Nella Figura successiva si riporta la planimetria delle indagini effettuate in prossimità del sito di Hinterriger: Ri-B-01/05, Ri-B- 02/05, Ri-B-03/05, Ri-B-04/05, Ri-B-05/05, C15, C16, C19, C20, C21, C28, C29, EO32, EO60, EO63, EO64, EO65, EO66, EO67, H-BH1, H-BH2. I sondaggi hanno permesso di determinare la sezione stratigrafica E-E riportata in seguito.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 29 di 64

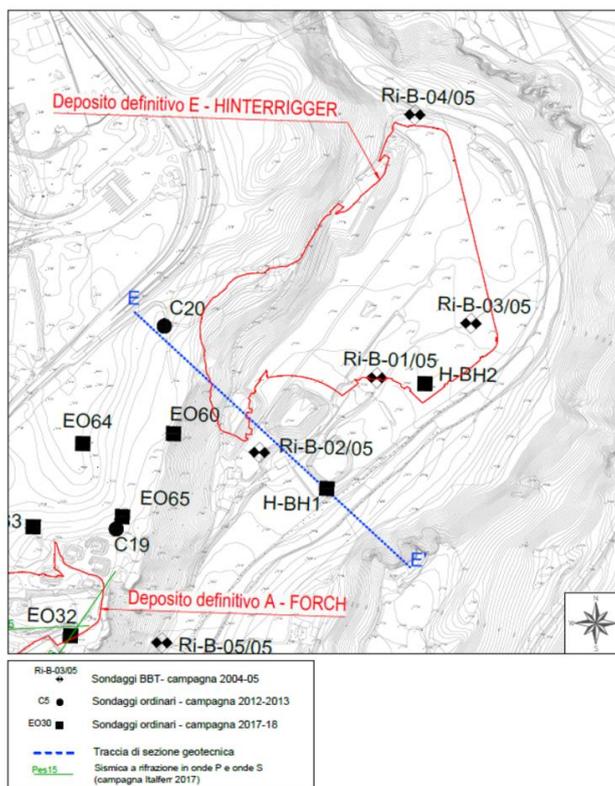


Figura 9-4 - Ubicazione delle indagini

Di seguito si riporta la stratigrafia ottenuta dalle indagini. Gli orizzonti litostratigrafici sono costituiti da: terreni di riporto e depositi antropici (Unità 0), sabbie limoso-ghiaiose (Unità 1), limi sabbiosi e sabbie limose (Unità 2), blocchi e ghiaia in matrice sabbiosa (Unità 3) e ghiaia in matrice sabbiosa (Unità 4).

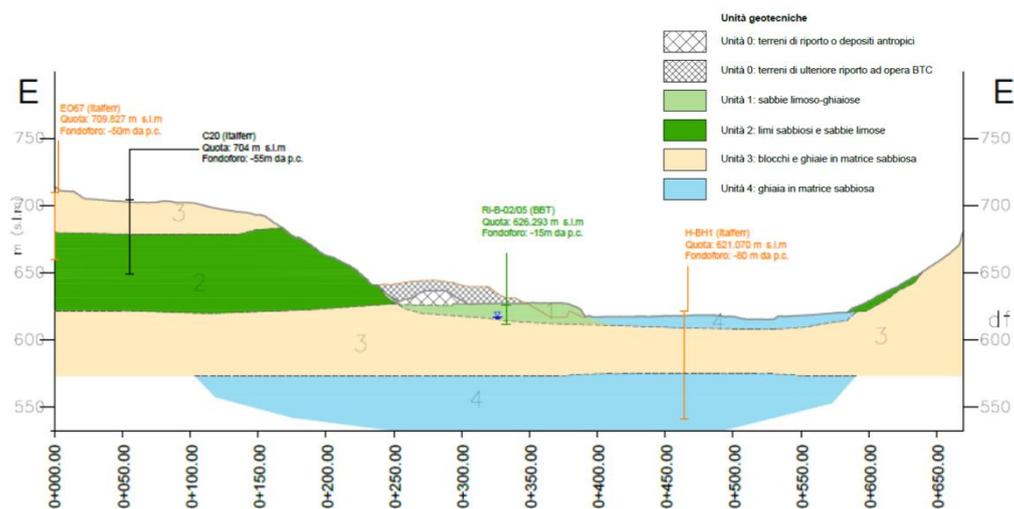


Figura 9-5 – Stratigrafia del sito di Hinterrigger

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	30 di 64

## 9.2. DESCRIZIONE DELLA SEZIONE DI CALCOLO PER LE ANALISI DEI CEDIMENTI

Il calcolo è stato eseguito nella sezione considerata più gravosa per l'analisi degli effetti indotti sul maso adiacente l'abbancamento. A tal punto si è considerata una sezione passante per il maso stesso, che intercettasse la zona di maggior quota del rilevato in prossimità della struttura esistente. La scelta è ricaduta nella sezione S3. A favore di sicurezze ed in linea con le verifiche effettuate nel progetto definitivo si è deciso di trascurare la presenza della strada.

Nella figura seguente è illustrata l'ubicazione planimetrica della sezione in questione e dell'adiacente maso.

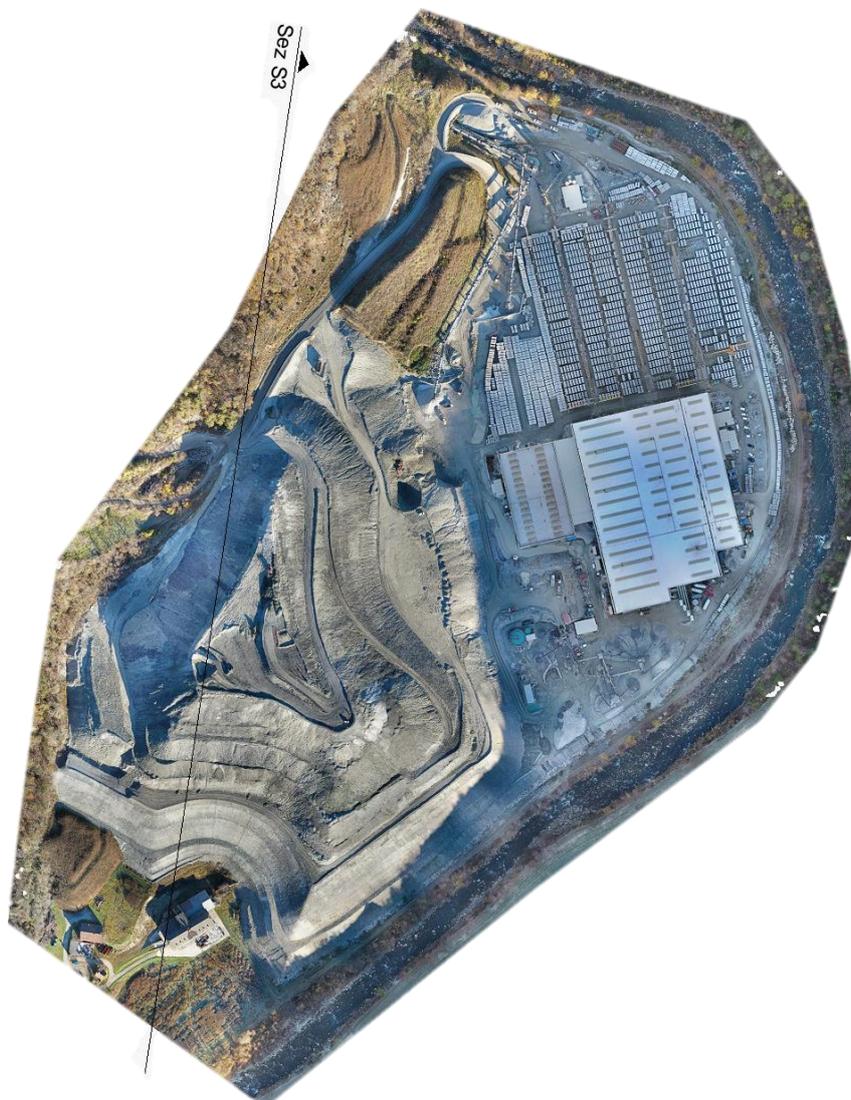


Figura 9-6 – Ubicazione planimetrica della sezione analizzata per i cedimenti al piede del deposito

La figura successiva, invece, rappresenta la sezione trasversale di calcolo con indicata la distanza della struttura esistente dal rilevato (circa 10m) e la sua estensione (28m circa).

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	31 di 64

Come più esplicitamente indicato nella relazione tecnica descrittiva, il progetto prevede la rimodellazione morfologica mediante abbancamento di materiali di scavo delle gallerie sul rilevato esistente così come lasciato da BTC al termine dei lavori. L'abbancamento in progetto è costituito da diversi livelli di banche sia a ridosso della parte attualmente occupata dall'abbancamento BTC (verificata in apposito progetto dedicato) sia nella porzione più prossima al maso esistente sia nelle aree attualmente attrezzate da BTC.

La sezione illustra i vari livelli di abbancamento successivi riscontrati nel sito. In particolare, è possibile distinguere il profilo esistente "ante operam", l'attuale strato di riporto ("profilo da rilievo"), il livello che verrà raggiunto al termine dei lavori di BTC ("Profilo finale BTC"), l'abbancamento temporaneo previsto di materiale ("Profilo Fase 4") e la configurazione finale che verrà raggiunta (Profilo fase 6).

La modellazione terrà conto di tutte queste fasi.

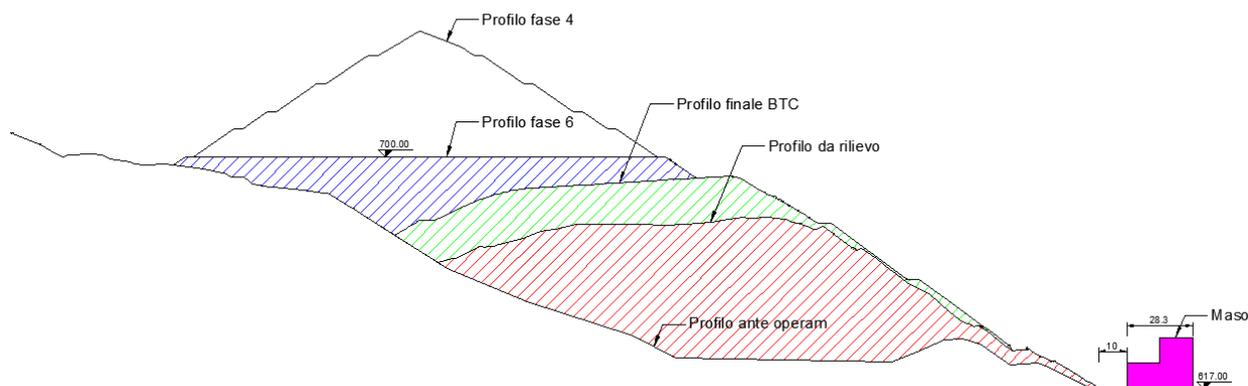


Figura 9-7: Sezione di calcolo S3

### 9.3. PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Nella Tabella 9-1 sono riportati i valori dei parametri geotecnici caratteristici impiegati per le analisi.

I depositi morenici incontrati nell'ambito del Deposito 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

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	32 di 64

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.

Prima della messa in opera dovrà essere sviluppata un'opportuna sperimentazione per determinare il valore di addensamento tale da garantire i parametri da utilizzare nelle verifiche geotecniche e successivamente durante le fasi di riempimento, dovranno essere effettuate delle ulteriori prove per verificarne le effettive caratteristiche di resistenza (tipicamente prove di laboratorio di tipo Triassiale su campioni prelevati in sito).

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.

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°.

		Analisi dei cedimenti - PLAXIS						Analisi di stabilità - SLIDE2		$\gamma_{M2}$ 1,25
Modelli costitutivi	Unità geotecniche	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	$c_k$ [Kpa]	$\varphi_k$ [°]	$E_{oed}=E_{50}$ [Mpa]	$E_{ur}$ [Mpa]	$k_0$ [-]	Modelli costitutivi	$c_d$ [Kpa]	
Hardening Soil	Unità 1	19	5	40	70	175	0,357	Mohr Coulomb	4	33,9
	Unità 2	19	0	28	70	350	0,531		0	23,0
Mohr Coulomb	Unità 3	20	5	42	70	350	0,331		4	35,8
	Unità 4	21	0	38	70	350	0,384		0	38
	Rilevato (abbancamento)	21	35	38	25	-	0,384		28	32,0

Tabella 9-1: Parametri geotecnici caratteristici e di progetto

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> <b>SWS Engineering S.p.A.</b> <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST</b> <b>M Ingegneria</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI0350002</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>33 di 64</b>

#### 9.4. APPLICAZIONE DEI CARICHI

Per le verifiche di stabilità allo SLU, sulla sommità dell'abbancamento è stata ipotizzata la presenza di un carico di cantiere con un valore caratteristico pari a 10KN. Essendo un'azione variabile sfavorevole il suo valore di calcolo in condizioni statiche va amplificato del coefficiente parziale sulle azioni (Tabella 6-1). Si ha quindi  $10 \cdot 1.3 = 13$  kN. In condizioni sismiche non è stato considerato nessun sovraccarico di cantiere.

Per le verifiche dei cedimenti non sono stati assunti tali sovraccarichi.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	34 di 64

## 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. [1]), 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 S1 – 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 IV di realizzazione dell'abbancamento, in cui le dimensioni del deposito sono massime.

Con riferimento alla fase finale (fase VI) vengono svolte nuovamente (per completezza) le analisi statiche, introducendo però stavolta anche le due combinazioni sismiche (ritenendo non opportuno implementarle in fase IV in quanto si tratta di una fase transitoria con probabilità di avvenimento del sisma praticamente nulla). In tutti i casi 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 <sub>MIN</sub>
<i>Fase IV – Abbancamento massimo</i>		
Stabilità <b>globale</b> in condizioni <b>statiche</b>	Figura 10-2	<b>1.354</b>
Stabilità <b>locale</b> in condizioni <b>statiche</b>	Figura 10-3	<b>1.803</b>
<i>Fase VI – Fase finale</i>		
Stabilità <b>globale</b> in condizioni <b>statiche</b>	Figura 10-4	<b>1.454</b>
Stabilità <b>locale</b> in condizioni <b>statiche</b>	Figura 10-5	<b>1.663</b>
Stabilità <b>globale</b> in condizioni <b>sismiche</b> – Combinazione con $k_v < 0$	Figura 10-6	<b>1.398</b>
Stabilità <b>locale</b> in condizioni <b>sismiche</b> – Combinazione con $k_v < 0$	Figura 10-7	<b>1.595</b>
Stabilità <b>globale</b> in condizioni <b>sismiche</b> – Combinazione con $k_v > 0$	Figura 10-8	<b>1.395</b>
Stabilità <b>locale</b> in condizioni <b>sismiche</b> – Combinazione con $k_v > 0$	Figura 10-9	<b>1.594</b>

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

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			
7 – PROGETTO DEPOSITI	Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B 35 di 64

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.

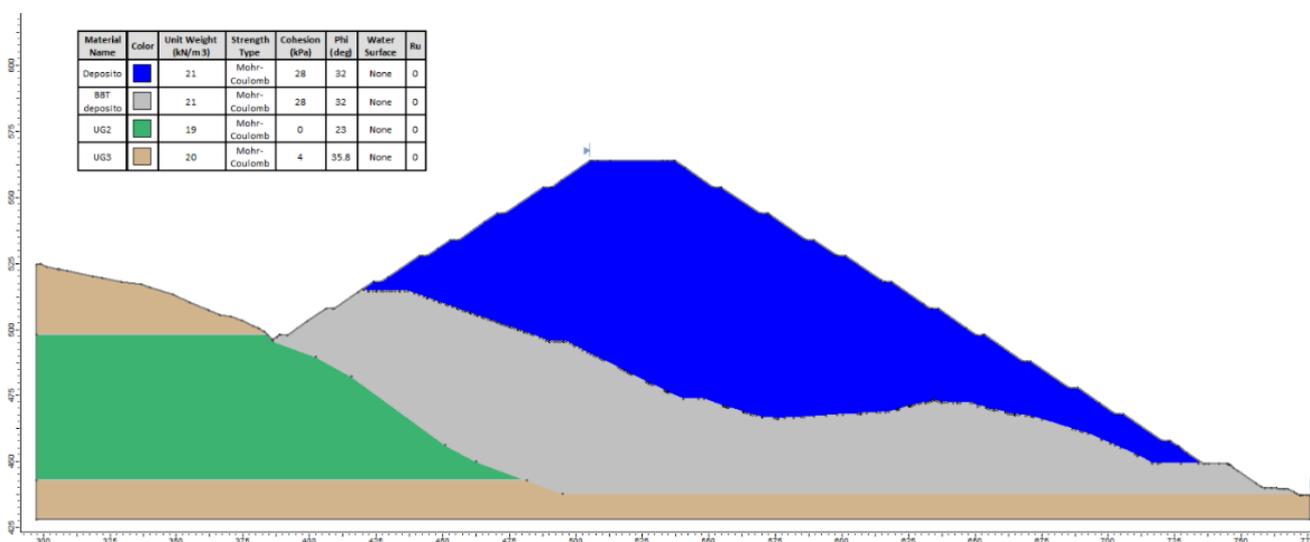


Figura 10-1 – Deposito di Hinterrigger – Modello di calcolo

APPALTATORE:			<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	36 di 64

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
Deposito	Blue	21	Mohr-Coulomb	28	32	None	0
BBT deposito	Grey	21	Mohr-Coulomb	28	32	None	0
UG2	Green	19	Mohr-Coulomb	0	23	None	0
UG3	Brown	20	Mohr-Coulomb	4	35.8	None	0

Method Name	Min FS
Bishop simplified	1.359
GLE / Morgenstern-Price	1.354

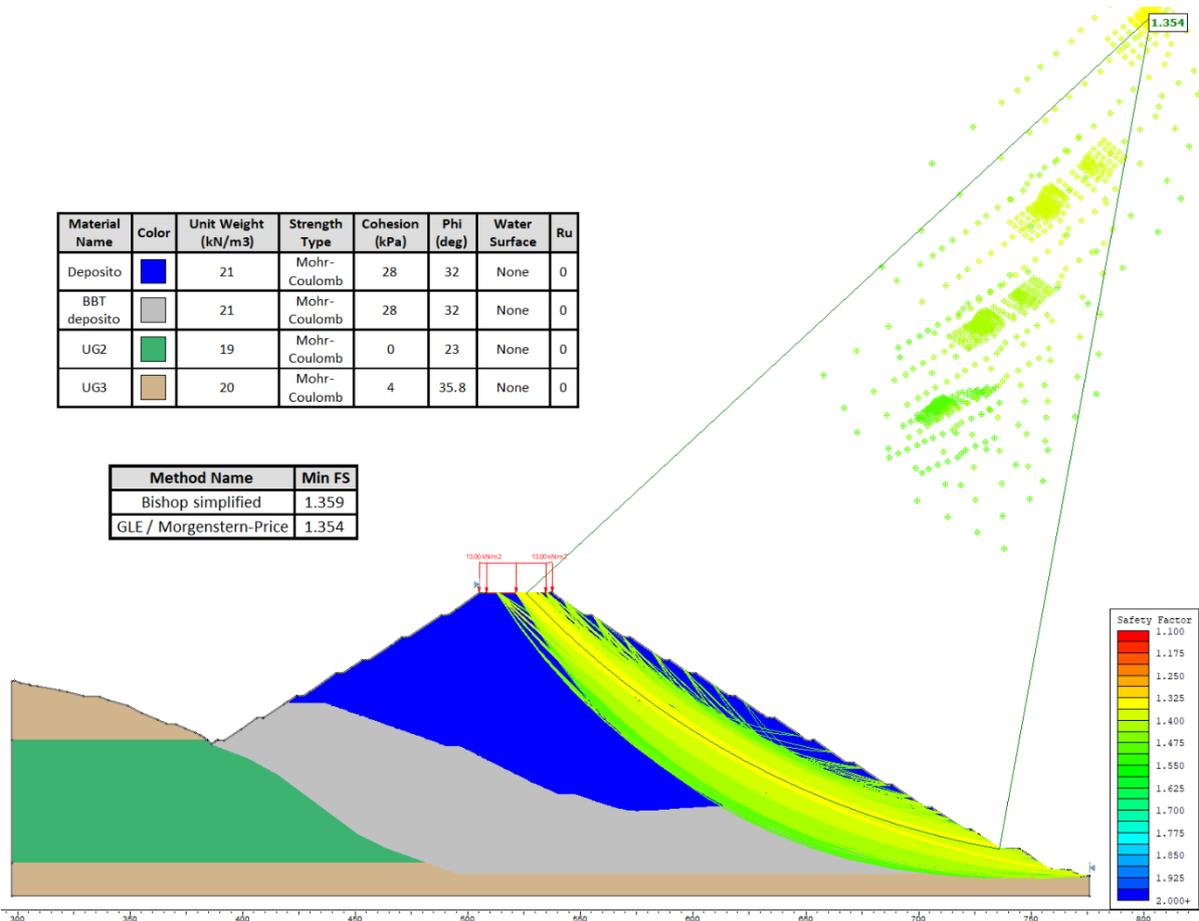


Figura 10-2 – Deposito di Hinterrieger – Analisi di stabilità in campo statico (globale) – FASE 4

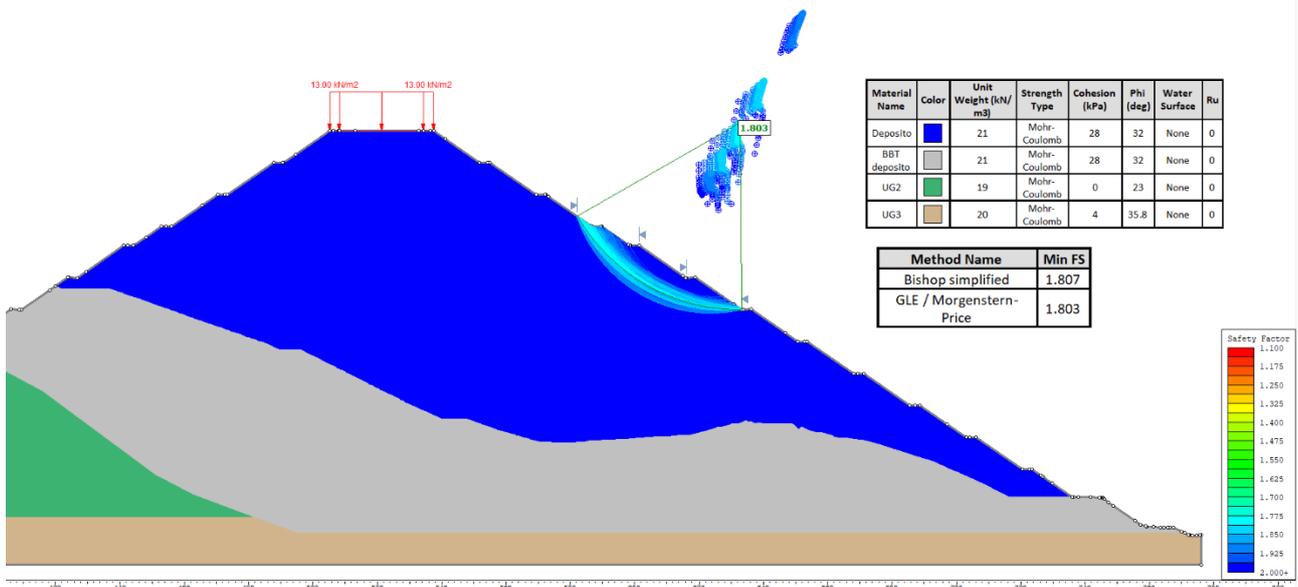


Figura 10-3 – Deposito di Hinterrieger – Analisi di stabilità in campo statico (locale) – FASE 4

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 37 di 64

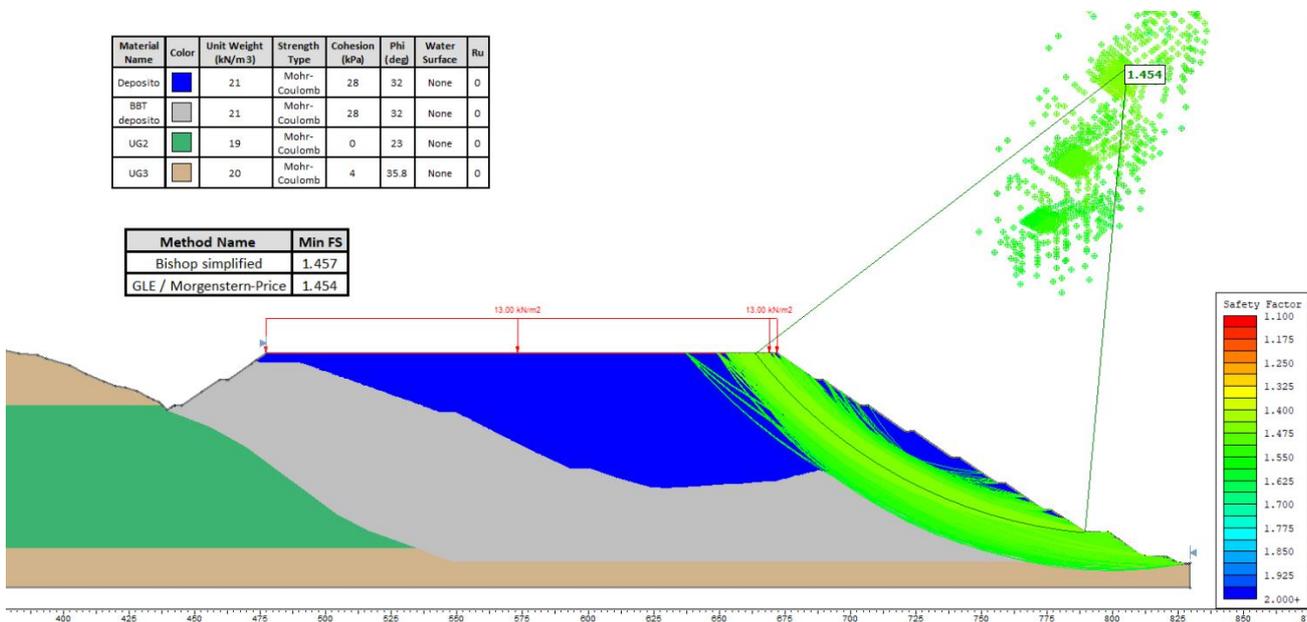


Figura 10-4 – Deposito di Hintergriger – Analisi di stabilità in campo statico (globale) – FASE 6

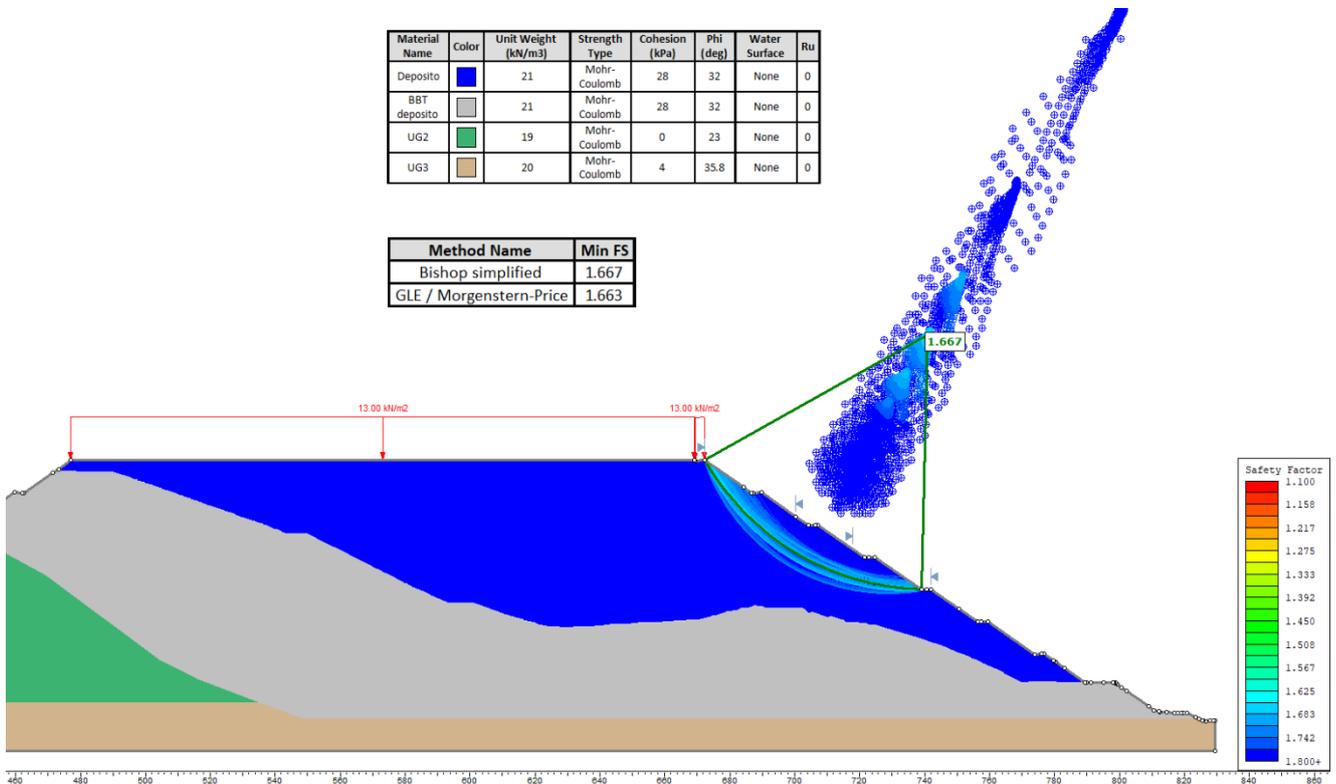


Figura 10-5 – Deposito di Hintergriger – Analisi di stabilità in campo statico (locale) – FASE 6

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 38 di 64

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
Deposito		21	Mohr-Coulomb	28	32	None	0
BBT deposito		21	Mohr-Coulomb	28	32	None	0
UG2		19	Mohr-Coulomb	0	23	None	0
UG3		20	Mohr-Coulomb	4	35.8	None	0

Method Name	Min FS
Bishop simplified	1.400
GLE / Morgenstern-Price	1.398

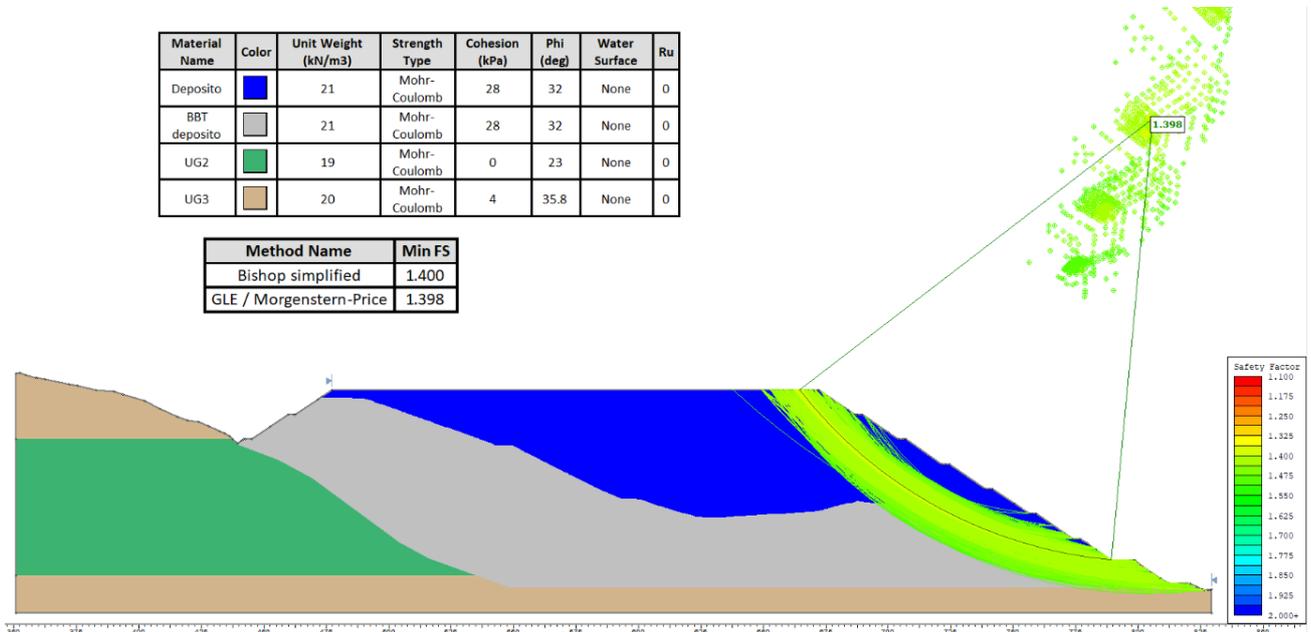


Figura 10-6 – Deposito di Hinterriger – Analisi di stabilità in campo sismico (globale), combinazione con Kv < 0

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
Deposito		21	Mohr-Coulomb	28	32	None	0
BBT deposito		21	Mohr-Coulomb	28	32	None	0
UG2		19	Mohr-Coulomb	0	23	None	0
UG3		20	Mohr-Coulomb	4	35.8	None	0

Method Name	Min FS
Bishop simplified	1.601
GLE / Morgenstern-Price	1.595

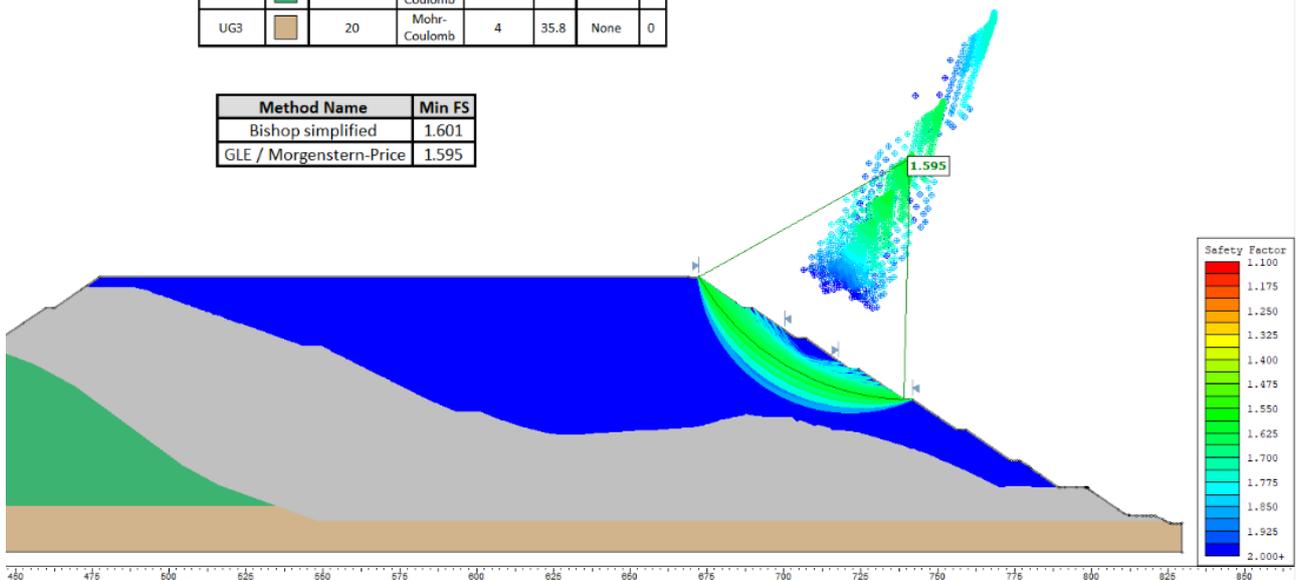


Figura 10-7 – Deposito di Hinterriger – Analisi di stabilità in campo sismico (locale), combinazione con Kv < 0

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	39 di 64

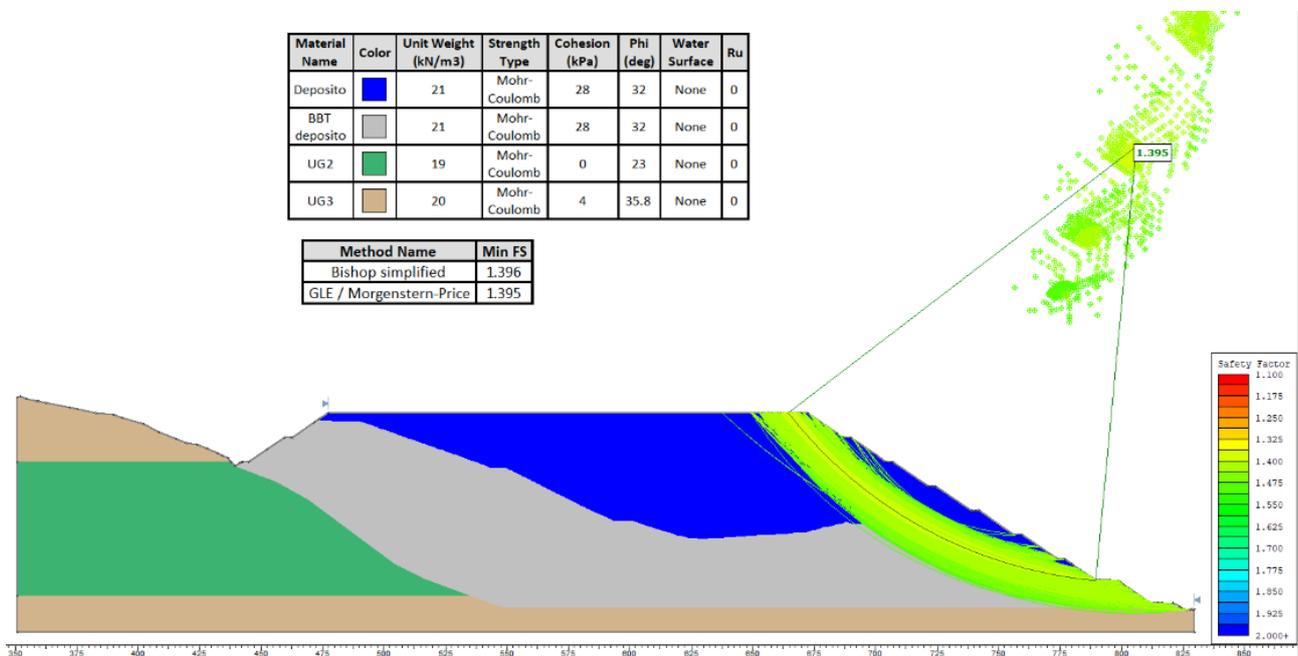


Figura 10-8 – Deposito di Hinterrigger – Analisi di stabilità in campo sismico (globale), combinazione con Kv >0

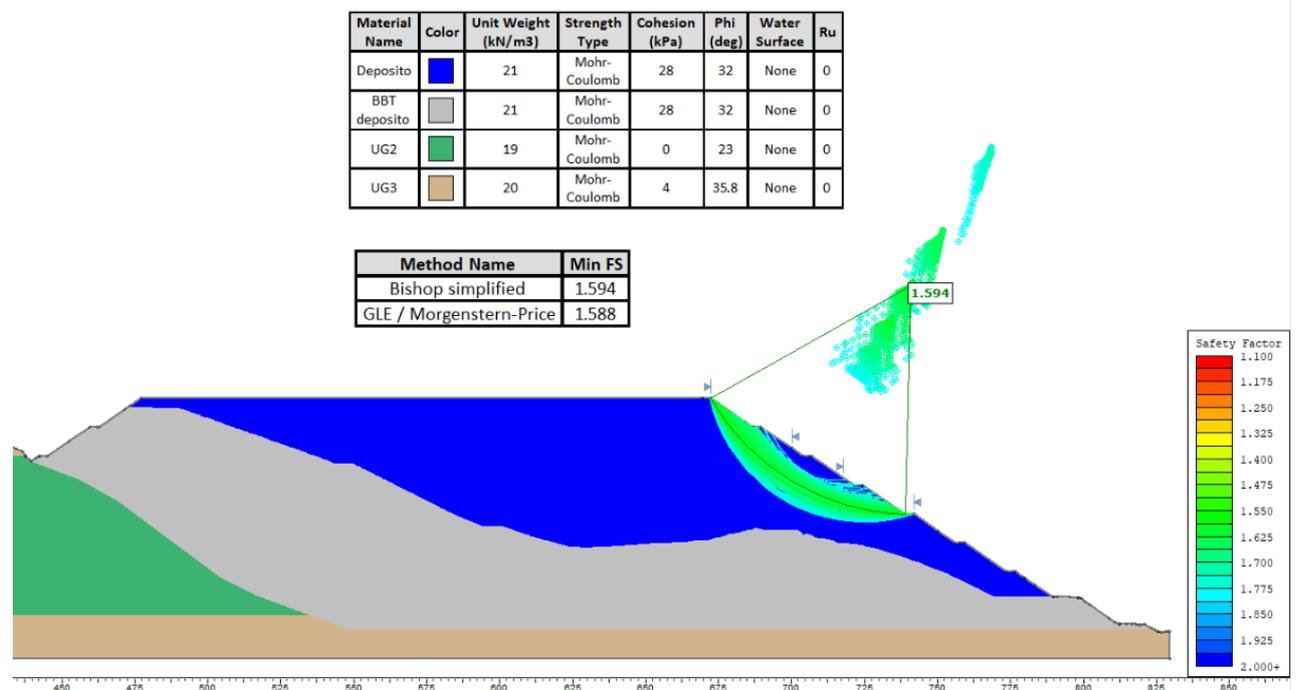


Figura 10-9 – Deposito di Hinterrigger – Analisi di stabilità in campo sismico (locale), combinazione con Kv > 0

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			
7 – PROGETTO DEPOSITI	Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B 40 di 64

### 10.1.2 Sezione S2 – 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 IV di realizzazione dell'abbancamento, in cui le dimensioni del deposito sono massime.

Con riferimento alla fase finale (fase VI) vengono svolte nuovamente (per completezza) le analisi statiche, introducendo però stavolta anche le due combinazioni sismiche (ritenendo non opportuno implementarle in fase IV in quanto si tratta di una fase transitoria con probabilità di avvenimento del sisma praticamente nulla). In tutti i casi viene valutata sia la stabilità globale che quella locale.

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

ANALISI	OUTPUT	FS <sub>MIN</sub>
<i>Fase IV – Abbancamento massimo</i>		
Stabilità <b>globale</b> in condizioni <b>statiche</b>	Figura 10-11	<b>1.284</b>
Stabilità <b>locale</b> in condizioni <b>statiche</b>	Figura 10-12	<b>2.592</b>
<i>Fase VI – Fase finale</i>		
Stabilità <b>globale</b> in condizioni <b>statiche</b>	Figura 10-13	<b>1.287</b>
Stabilità <b>locale</b> in condizioni <b>statiche</b>	Figura 10-14	<b>1.287</b>
Stabilità <b>globale</b> in condizioni <b>sismiche</b> – Combinazione con $k_v < 0$	Figura 10-15	<b>1.237</b>
Stabilità <b>locale</b> in condizioni <b>sismiche</b> – Combinazione con $k_v < 0$	Figura 10-16	<b>1.238</b>
Stabilità <b>globale</b> in condizioni <b>sismiche</b> – Combinazione con $k_v > 0$	Figura 10-17Figura 10-16	<b>1.234</b>
Stabilità <b>locale</b> in condizioni <b>sismiche</b> – Combinazione con $k_v > 0$	Figura 10-18	<b>1.234</b>

Tabella 10-2: Deposito di Hinterriger - 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:			<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A. <b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI0350002</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>41 di 64</b>

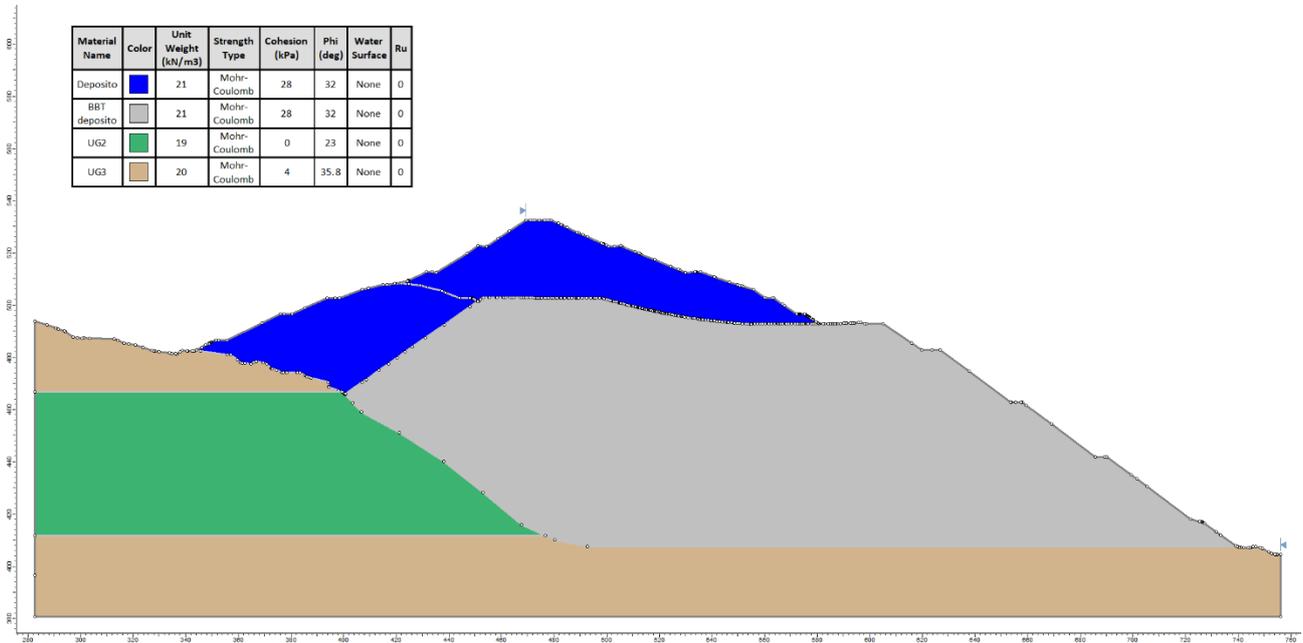


Figura 10-10 – Deposito di Hinterrigger – Modello di calcolo

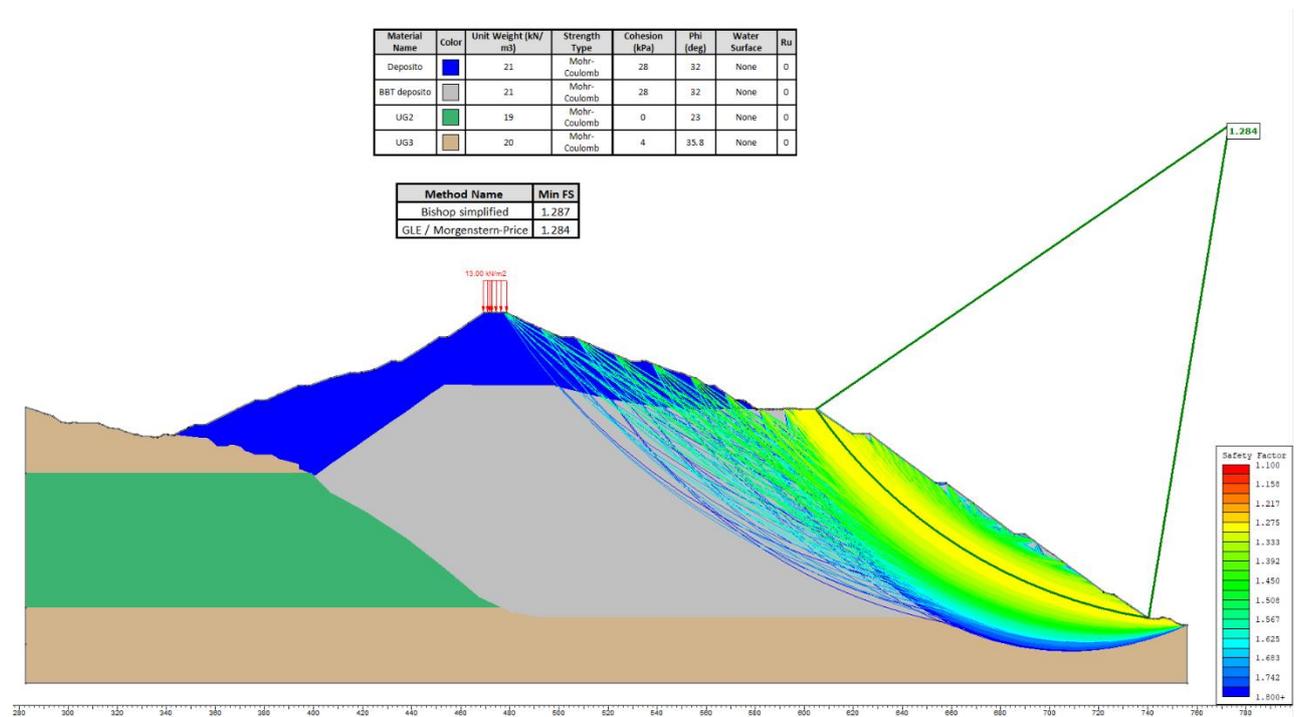


Figura 10-11 – Deposito di Hinterrigger – Analisi di stabilità in campo statico (globale) – FASE 4

APPALTATORE:										
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>									
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA				LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU				1BEZZ	CL	RI0350002	B	42 di 64
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>		<b>Relazione di stabilità e cedimenti versante</b>								
		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>								

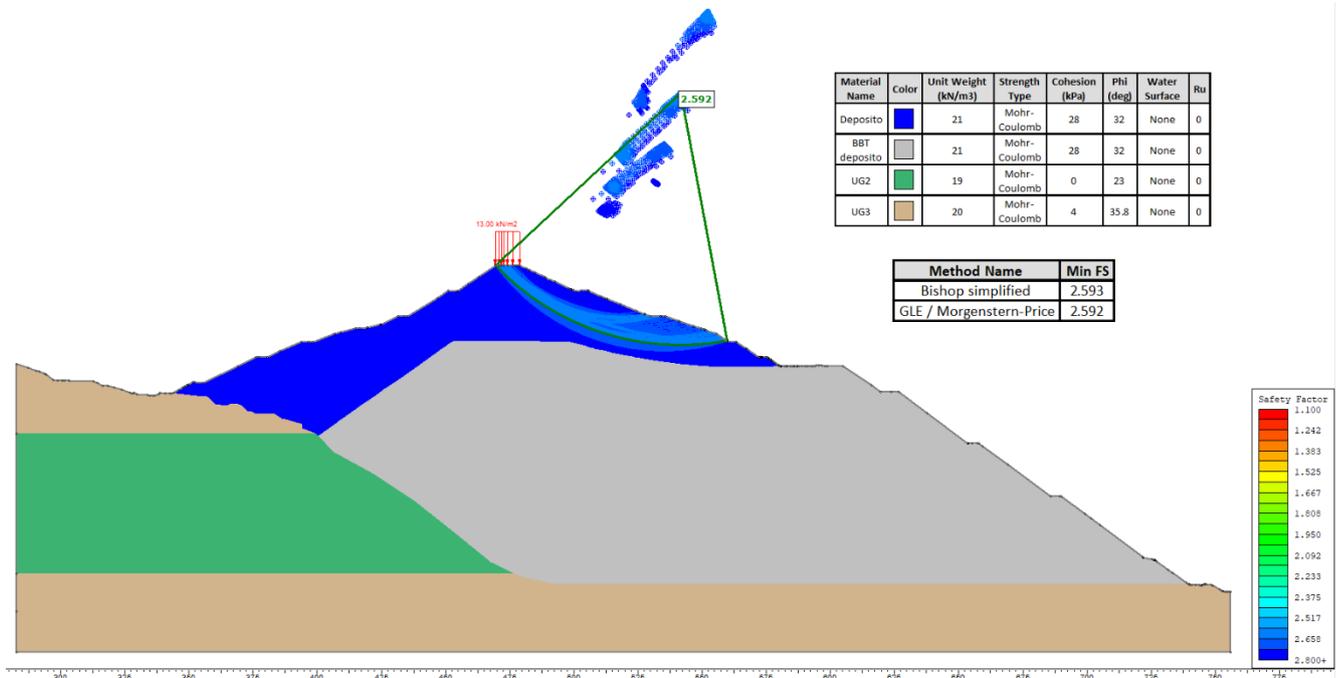


Figura 10-12 – Deposito di Hinterrigger – Analisi di stabilità in campo statico (locale) – FASE 4

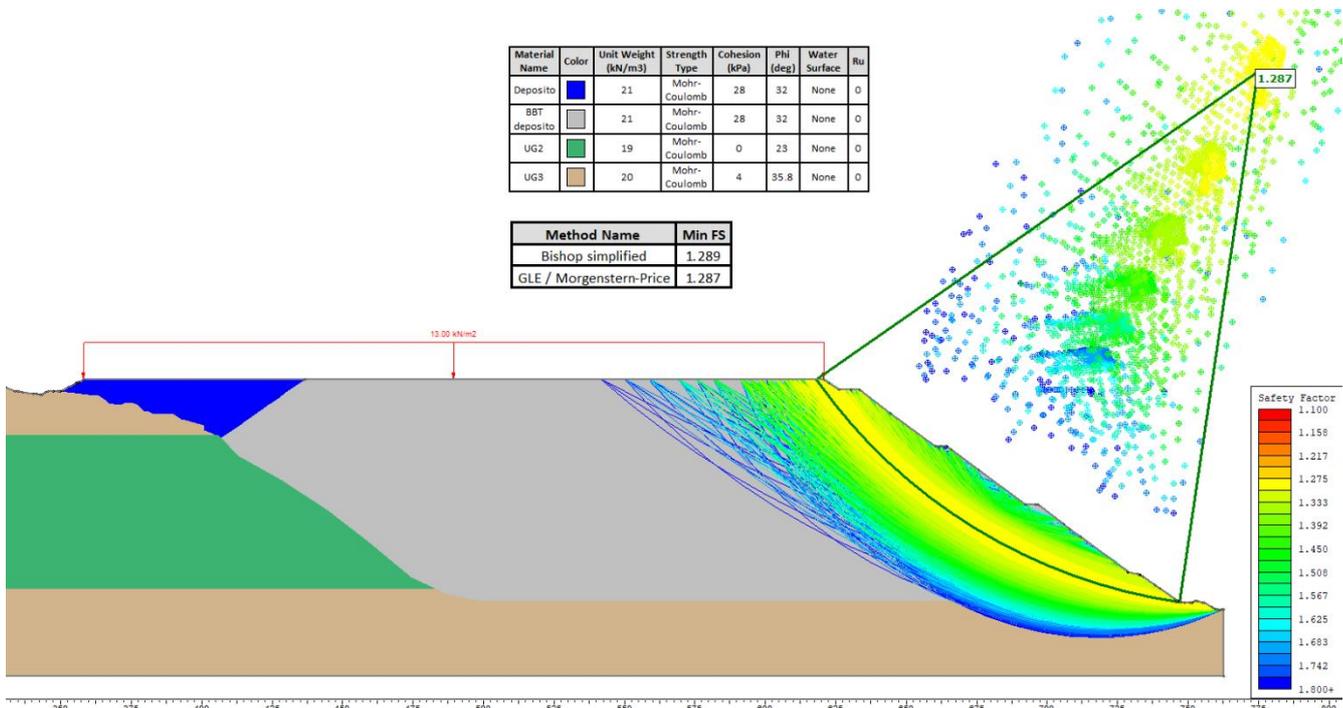


Figura 10-13 – Deposito di Hinterrigger – Analisi di stabilità in campo statico (globale) – FASE 6

APPALTATORE:			<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A. <b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI0350002</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>43 di 64</b>

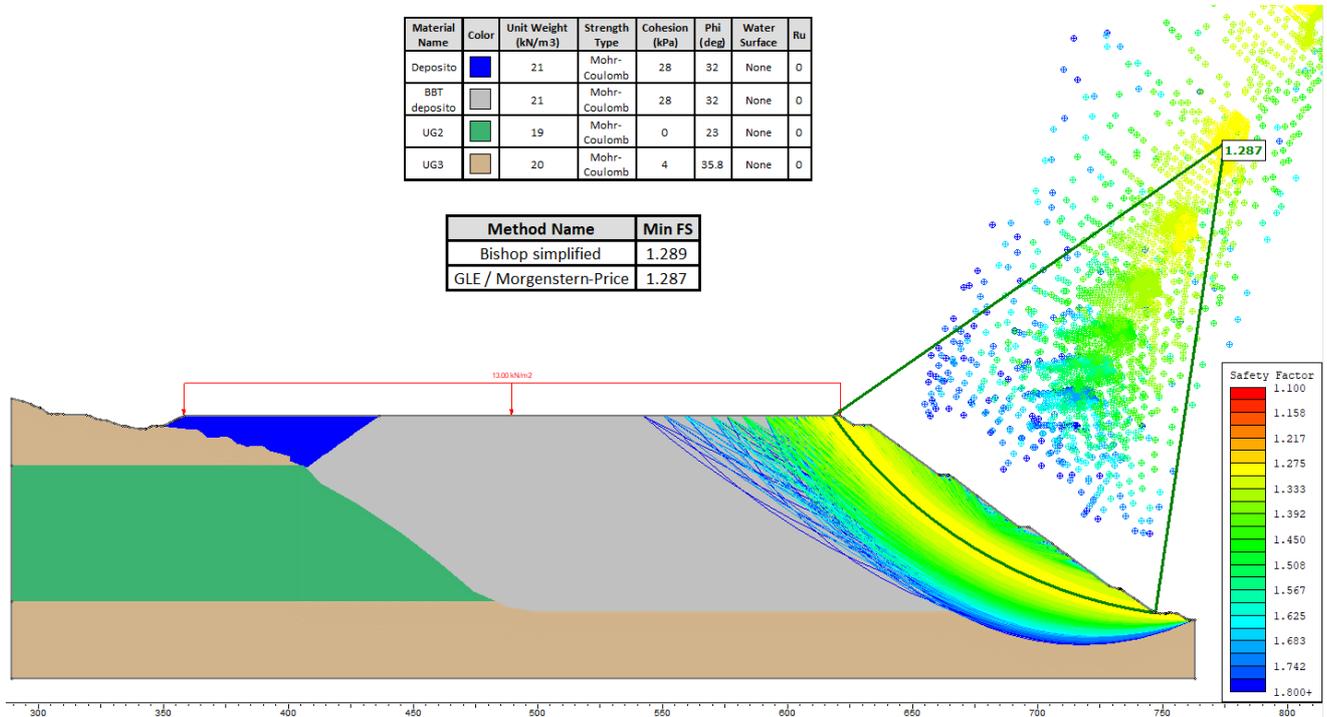


Figura 10-14 – Deposito di Hinterrigger – Analisi di stabilità in campo statico (locale) – FASE 6

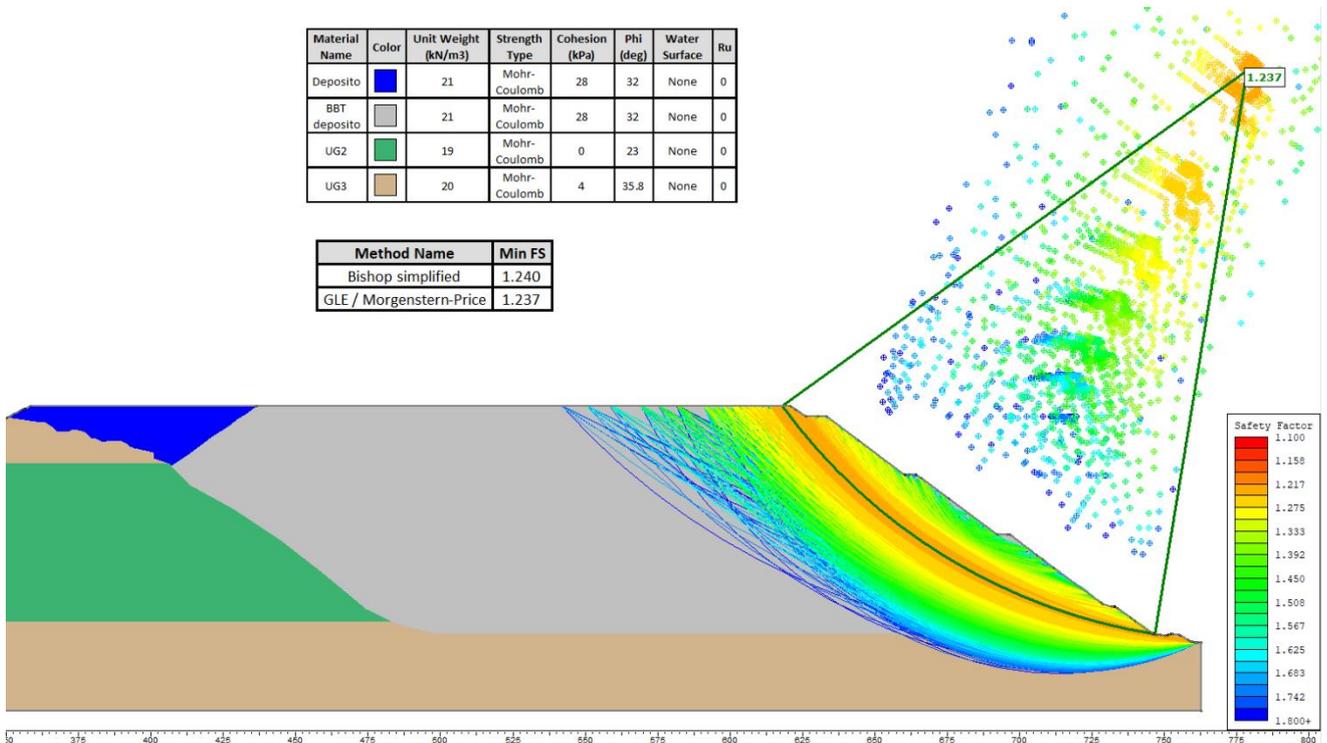


Figura 10-15 – Deposito di Hinterrigger – Analisi di stabilità in campo sismico (globale), combinazione con Kv < 0

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	44 di 64

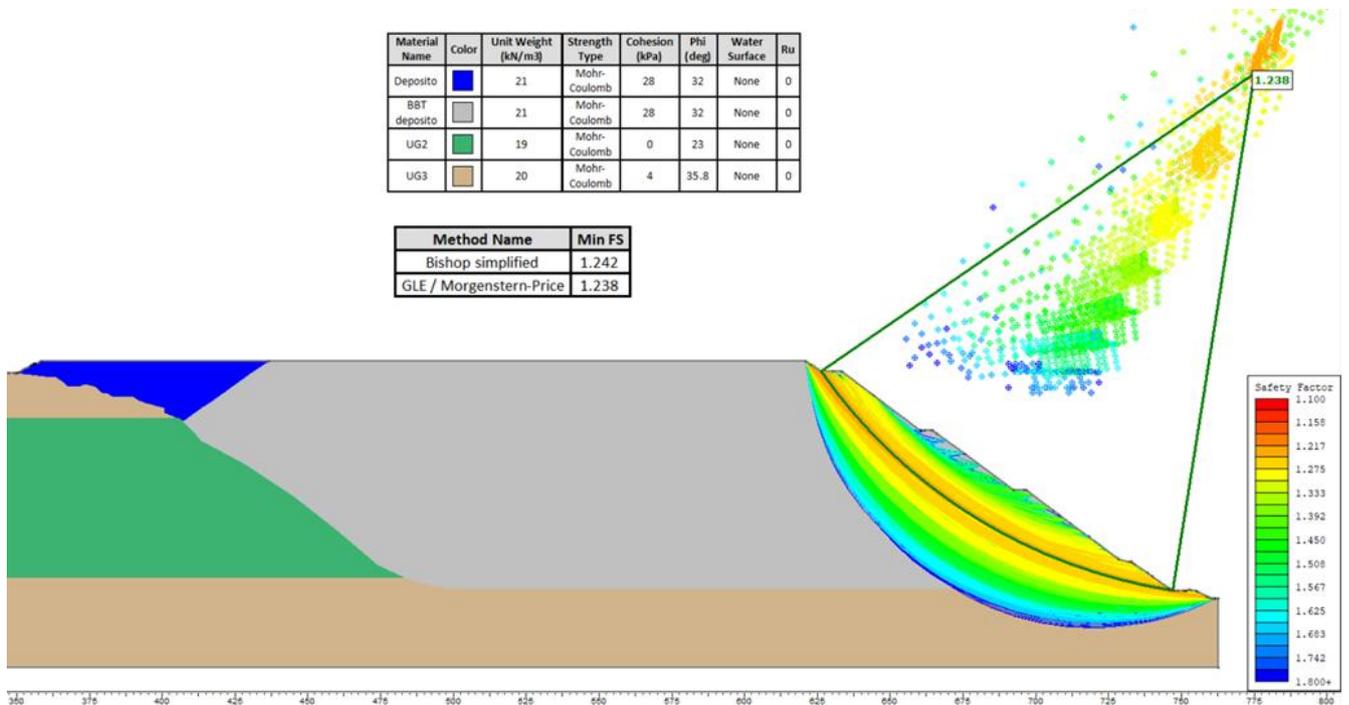


Figura 10-16 – Deposito di Hinterriger – Analisi di stabilità in campo sismico (locale), combinazione con  $K_v < 0$

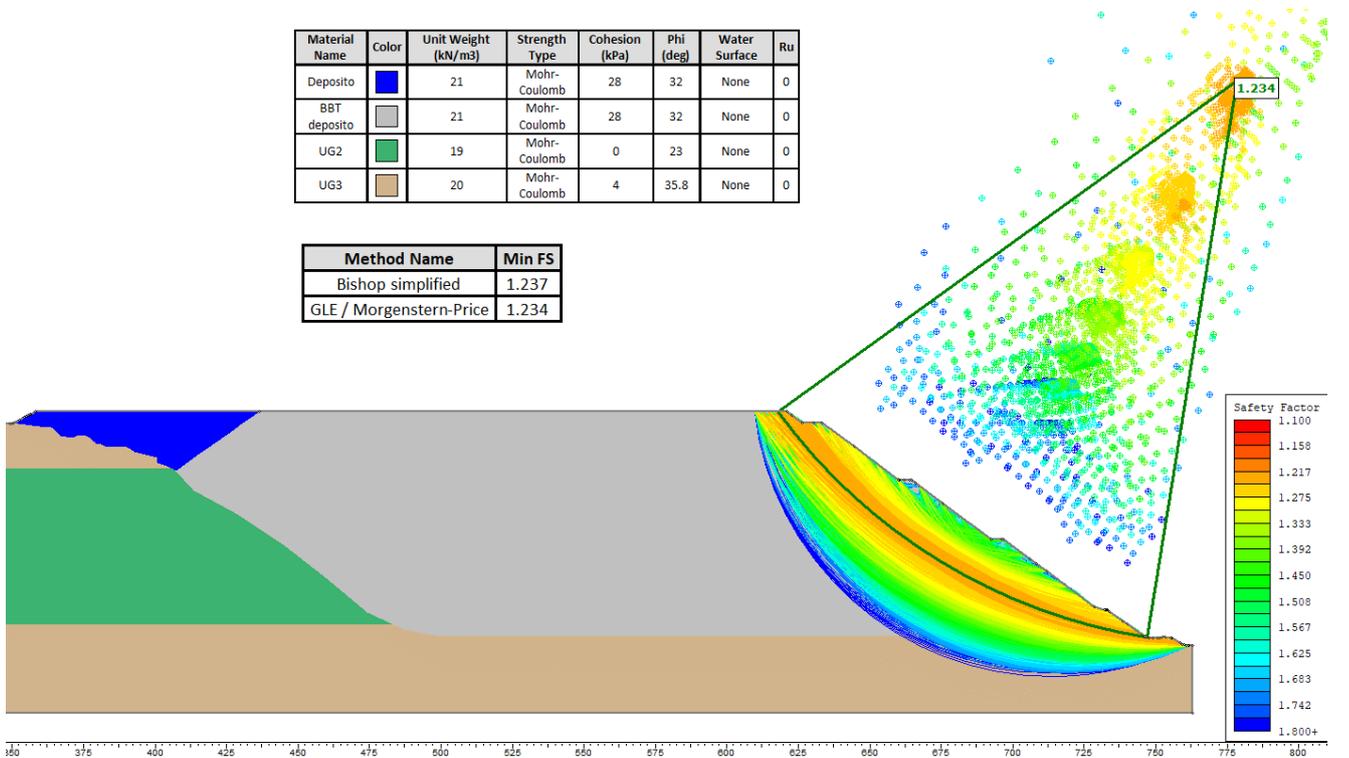


Figura 10-17 – Deposito di Hinterriger – Analisi di stabilità in campo sismico (globale), combinazione con  $K_v > 0$

APPALTATORE:			<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A. <b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	<b>COMMESSA</b> IBOU	<b>LOTTO</b> 1BEZZ	<b>CODIFICA</b> CL	<b>DOCUMENTO</b> RI0350002	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO.</b> 45 di 64

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
Deposito	Blue	21	Mohr-Coulomb	28	32	None	0
BBT deposito	Grey	21	Mohr-Coulomb	28	32	None	0
UG2	Green	19	Mohr-Coulomb	0	23	None	0
UG3	Brown	20	Mohr-Coulomb	4	35.8	None	0

Method Name	Min FS
Bishop simplified	1.238
GLE / Morgenstern-Price	1.234

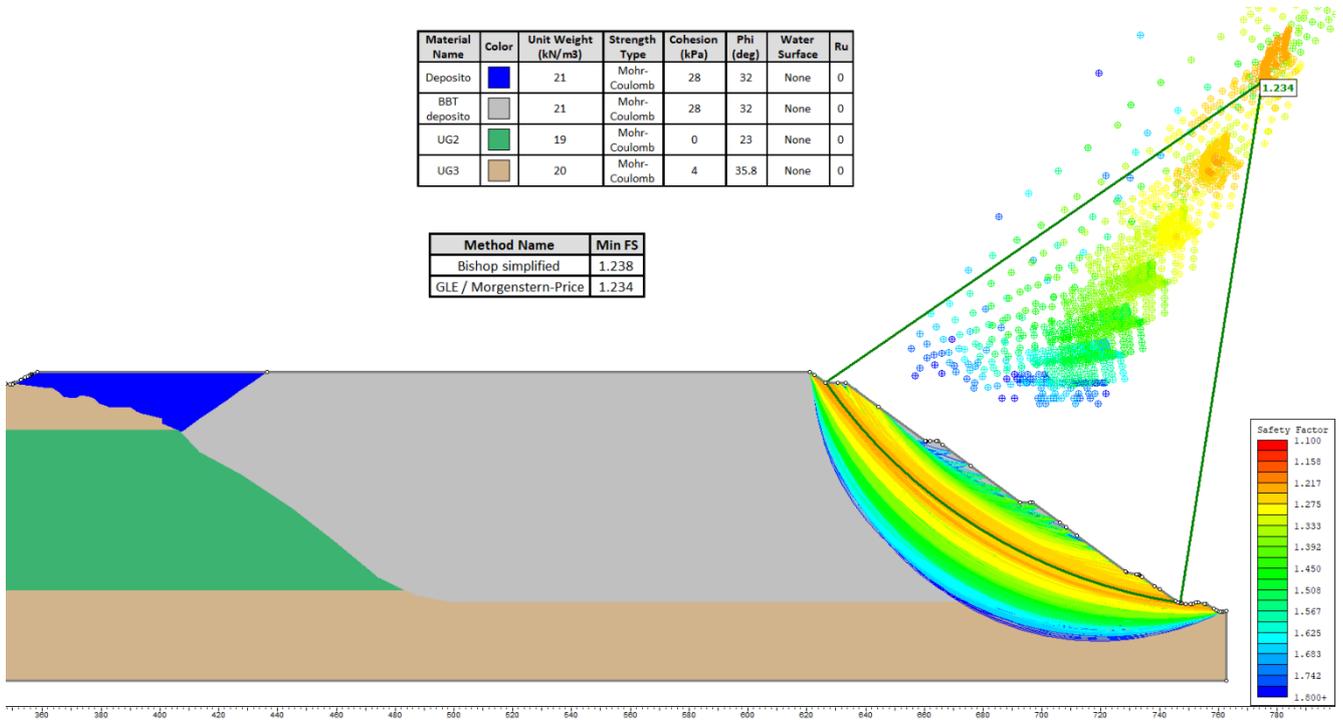


Figura 10-18 – Deposito di Hinterriger – Analisi di stabilità in campo sismico (locale), combinazione con  $K_v > 0$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante		IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	46 di 64

## 11. ANALISI DEI CEDIMENTI

### 11.1. 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.

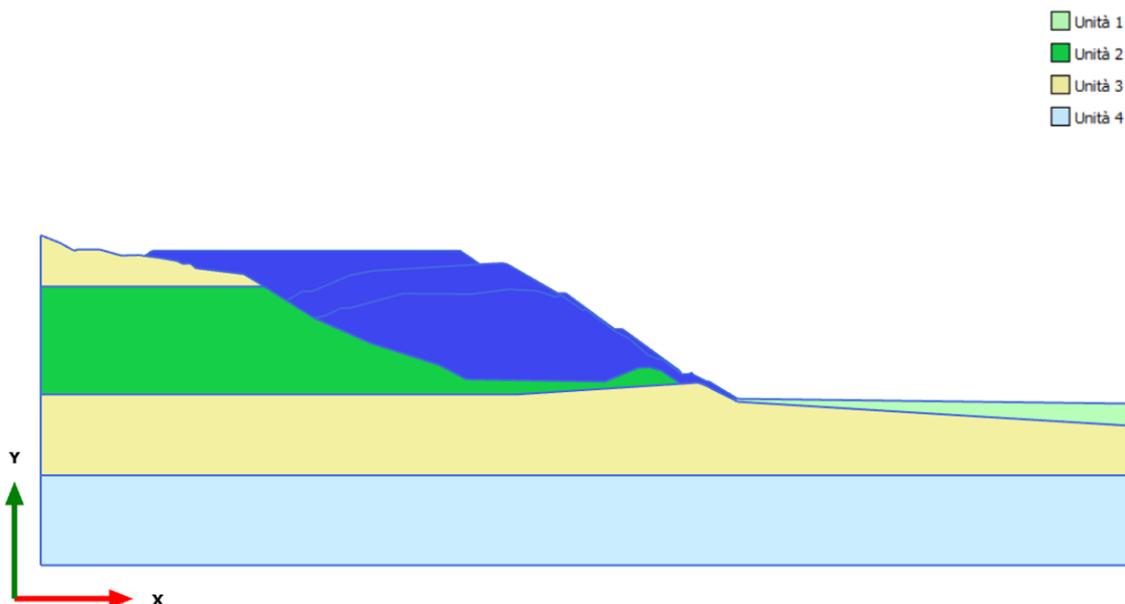


Figura 11-1 - Modello geometrico Plaxis

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 ( $\phi'$ ), costanti per il terreno.

Dal punto di vista deformativo vede la possibilità di sviluppo di deformazioni di tipo elastico ( $\varepsilon^e$ ) e plastico ( $\varepsilon^p$ ). Per tensioni ( $\sigma'$ ) 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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 47 di 64

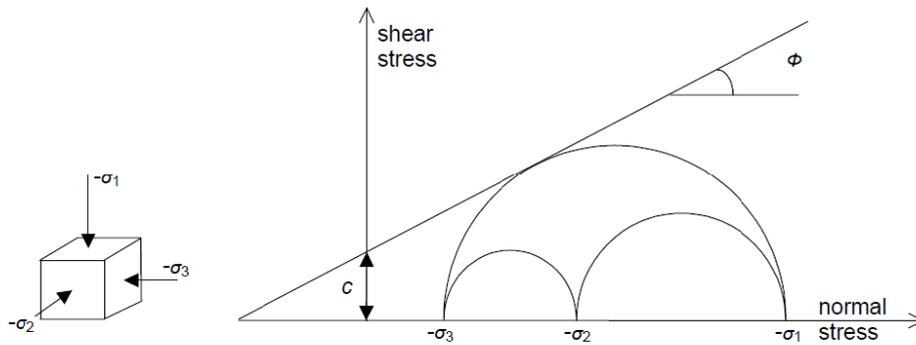


Figura 11-2 – Circoli di Mohr: configurazione al limite plastico

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.

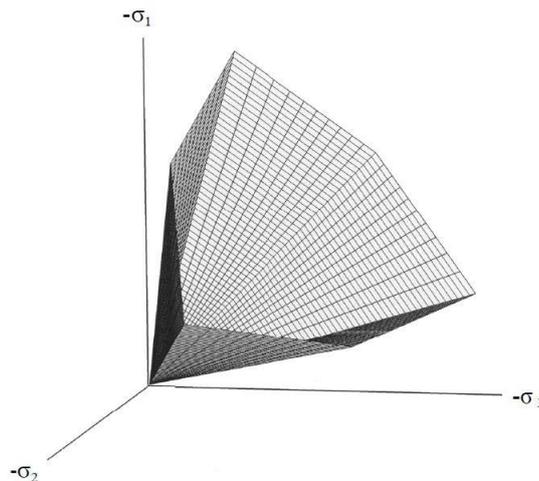


Figura 11-3 – Superficie di rottura alla Mohr-Coulomb nello spazio delle tensioni principali ( $c=0$ )

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

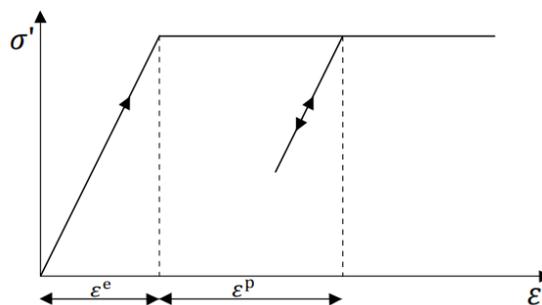


Figura 11-4 – Legge di un modello elastico perfettamente plastico

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	48 di 64

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  $\nu$ , così come le leggi di Hooke, l'angolo di resistenza al taglio  $\phi$  ed il valore di coesione  $c$ , così come da criterio di rottura di Coulomb.

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.

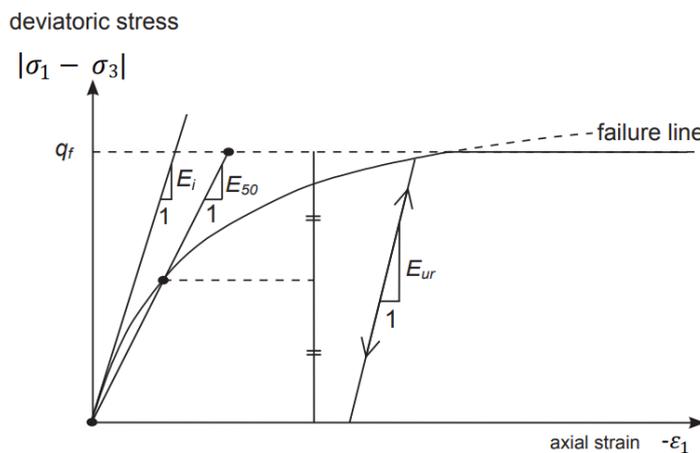


Figura 11-5 – Legge sforzo deformazione Hardening Soil

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.

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

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

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 49 di 64

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

Dove  $\sigma'_3$  è la pressione minima agente nel mezzo.

### 11.1.1.2 Parametri geotecnici

Sulla base di quanto indicato nella relazione geotecnica di progetto e di quanto già riportato al §9.3, sono stati individuati i seguenti parametri geotecnici per i litotipi considerati nel calcolo.

		Analisi dei cedimenti - PLAXIS					
Modelli costitutivi	Unità geotecniche	$\gamma$	$C_k$	$\varphi_k$	$E_{oed}=E_{50}$	$E_{ur}$	$k_0$
		[KN/m <sup>3</sup> ]	[Kpa]	[°]	[Mpa]	[Mpa]	[-]
Hardening Soil	Unità 1	19	5	40	70	175	0,357
	Unità 2	19	0	28	70	350	0,531
Mohr Coulomb	Unità 3	20	5	42	70	350	0,331
	Unità 4	21	0	38	70	350	0,384
	Rilevato (abbancamento)	21	35	38	25	-	0,384

Tabella 11-1 - Parametri geotecnici caratteristici.

Si precisa che il rilevato oggetto di verifica è solo quello di ultima fase, comprendente i conferimenti dagli scavi per le gallerie del Lotto 1 dell'accesso Sud alla Galleria di Base del Brennero, mentre non sono specificamente oggetto della presente relazione i cedimenti indotti dal conferimento di BTC.

### 11.1.1.3 Fasistica

Le analisi vengono eseguite considerando le fasi successive di realizzazione del rilevato di abbancamento già indicate al §9.3. Per ulteriori dettagli sulle fasi esecutive si faccia riferimento alla "Relazione descrittiva della fasistica operativa - Rif. [10]".

Nello specifico le analisi considerate sono le seguenti:

- Fase geostatica (Fase 0): nella quale il programma prende in carico il terreno dato in input e ne definisce le condizioni litostatiche iniziali. Tale step viene calcolato in due fasi distinte e successive. Con la prima "Initial Phase" il programma calcola automaticamente le tensioni sulla base del peso di volume del terreno e relativa profondità considerata.
- Rilievo (Fase 1): simula la realizzazione dell'abbancamento attualmente presente e definito dal rilievo aggiornato al 02/02/2022;
- Proposta Stato Finale BTC (Fase 2): simula la realizzazione dell'abbancamento finale ad opera di BTC; su di esso verrà infatti aggiunto il materiale di scavo delle gallerie del Lotto 1 dell'accesso Sud alla Galleria di Base del Brennero (oggetto del presente progetto);
- Profilo Fasi di abbancamento (Fasi 3-8): simulano il temporaneo accumulo di materiale che avverrà durante le lavorazioni;

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	50 di 64

- Configurazione Finale (Fase 9): rimozione del materiale temporaneamente stoccato alla fase precedente per raggiungere la quota di progetto.

Nelle immagini che seguono si riporta la geometria delle varie fasi di calcolo.

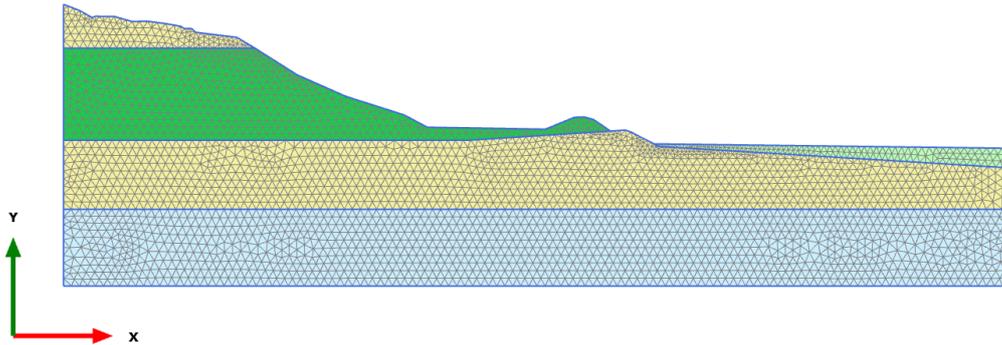


Figura 11-6 - Fase Geostatica

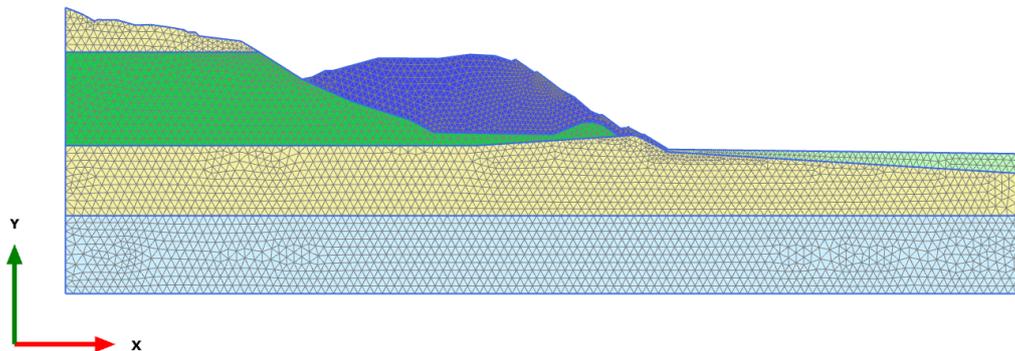


Figura 11-7 – Fase 1 - Rilievo

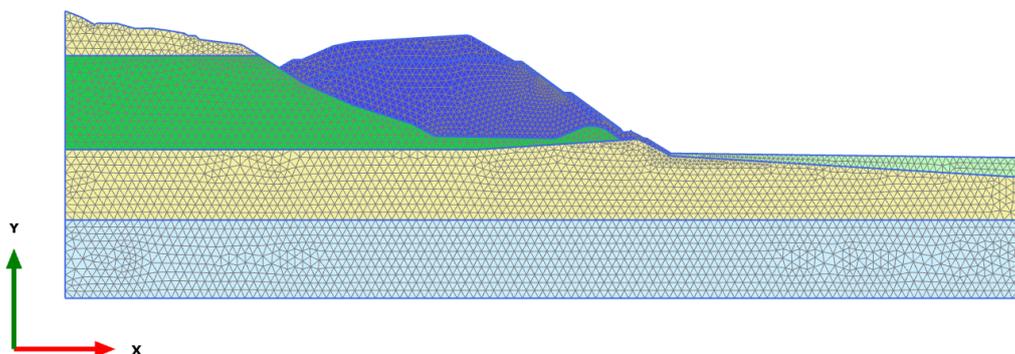


Figura 11-8 – Fase 2 (Fase finale BTC)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 51 di 64

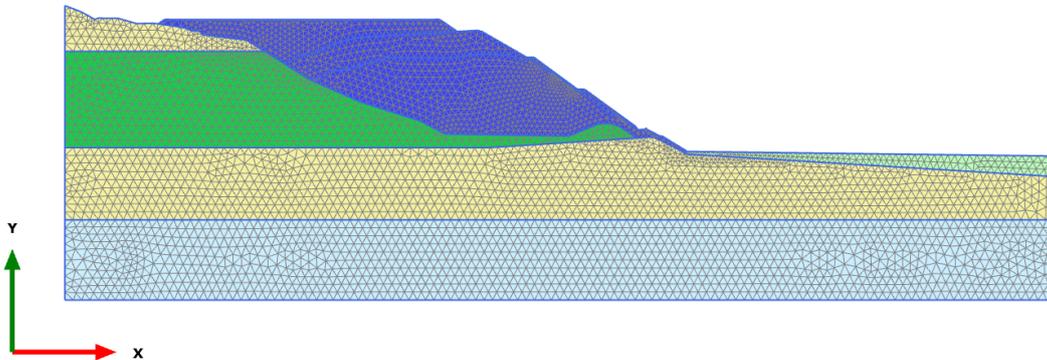


Figura 11-9 – Profilo Fase 3

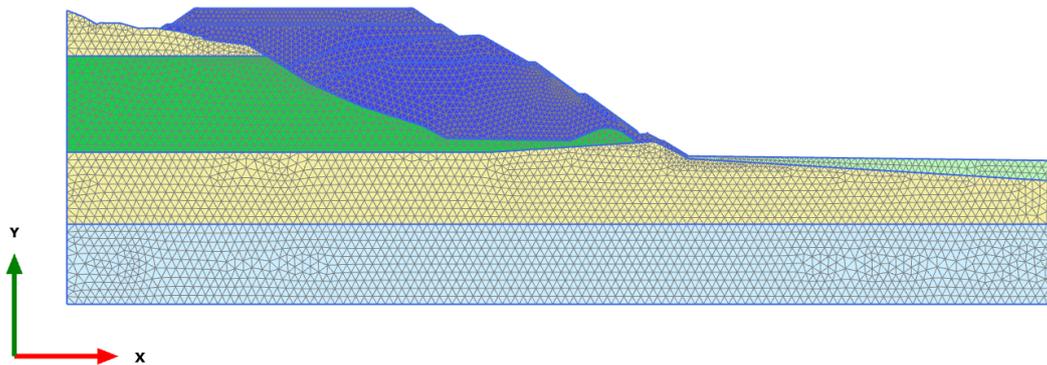


Figura 11-10 – Profilo Fase 4

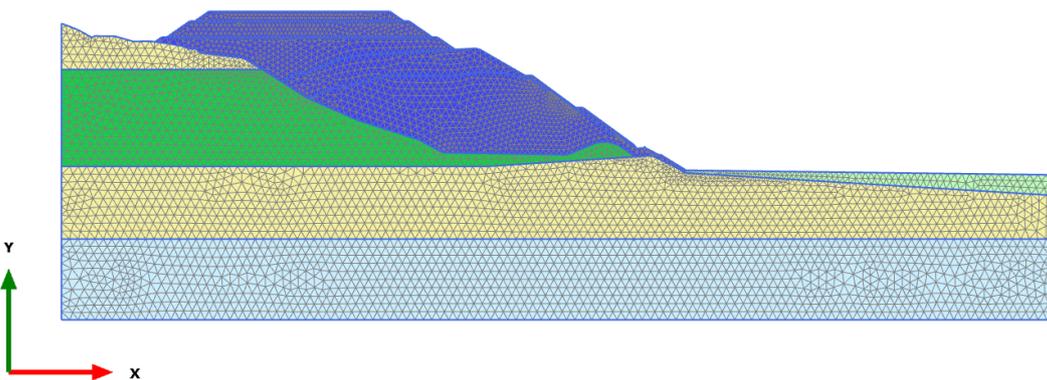


Figura 11-11 – Profilo Fase 5

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 52 di 64

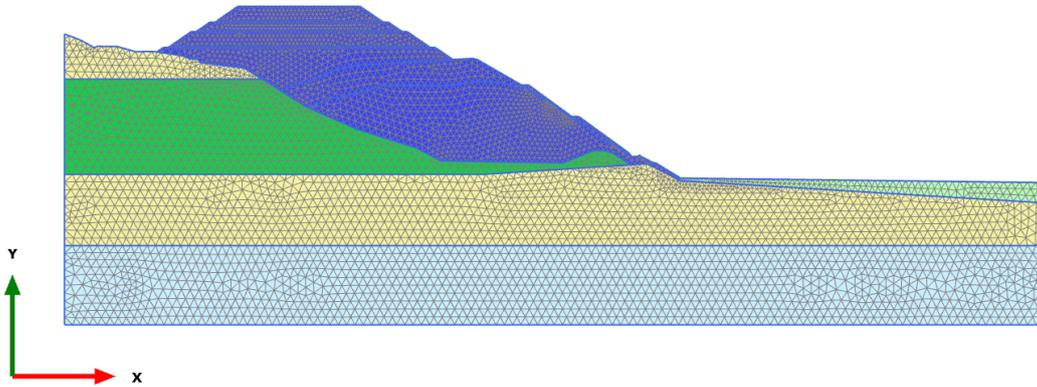


Figura 11-12 – Profilo Fase 6

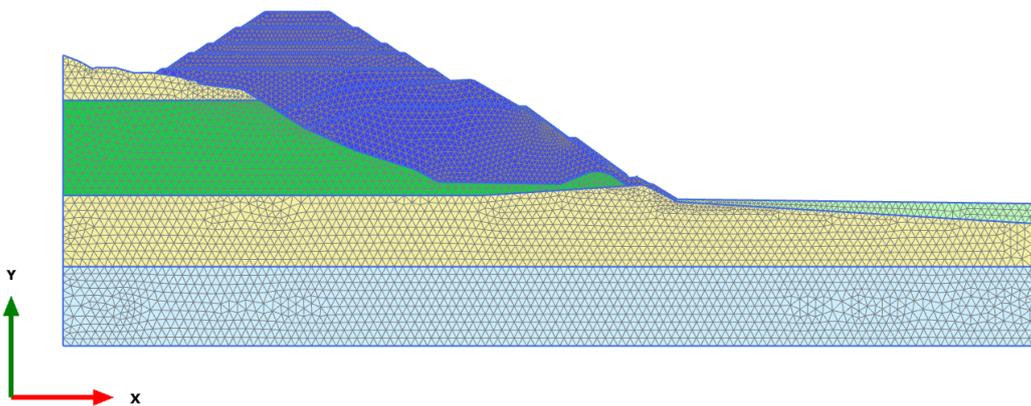


Figura 11-13 – Profilo Fase 7

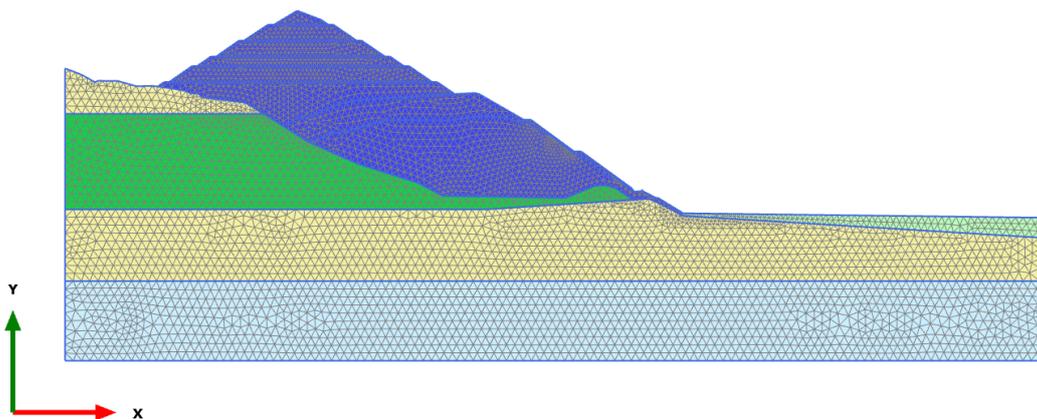


Figura 11-14 – Profilo Fase 8 (massimo abbacamento)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 53 di 64

La configurazione in Figura 11-14 è stata assunta nell'ipotesi che il conferimento del materiale potesse spingersi fino alla quota di massimo abbancamento pari a 746m; nella fase finale (Figura 11-15) la parte dei materiali eccedenti la quota di 700 m verranno in parte riconferiti nei depositi di Forch I e Forch II, e in parte ai piedi del fronte Est (configurazione di progetto riportata in Doc. Rif. [15]).

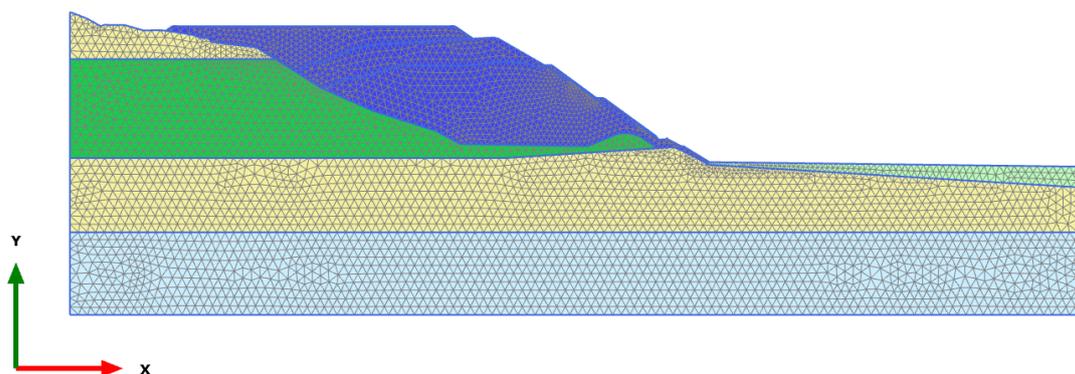


Figura 11-15 – Configurazione Finale

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 54 di 64

## 11.2. Risultati

In questa sede sono riportati i risultati in termini di spostamento nelle fasi di realizzazione dell'abbancamento, con particolare riferimento agli spostamenti verticali (cedimenti) in corrispondenza del maso. Il segno (+ o -) dei valori di spostamento nel seguito rappresentati è concorde con il sistema di riferimento riportato in Figura 11-1.

### 11.2.1 Spostamenti globali

Le figure che seguono illustrano le deformate e gli spostamenti verticali  $u_y$  che avvengono alle fasi più significative.

Tali risultati sono riportati a titolo esaustivo, quelli di interesse sono relativi agli spostamenti indotti sulla struttura preesistente a valle dell'opera.

Come illustrato, i maggiori valori di cedimento si hanno sul materiale abbancato (il quale naturalmente subirà assestamenti in seguito al suo deposito), che non hanno rilevanza ai fini progettuali. Molto bassi sono invece i valori di cedimento in adiacenza al rilevato (indagati nel paragrafo successivo).

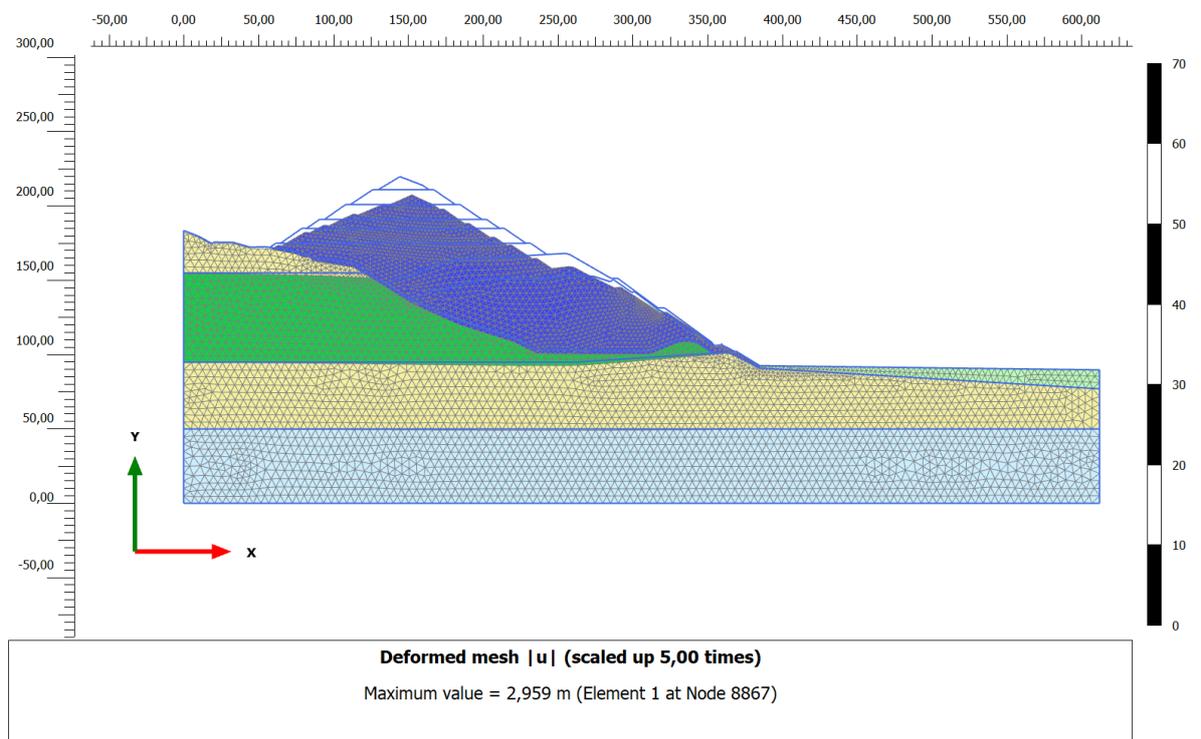
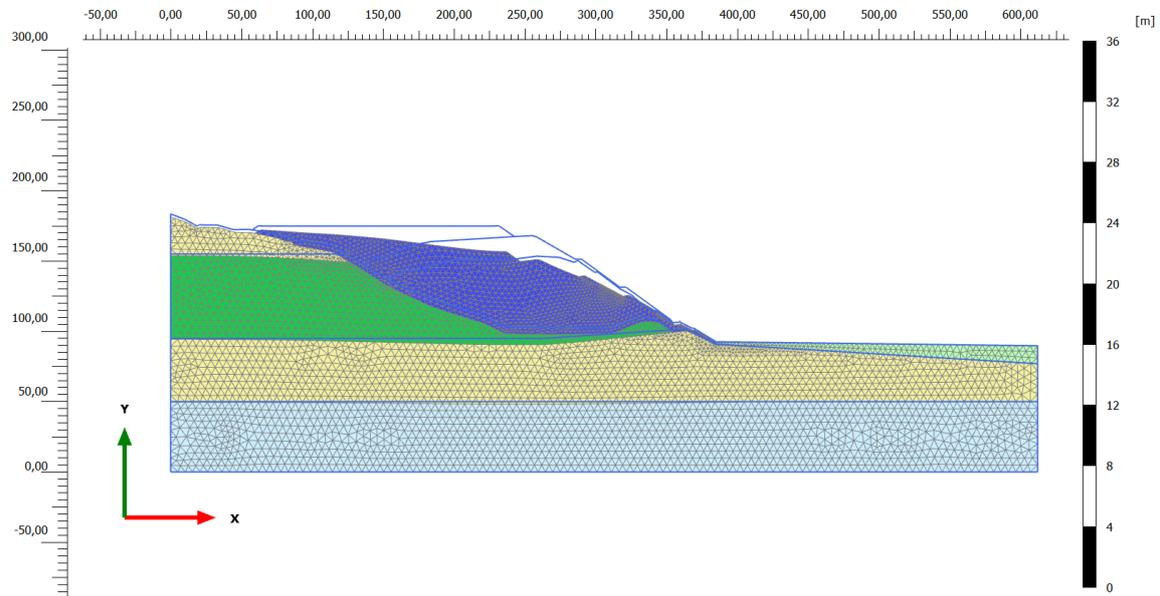


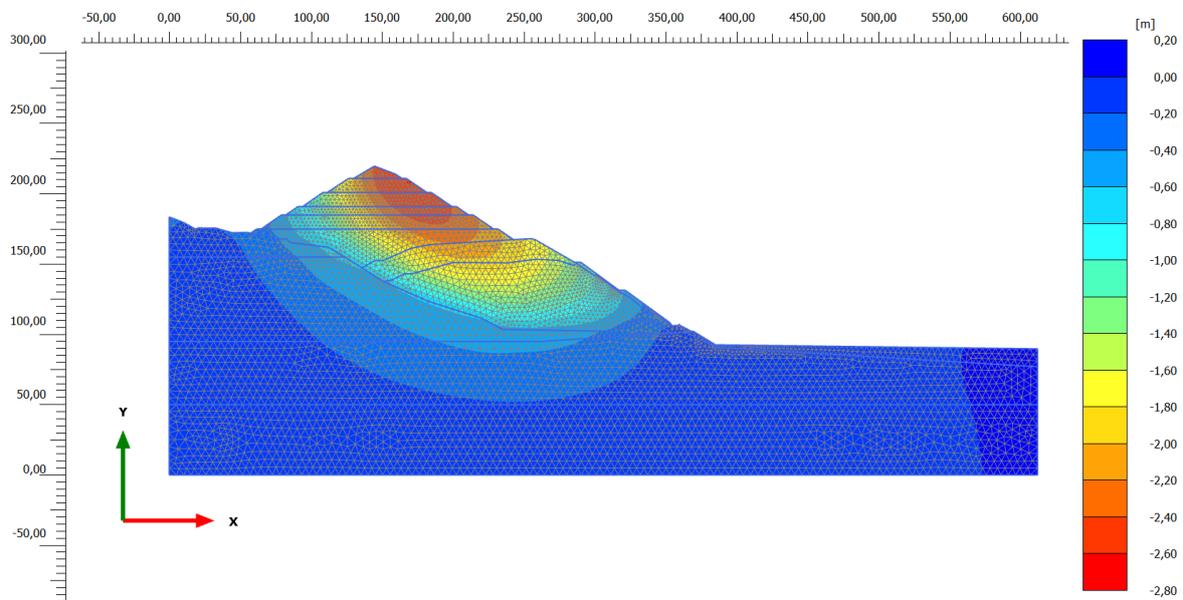
Figura 11-16 – Fase 8– Deformata graficamente amplificata

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 55 di 64



**Deformed mesh |u| (scaled up 10,0 times)**  
Maximum value = 1,897 m (Element 1435 at Node 32877)

*Figura 11-17 – Fase 9 (Configurazione Finale) – Deformata graficamente amplificata*



**Total displacements  $u_y$  (scaled up 5,00 times)**  
Maximum value =  $0,3456 \cdot 10^{-3}$  m (Element 4846 at Node 75444)  
Minimum value = -2,600 m (Element 52 at Node 12481)

*Figura 11-18 – Fase 4 (Profilo Fase 2) – Spostamenti verticali*

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI0350002</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>56 di 64</b>

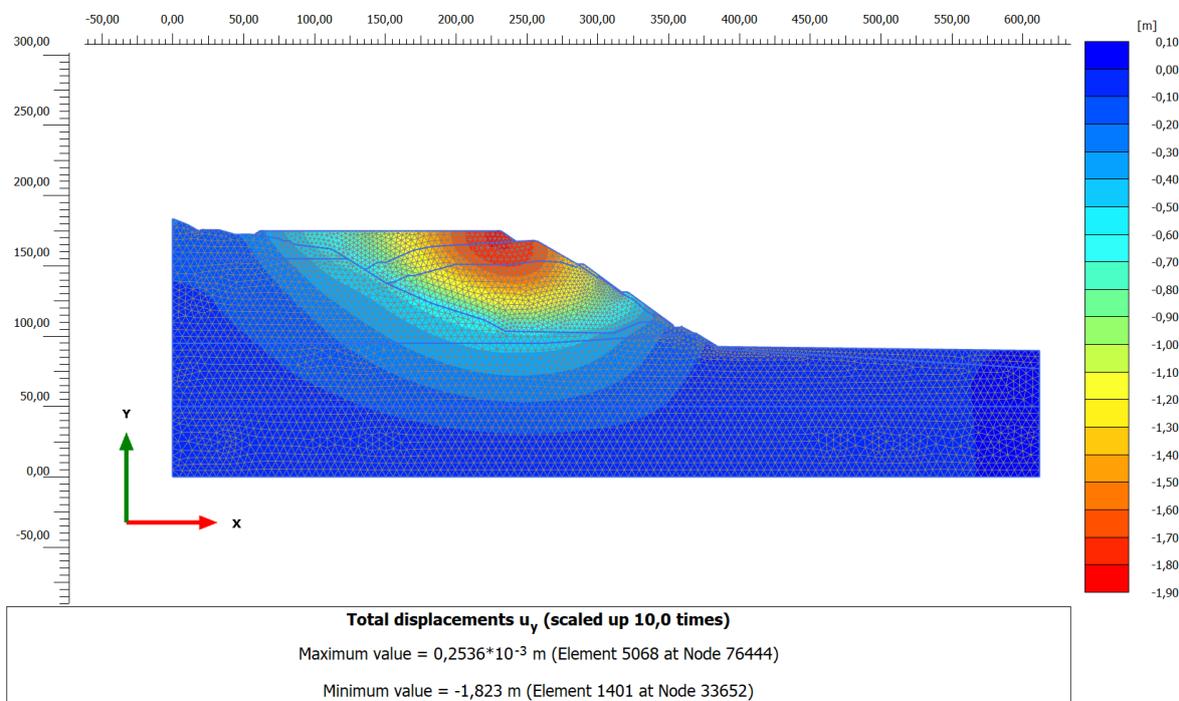


Figura 11-19 – Fase 9 (Configurazione Finale) – Spostamenti verticali

### 11.2.2 Spostamenti indotti sul maso e stima delle categorie di danneggiamento

Le analisi sono state condotte considerando gli effetti combinati dovuti ai cedimenti verticali e orizzontali (§8.2.2.2). Per l'edificio in questione le analisi sono state svolte con lo schema della trave equivalente. Il fabbricato interferente è schematizzato come semplice trave elastica priva di peso, avente altezza H e lunghezza L pari a quelle della sezione dell'edificio analizzato (Burland, 1997).

Di seguito si riporta la stima degli spostamenti verticali che interessano il maso al termine della fase fase 9 (configurazione finale). Il maso ha una distanza minima dal piede del rilevato di 10 m circa e si estende in sezione per circa 28.3m (si veda Figura 9-7).

Nelle immagini che seguono si illustrano i cedimenti individuati in una sezione eseguita in corrispondenza dell'edificio in questione nelle due fasi precedentemente definite. La differenza tra gli spostamenti determinati ai vertici della sezione rappresenta il cedimento differenziale, a partire dal quale verrà determinata la distorsione.

**In fase 9** si ha un cedimento differenziale  $\Delta\delta = 0.05680 - 0.02718 = 0.02962$  m.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 57 di 64

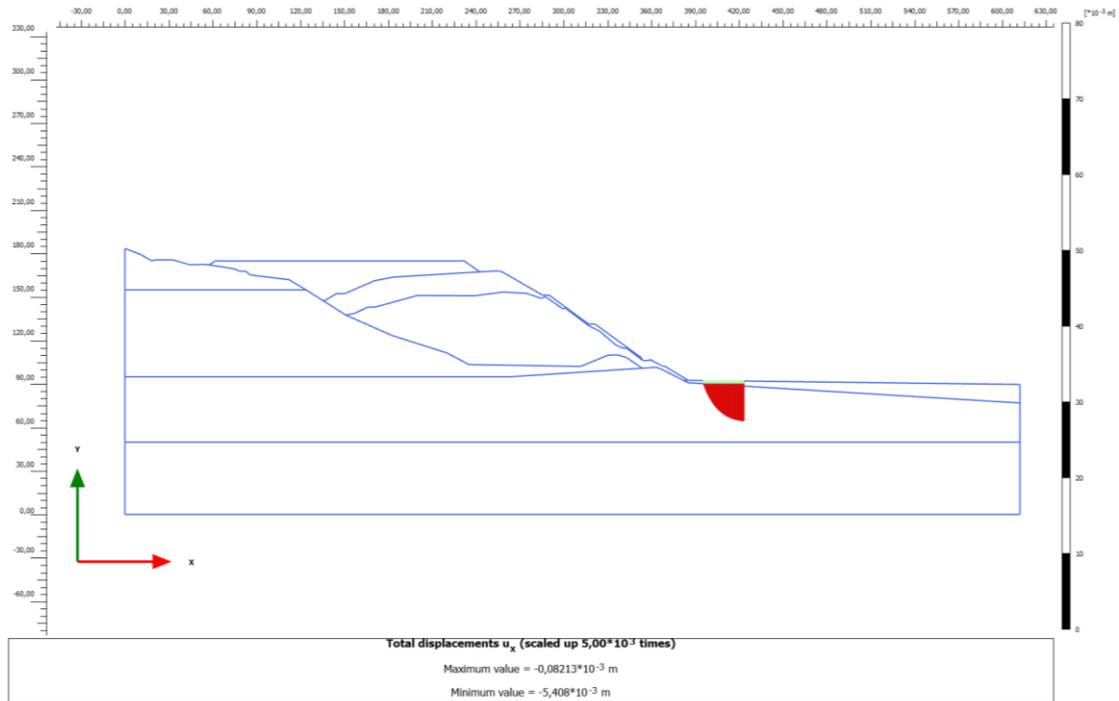


Figura 11-20 – Fase 9 (Configurazione finale) – Spostamenti orizzontali sul maso

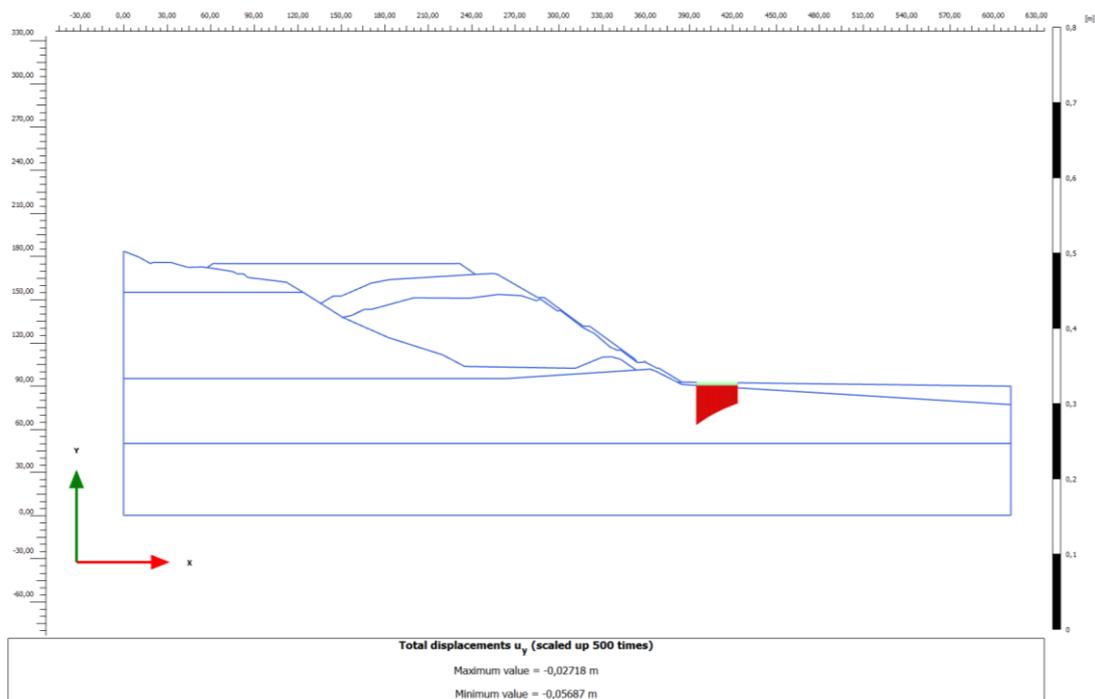


Figura 11-21 – Fase 9 (Configurazione finale) – Spostamenti verticali sul maso

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria				
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>					
Relazione di stabilità e cedimenti versante					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	58 di 64

La nuova configurazione della trave (equivalente all'edificio) dovuta alla curva dei cedimenti implica la mobilitazione di sollecitazioni flessionali e di taglio e corrispondenti deformazioni.

Nel caso in esame la configurazione delle deformazioni determinate lungo la sezione sono le seguenti:

Distanza piede rilevato [m]	u <sub>y</sub> [cm]
10,00	-5,69
10,03	-5,68
10,03	-5,68
11,06	-5,53
11,06	-5,53
12,42	-5,34
12,42	-5,34
13,38	-5,20
13,38	-5,20
14,84	-5,01
14,84	-5,01
15,73	-4,89
15,73	-4,89
16,53	-4,79
16,53	-4,79
18,12	-4,59
18,12	-4,59
19,13	-4,47
19,13	-4,47
20,03	-4,37
20,03	-4,37
21,02	-4,26
21,02	-4,26
22,03	-4,14
22,03	-4,14
22,98	-4,04

22,98	-4,04
23,92	-3,95
23,92	-3,95
25,08	-3,83
25,08	-3,83
26,13	-3,72
26,13	-3,72
27,40	-3,60
27,40	-3,60
28,56	-3,50
28,56	-3,50
29,96	-3,37
29,96	-3,37
31,06	-3,28
31,06	-3,28
32,57	-3,15
32,57	-3,15
33,60	-3,07
33,60	-3,07
35,22	-2,94
35,22	-2,94
36,18	-2,87
36,18	-2,87
37,91	-2,74
37,91	-2,74
38,30	-2,72

Tabella 11-1: Curva dei cedimenti fase 9-- spostamenti verticali u<sub>y</sub>

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 2 di 64

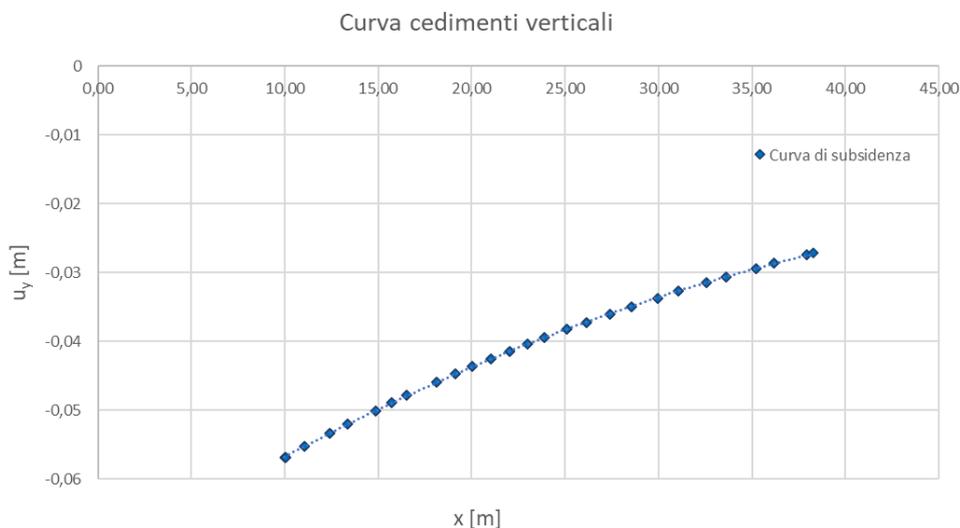


Figura 11-22 – Curva dei cedimenti - spostamenti verticali  $u_y$ , edificio ricade in zona di "hogging".

Per la definizione delle deformazioni indotte si considera di imprimere alla trave equivalente all'edificio la stessa deformata in condizione di "campo libero". Nel caso in questione si ricade nella configurazione di concavità verso il basso, cioè di "hogging region" (Figura 11-22).

Le deformazioni flessionale e di taglio sono determinate secondo le equazioni derivate al §8.2.2.2:

$$\varepsilon_{b,max} = \frac{\frac{\Delta}{L}}{\left[ \frac{L}{12t} + \frac{3EI}{2tLHG} \right]} \quad (8)$$

$$\varepsilon_{d,max} = \frac{\frac{\Delta}{L}}{\left[ 1 + \frac{HL^2G}{18EI} \right]} \quad (9)$$

Dove:

$\varepsilon_{b,max}$  = deformazione flessionale

$\varepsilon_{d,max}$  = deformazione di taglio

$\Delta/L$  = rapporto di inflessione = 0.000099635

L = porzione ( $\leq L$  = lunghezza edificio) di edificio ricadente nella zona analizzata = 28.30 m

I = modulo di inerzia (H3/12 in zona sagging; H3/3 in zona hogging) = 204.71

E/G = rapporto tra il modulo di elasticità longitudinale e tangenziale (12.5 per fabbricati in c.a. e 2.6 per fabbricati in muratura)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0350002	B	3 di 64

$t$  = distanza dell'asse neutro dal bordo teso della trave ( $H/2$  in zona sagging ;  $H$  in zona di hogging)

Quindi:

$$\varepsilon_{b,max} = 0.000149$$

$$\varepsilon_{d,max} = 0.0000582$$

Oltre a queste deformazioni, si deve tenere conto degli effetti delle deformazioni orizzontali

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta S_h}{L} \quad (10)$$

$$\Delta S_h = S_{h,A} - S_{h,B} \quad (11)$$

Dove:

$S_h$  = spostamento orizzontale posto a distanza  $y$  dall'asse dell'abbacamento;

$\Delta S_h$  = differenza di spostamento orizzontale tra due punti dell'edificio;

Gli spostamenti orizzontali sono stati ottenuti mediante modellazione e sono riportati nella seguente tabella:

Distanza piede rilevato [m]	$u_y$ [cm]		
10,00	-5,69	18,12	-0,33
10,03	-5,68	18,12	-0,33
10,03	-5,68	19,13	-0,35
10,00	-0,01	19,13	-0,35
10,03	-0,01	20,03	-0,37
10,03	-0,01	20,03	-0,37
11,06	-0,07	21,02	-0,39
11,06	-0,07	21,02	-0,39
12,42	-0,13	22,03	-0,41
12,42	-0,13	22,03	-0,41
13,38	-0,17	22,98	-0,43
13,38	-0,17	22,98	-0,43
14,84	-0,23	23,92	-0,44
14,84	-0,23	23,92	-0,44
15,73	-0,26	25,08	-0,46
15,73	-0,26	25,08	-0,46
16,53	-0,28	26,13	-0,47
16,53	-0,28	26,13	-0,47
		27,40	-0,48
		27,40	-0,48
		28,56	-0,49

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 2 di 64

28,56	-0,49
29,96	-0,50
29,96	-0,50
31,06	-0,51
31,06	-0,51
32,57	-0,52
32,57	-0,52
33,60	-0,53

33,60	-0,53
35,22	-0,53
35,22	-0,53
36,18	-0,54
36,18	-0,54

Tabella 11-2: Curva dei cedimenti – spostamenti verticali  $u_y$

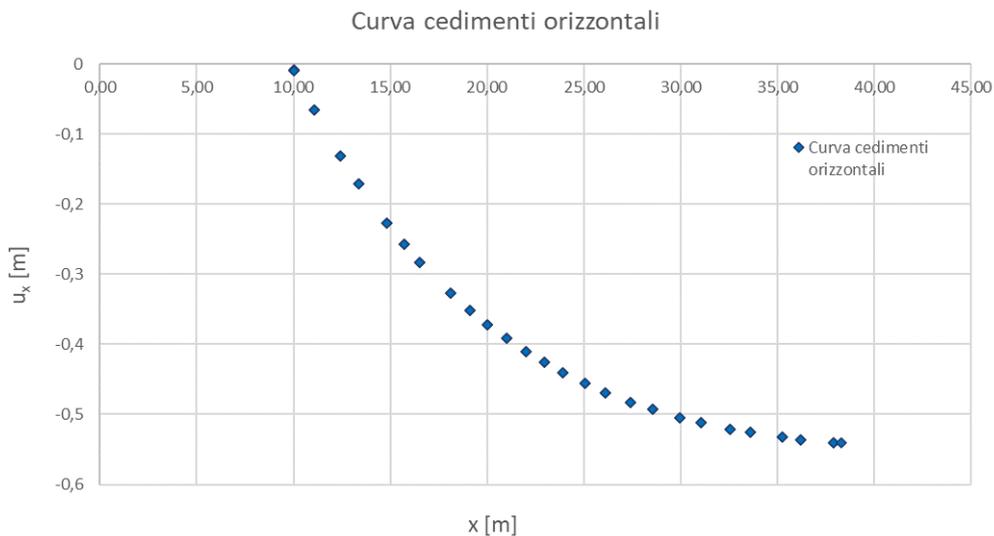


Figura 11-23 – Curva dei cedimenti - spostamenti orizzontali.

È possibile stimare:

$$\varepsilon_h = 0.000188$$

I campi di deformazione vengono composti secondo le seguenti equazioni:

$$\varepsilon_{tot,fl} = \varepsilon_{b,max} + \varepsilon_h = 0.0003373$$

$$\varepsilon_{tot>tag} = 0.35 \cdot \varepsilon_h + [(0.65 \cdot \varepsilon_h)^2 + \varepsilon_{d,max}^2]^{0.5} = 0.0002013$$

Da cui risulta una  $\varepsilon_{tot} = 0.0337\%$ .

### 11.2.3 Definizione delle categorie di danno

Il sistema di classificazione del danno indotto sulle strutture è basato sulla "facilità di riparazione", prendendo in considerazione alcuni aspetti quali l'apertura delle fessure, l'inclinazione, i danni ai servizi.

A tale sistema di classificazione, composto da sei classi di danno (da 0 a 5), Boscardin e Cording (1989) fanno corrispondere dei valori limite di deformazione a trazione, riportati e descritti in Tabella 8-1.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI  REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA  LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA  TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>7 – PROGETTO DEPOSITI</b> Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0350002	REV. B	FOGLIO. 2 di 64

Pertanto, poiché si ricade nella categoria di danno 0 (Trascurabile), si ritiene che i cedimenti indotti sulle strutture dagli ulteriori conferimenti di materiale, proveniente dallo scavo delle gallerie del Lotto 1, non sono tali da comportare un aggravio della funzionalità dei manufatti esistenti.

