

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



### INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01e s.m.i.



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CUP: J94F04000020001

### U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA

### PROGETTO DEFINITIVO

#### ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

#### ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

#### LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

#### DEPOSITI DEFINITIVI IN VAL RIGA

#### DEPOSITI DEFINITIVI IN VAL RIGA – A - VORDERRIGGER Relazione di calcolo – Stabilità versante post scavo

SCALA:

-

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

IBL1 10 D 11 CL RI0320 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione definitiva per CdS	E. Lombardo	05.03.2013	P. Tascione	06.03.2013	C. Mazzocchi	07.03.2013	F. Sacchi	07.03.2013

U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA  
Dott. Ing. FRANCESCO SACCHI  
Ordine del giorno n. 100 della Direzione di Roma

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
2.1	DOCUMENTI DI PROGETTO .....	5
2.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
2.3	SOFTWARE.....	6
3	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE.....	7
3.1	CRITERI GENERALI DI VERIFICA.....	7
3.2	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO.....	8
3.2.1	<i>Stati limite ultimi (SLU)</i> .....	8
3.2.2	<i>Stati limite di esercizio (SLE)</i> .....	9
3.3	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO .....	10
3.3.1	<i>Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche</i> .....	10
3.3.2	<i>Stati limite ultimi (SLU)</i> .....	12
3.3.3	<i>Stati limite di esercizio (SLE)</i> .....	12
4	AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....	13
4.1	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....	13
4.1.1	<i>Vita nominale, coefficiente d'uso e periodo di riferimento</i> .....	13
4.1.2	<i>Accelerazione di riferimento su suolo rigido</i> .....	13
4.1.3	<i>Risposta sismica locale</i> .....	17
4.1.4	<i>Azione sismica equivalente</i> .....	19
5	CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA.....	20
5.1	CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI .....	20
5.1.1	<i>Slope/W</i> .....	20

5.2	METODOLOGIE DI VERIFICA ADOTTATE.....	20
5.2.1	<i>Verifiche di stabilità.....</i>	20
6	CARATTERISTICHE GENERALI DELLA SEZIONE DI CALCOLO.....	21
6.1	DESCRIZIONE SEZIONE DI CALCOLO .....	21
6.2	PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO .....	21
6.3	CARICHI DI PROGETTO .....	22
7	ANALISI DI STABILITÀ .....	23
7.1	VERIFICHE SLU.....	23
7.1.1	<i>Stabilità globale e locale- Verifiche SLU in condizioni statiche.....</i>	23
7.1.2	<i>Stabilità globale e locale - Verifiche SLU in condizioni sismiche .....</i>	24

## 1 INTRODUZIONE

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, deposito A (Vorderrigger), deposito B (Plaikner) e deposito C (Plattner). Tali depositi verranno sfruttati nella prima fase del progetto per cavare il materiale utile alle lavorazioni; in seconda battuta il progetto prevede il ripristino e la sistemazione di tali aree mediante un rinterro per recuperare la quota topografica.

Il presente elaborato, redatto ai sensi del D.M. 14/01/2008, ha per oggetto l'analisi di stabilità delle scarpate in fase di scavo del Deposito A (Vorderrigger).

La sezione di calcolo è la sezione A-A' di cui all'elaborato [7].

Nella relazione sono descritti i criteri di verifica redatte ai sensi del D.M. 14/01/2008 nonché i risultati ottenuti.

Il documento è così articolato:

Nel Cap.2 si riportano i documenti di riferimento e la normativa citati nel testo.

Nel Cap.3 si descrivono i criteri generali di progettazione in accordo alla Normativa vigente (Doc. Rif.[8] e [9]).

Nel Cap. 4 si definisce l'azione sismica di progetto.

Nel Cap. 5 si descrivono i codici di calcolo adottati ed i criteri di verifica.

Nel Cap.6 si riporta la descrizione del versante da un punto di vista geometrico e dal punto di vista stratigrafico e geotecnico.

Nel Cap. 7 sono invece riportate le descrizioni delle verifiche condotte e i risultati ottenuti.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Relazione di calcolo – Stabilità versante post scavo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 CL	RI 03 20 001	A	5 di 28

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documenti di progetto

Per la redazione del progetto si è tenuto conto di tutta la documentazione riguardante prove in sito e in laboratorio effettuate nel corso degli anni a partire dal 2008, oltre alle progettazioni pregresse note agli scriventi. Per la progettazione di dettaglio si è fatto riferimento specifico ai documenti di seguito elencati, messi a disposizione dalla Committente e/o facenti parte del presente progetto:

- [1]. Tratta Verona-Fortezza - Lotto 1 -Progetto Definitivo per appalto - Geotecnica dei tratti all'aperto – Relazione geotecnica dei tratti all’aperto - IBL110D11RBGE0005001A;
- [2]. Tratta Verona-Fortezza - Lotto 1 -Progetto Definitivo per appalto - Geotecnica dei tratti all'aperto – Depositi definitivi in Val Riga - A, B, e C - Sezioni geotecniche – Tav. 4 di 4 - IBL110D11WZGE0005004A;
- [3]. Tratta Verona-Fortezza - Lotto 1 -Progetto Definitivo per appalto - Depositi In Val di Riga – Generale - Relazione tecnico-descrittiva - IBL110D11RORI0300001A;
- [4]. Tratta Verona-Fortezza - Lotto 1 -Progetto Definitivo per appalto - Depositi In Val di Riga - Generale - Sezioni tipo - IBL110D11WZRI0300003A;
- [5]. Tratta Verona-Fortezza - Lotto 1 -Progetto Definitivo per appalto - Progetto depositi definitivi in Val Riga - Depositi definitivi in Val di Riga – A –Vorderrigger - Planimetria di progetto - IBL110D11P7RI0320001A
- [6]. Tratta Verona-Fortezza - Lotto 1 -Progetto Definitivo per appalto - Progetto depositi definitivi in Val Riga - Depositi definitivi in Val di Riga – A –Vorderrigger - Pianta scavi - IBL110D11P7RI0320002A;
- [7]. Tratta Verona-Fortezza - Lotto 1 -Progetto Definitivo per appalto - Progetto depositi definitivi in Val Riga - Depositi definitivi in Val di Riga – A –Vorderrigger - Sezioni trasversali ante e post intervento - IBL110D11W7RI0320001A;

### 2.2 Normativa di riferimento

Gli elaborati progettuali sono redatti in conformità alla normativa vigente in materia di costruzioni in generale:

- [8]. 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.

- [9]. 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.
- [10]. UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [11]. UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici

### 2.3 Software

- [12]. SLope\W – GeoSlope ([www.geo-slope.com](http://www.geo-slope.com))

### 3 CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

#### 3.1 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. [8]):

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

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

$$Ed \leq Rd \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif. [8]})$$

dove:

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

Rd = valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione  $Ed \leq Rd$  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 Ed tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali di cui sopra alle azioni caratteristiche, oppure, a posteriori, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche (Par. 6.2.3.1 del Doc. Rif. [8]).

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

$$Ed \leq Cd \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [8]})$$

dove:

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

Cd = 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.

### 3.2 Verifiche di sicurezza in campo statico

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

#### 3.2.1 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. [8]):

##### Approccio 1:

- Combinazione 2 :  $A2 + M2 + R2$

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in **Tabella 1**, **Tabella 2** e **Tabella 3**.

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

essendo R resistenza globale del sistema (vedasi Par. C.6.8.6.2 del Doc. Rif.[9]), calcolata sulla base delle azioni

$$R = R \left[ \gamma_F \cdot F_{k1} \cdot \frac{x_1}{\gamma_m}; g_d \right]$$

di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto ( ).

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

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
	Relazione di calcolo – Stabilità versante post scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBL1	10	D 11 CL	RI 03 20 001	A	9 di 28

*Tabella 1: Coefficienti parziali sulle azioni (A1, A2 e EQU) - (Tab. 6.2.I, Doc. Rif. [8])*

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

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.

*Tabella 2: Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) - (Tab. 6.2.II, Doc. Rif. [8])*

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

*Tabella 3: Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) - (Tab. 6.8.I, Doc. Rif. [8])*

Coefficiente parziale	(R2)
$\gamma_R$	1.1

### 3.2.2 Stati limite di esercizio (SLE)

Data la tipologia di opera in esame non si ritiene necessario effettuare verifiche agli stati limite di esercizio in quanto ritenute non significative.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
	Relazione di calcolo – Stabilità versante post scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBL1	10	D 11 CL	RI 03 20 001	A	10 di 28

### 3.3 Verifiche di sicurezza in campo sismico

#### 3.3.1 Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche

Le NTC-2008 (Doc. Rif. [8]) 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. [8]:

- **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 rigidezza 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 4** riporta, in funzione della classe d'uso della struttura, lo stato limite da considerare in funzione della verifica di sicurezza appropriata per l'opera (Tabella C7.1.I del Doc. Rif.[9]).

*Tabella 4: Verifiche di sicurezza in funzione della Classe d'uso (Tab. C7.1.I, Doc. Rif.[9])*

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

Con riferimento all'opera in oggetto, e considerando quanto riportato al punto C7.1 del Doc. Rif.[9], 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  $V_r$ ).

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
	Relazione di calcolo – Stabilità versante post scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBL1	10	D 11 CL	RI 03 20 001	A	12 di 28

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.

### 3.3.2 *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 4**). Per l'opera in oggetto, come definito al punto 3.3.1, 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 dei 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 1** e **Tabella 2** e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari ad uno (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [8]).

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. [8] le verifiche possono essere condotte mediante metodi pseudo statici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.

### 3.3.3 *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.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
	Relazione di calcolo – Stabilità versante post scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBL1	10	D 11 CL	RI 03 20 001	A	13 di 28

## 4 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

### 4.1 Definizione dell'azione sismica di progetto

#### 4.1.1 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:

$VN \leq 10$  anni, per opere provvisorie e opere provvisionali.

$VN \geq 50$  anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.

$VN \geq 100$  anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel seguito, data la natura provvisoria delle opere in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si assumerà, in accordo alle NTC2008 una vita nominale pari a **VN = 10 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:  $VR = 10 \times 1 = 10$  anni**

#### 4.1.2 Accelerazione di riferimento su suolo rigido

In allegato al testo delle Norme Tecniche è presente una tabella nella quale i valori  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale),  $F_o$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T_{c*}$  (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



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Relazione di calcolo – Stabilità versante post scavo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 CL	RI 03 20 001	A	14 di 28

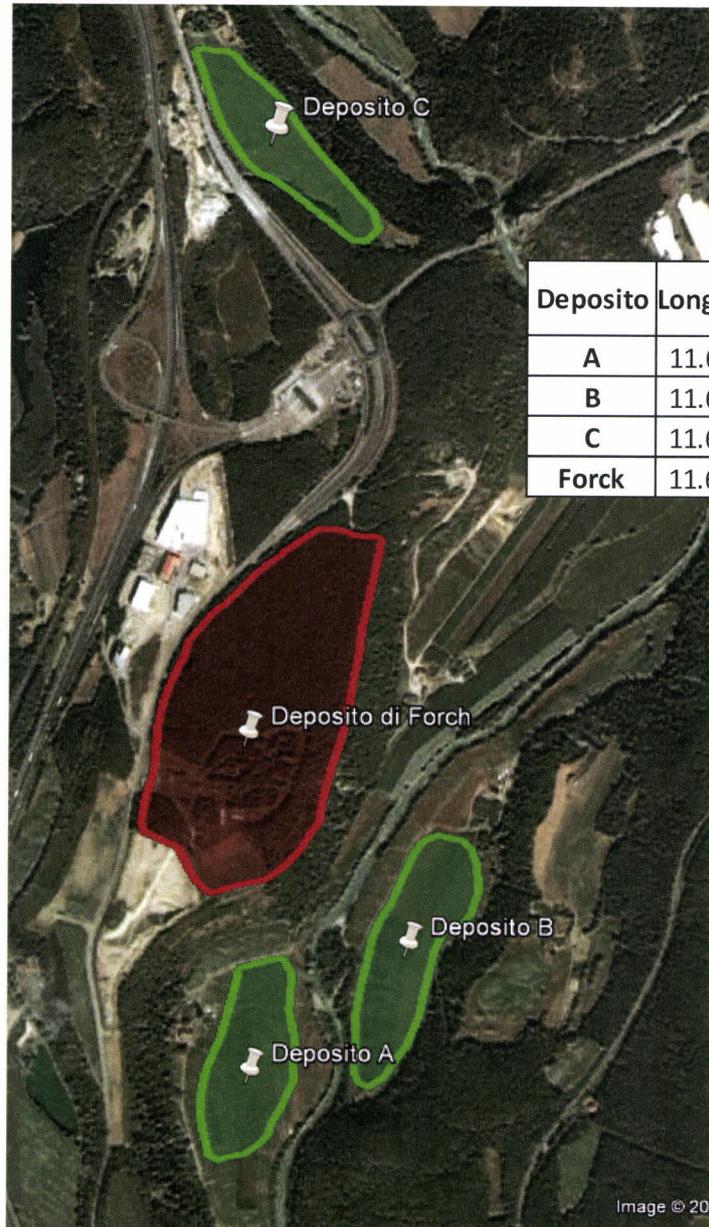
territorio nazionale. I corrispondenti valori di pericolosità sismica situati in punti intermedi della griglia si otterranno per interpolazione sui quattro punti di griglia ad essi adiacenti.

In accordo alla georeferenziazione del sito (**Figura 1**), in **Figura 2** si riporta, per il punto di interesse, la relativa localizzazione ed uno schema di localizzazione 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).

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

Il risultato dell'interpolazione per i parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  è riportato in **Tabella 5**.

Figura 1: Individuazione delle coordinate del sito di interesse tramite GOOGLE MAPS



Deposito	Longitudine	Latitudine
A	11.640173°	46.752348°
B	11.644205°	46.754550°
C	11.641021°	46.768239°
Forck	11.640401°	46.758181°

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

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 11.640401    LATITUDINE: 46.758181

Ricerca per comune

REGIONE: Emilia-Romagna    PROVINCIA: Bologna    COMUNE: Crevalcure

Reticolo di riferimento

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

---

Elaborazioni numeriche

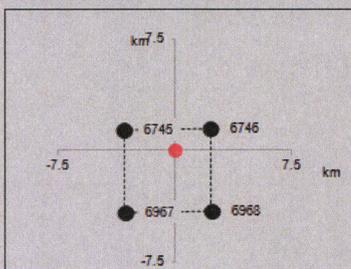
Tabella parametri

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione: media ponderata

Nodi del reticolo intorno al sito



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, a "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Tabella 5 – Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)).

SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)
SLO	30	0.017	2.547	0.144
SLD	35	0.018	2.523	0.156
SLV	332	0.043	2.522	0.327
SLC	682	0.054	2.623	0.371

### 4.1.3 Risposta sismica locale

Per quanto riguarda l' amplificazione topografica, considerato il sito di interesse si trova su una superficie (cat. T4, ossia rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $i > 30^\circ$ , in accordo alla Tabella 3.2.IV al par.3.2.2. delle NTC2008), il fattore di amplificazione topografica è pari a  $S_T=1.4$  (vedi **Figura 2**).

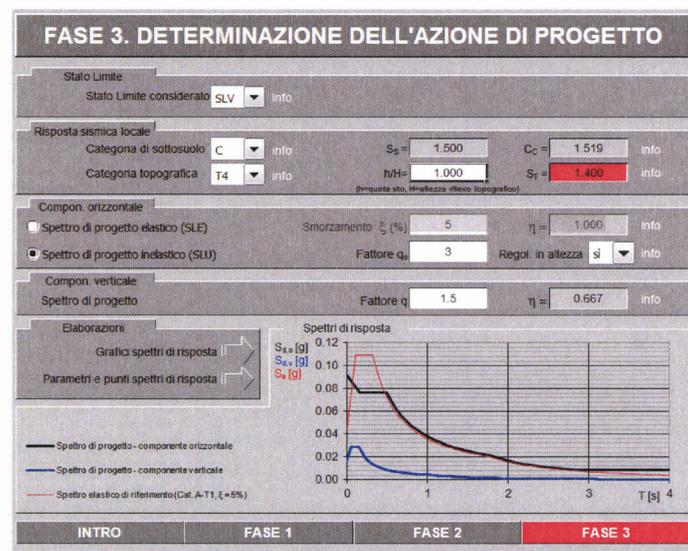
Per quanto riguarda l' amplificazione stratigrafica, sulla base delle informazioni disponibili, ed ai fini della definizione della categoria di suolo ai fini normativi, il sito della zona in esame è classificato come sito di categoria C (Doc. rif. [1]). Il coefficiente di amplificazione topografica è dunque pari a  $S_S=1.500$  (vedi **Figura 2**).

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 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 Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. 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.

*Tabella 6 – 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-NTCver.1.0.3.xls, CSSLPP (2009)).*

SL	TR(anni)	$a_g$ (g)	$S$ (-)	$a_{max}$ (g)
SLO	30	0.017	2.1	0.04
SLD	50	0.018	2.1	0.04
<b>SLV</b>	<b>475</b>	<b>0.043</b>	<b>2.1</b>	<b>0.09</b>
SLC	975	0.054	2.1	0.11

#### 4.1.4 Azione 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:

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

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (**Tabella 7**).

Per la **categoria di sottosuolo C** (Doc. rif. [1]) 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) = 0.043 < 0.1.

**Tabella 7: Coefficiente  $\beta_s$**

	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>

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:

$$k_h = \beta_s a_{max} = 0.20 \times 0.09 = +0.018$$

$$k_v = \pm k_h / 2 = \pm 0.009$$



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Relazione di calcolo – Stabilità versante post scavo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 CL	RI 03 20 001	A	20 di 28

## 5 CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA

### 5.1 Codici di calcolo utilizzati

#### 5.1.1 *Slope/W*

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

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

La versione del software adottata per le verifiche condotte nel presente documento è *SLope\W – GeoSLope* ver. 7.17 - GEOSTUDIO 2007.

### 5.2 Metodologie di verifica adottate

#### 5.2.1 *Verifiche di stabilità*

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

Nelle analisi sono state escluse, perché considerate non significative, le superfici di rottura superficiali che coinvolgono volumi di terreno ridotti. A tal proposito si sottolinea che, nei calcoli, a favore di sicurezza, non è stato preso in conto in alcun modo l'effetto che la finitura a verde delle scarpate darà necessariamente, in termini di coesione efficace, allo strato più superficiale delle scarpate.

## 6 CARATTERISTICHE GENERALI DELLA SEZIONE DI CALCOLO

### 6.1 Descrizione sezione di calcolo

Sono di seguito riportate le verifiche di stabilità globale in campo statico e sismico delle scarpate in fase di scavo del Deposito A (Vorderrigger). La sezione di calcolo è la sezione A-A' di cui ai documenti di progetto (Doc. rif. [7]).

Per quanto concerne la stratigrafia di calcolo e il livello di falda, si rimanda alla Relazione geotecnica generale (Doc. rif. [1]) e alla Sezione geotecnica riportata nell'elaborato Depositi definitivi in Val Riga - A, B, e C - Sezioni geotecniche – Tav. 4 di 4 (Doc. rif. [2]).

Dall'analisi dei dati provenienti dalla campagna di indagine è possibile affermare che la falda è rintracciabile mediamente ad una quota leggermente inferiore al piano di scavo, pertanto nei calcoli è stata assunta una falda di calcolo coincidente con il piano di scavo.

### 6.2 Parametri geotecnici di calcolo

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. rif. [1]) e sulla base di quanto descritto nel Cap. 3, nella **Tabella 8** sono riportati i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 contenuti nella **Tabella 2** della presente relazione.

Come già descritto nella Relazione Geotecnica i depositi morenici incontrati nell'ambito del Deposito A 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.

*Tabella 8 – Parametri geotecnici caratteristici (k) e di progetto (M2)*

Materiale	$\gamma$	$\phi'_k$	$\phi'_{M2}$	$c'_k$	$c'_{M2}$	$c_{uk}$	$c_{uM2}$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
Morene	19.5	34	28.3	0	0	-	-

Si ricorda che, come definito al Cap. 7 del Doc. Rif. [8], le verifiche geotecniche SLU di stabilità globale dei rilevati, in campo statico e sismico, richiedono l'adozione della sola Combinazione 2 dell'Approccio 1 e pertanto l'applicazione dei soli coefficienti parziali M2.

### 6.3 Carichi di progetto

Nelle verifiche di stabilità locale delle scarpate, il carico stradale ( $q$ ), assunto pari a 10 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato sulla berma.

Nelle analisi statiche, il sovraccarico di progetto  $q_d$ , di tipo variabile/accidentale-sfavorevole, è stato calcolato in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato in Tabella 1; il valore di calcolo è stato assunto pari a:

$$q_d = q_{ck} \times \gamma_{Qi} = 10 \text{ kPa} \times 1.3 = 13 \text{ kPa.}$$

Nelle analisi sismiche, il sovraccarico, nonostante sia di tipo variabile è stato cautelativamente assunto quasi permanente e pertanto inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2008 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif.[8]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di adottare l'Approccio 1 Combinazione 2 ponendo i coefficienti parziali sulle azioni (A2) tutti pari ad uno. Pertanto:

$$q_d = q_{ck} = 10 \text{ kPa.}$$

## 7 ANALISI DI STABILITÀ

### 7.1 Verifiche SLU

Le verifiche SLU della stabilità della scarpata (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo SLOpe/W (Doc. Rif. [12] e punto 5.1.1). 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 1** e nella **Tabella 2** della presente relazione. Per quanto concerne i parametri geotecnici di calcolo si rimanda alla **Tabella 8**.

Come da NTC 2008 (Doc. Rif. [8]), la verifica SLU di stabilità 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 3 della presente relazione.

#### 7.1.1 Stabilità globale e locale- Verifiche SLU in condizioni statiche

Le analisi di stabilità condotte sono state finalizzate alla verifica della stabilità globale e locale della scarpata; sono ossia volte all'individuazione delle superfici di rottura che coinvolgessero rispettivamente la scarpata nel suo complesso oppure la singola banca tra berma e berma. Tra esse, sono definite critiche quelle a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

In **Figura 5** e **Figura 6** sono riportate le superfici di rottura critiche rispettivamente in termini di stabilità globale e locale; i fattori di sicurezza FS relativi a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, sono riportati in **Tabella 9**.

*Tabella 9 – Deposito A (Fase di scavo) - risultati analisi statiche*

ANALISI CONDIZIONI STATICHE	MECCANISMO DI ROTTURA	RISULTATI FS <sup>MIN</sup>
STABILITÀ GLOBALE	Figura 5	1.246
STABILITÀ LOCALE	Figura 6	1.153

Essendo soddisfatta la relazione  $FS_{\text{MIN}} \geq R2 = 1.1$ , le verifiche di stabilità in campo statico risultano soddisfatte.

### 7.1.2 Stabilità globale e locale - Verifiche SLU in condizioni sismiche

In accordo a quanto riportato al punto 4, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici di cui al punto 4.1.4.

Le analisi di stabilità condotte sono state finalizzate alla verifica della stabilità globale e locale della scarpata; sono ossia volte all'individuazione delle superfici di rottura che coinvolgessero rispettivamente la scarpata nel suo complesso oppure la singola banca tra berma e berma. Tra esse, sono definite critiche quelle a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

Rispettivamente per valori di  $k_v < 0$  e  $k_v > 0$ , per i meccanismi di rottura globale, in **Figura 7** e **Figura 9** sono riportate le superfici critiche. Analogamente, per i meccanismi locali si rimanda alla Figura 8 e alla Figura 10.

I fattori di sicurezza FS relativi a tali meccanismi, e quindi i minori tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, sono riportati in **Tabella 10**.

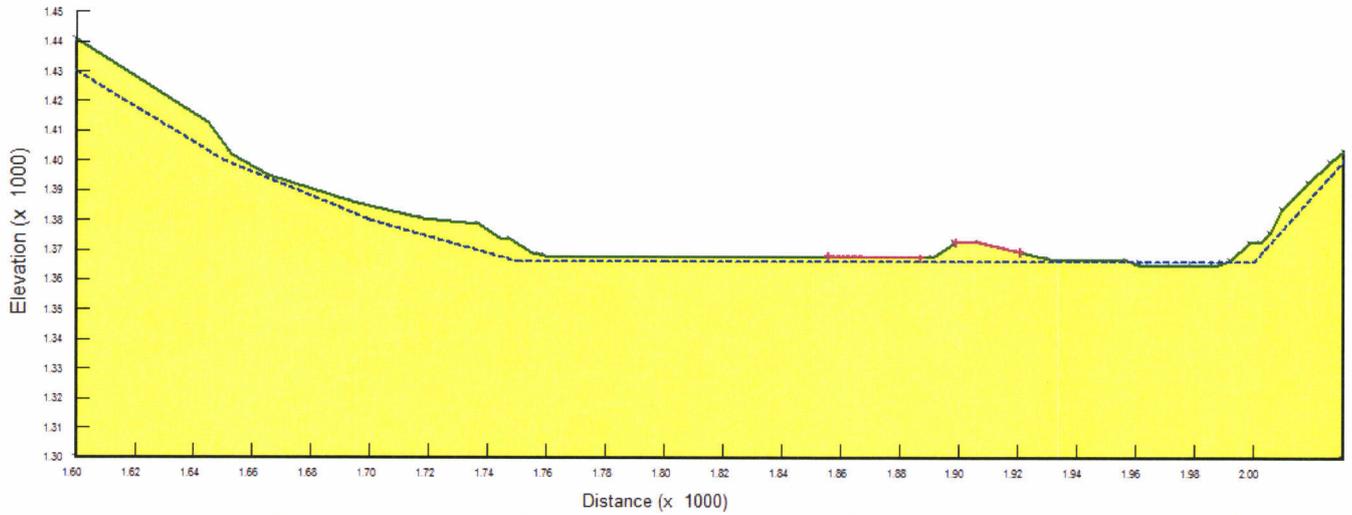
*Tabella 10 – Deposito A (Fase di scavo) - risultati analisi sismiche*

ANALISI CONDIZIONI SISMICHE	AZIONE SISMICA	MECCANISMO DI ROTTURA	RISULTATI
			FS <sup>MIN</sup>
STABILITÀ GLOBALE	$K_v < 0$	Figura 7	1.194
STABILITÀ LOCALE	$K_v < 0$	Figura 8	1.129
STABILITÀ GLOBALE	$K_v > 0$	Figura 9	1.193
STABILITÀ LOCALE	$K_v > 0$	Figura 10.	1.127

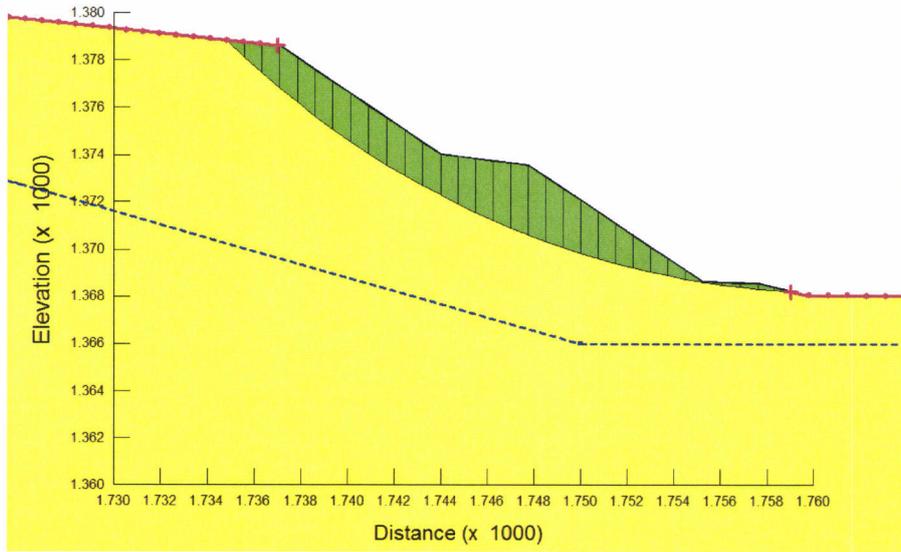
Essendo soddisfatta la relazione  $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$ , le verifiche di stabilità in campo sismico risultano soddisfatte.

Relazione di calcolo – Stabilità versante post scavo

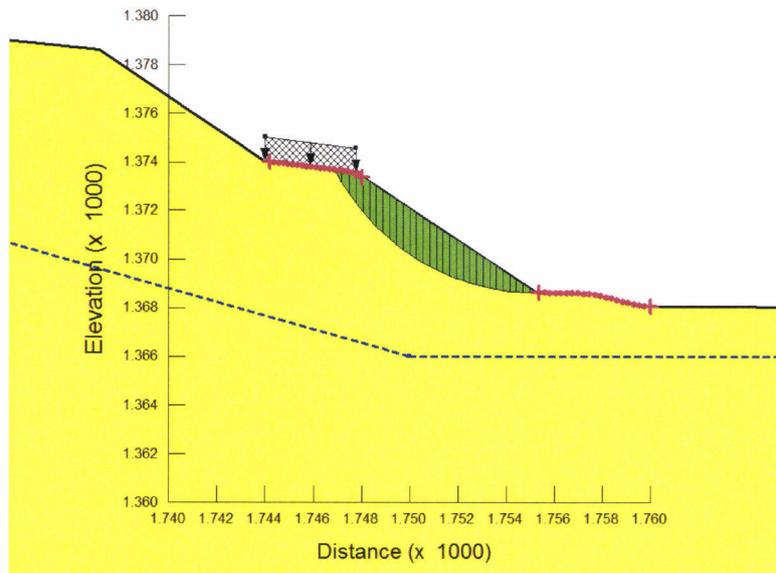
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 CL	RI 03 20 001	A	25 di 28



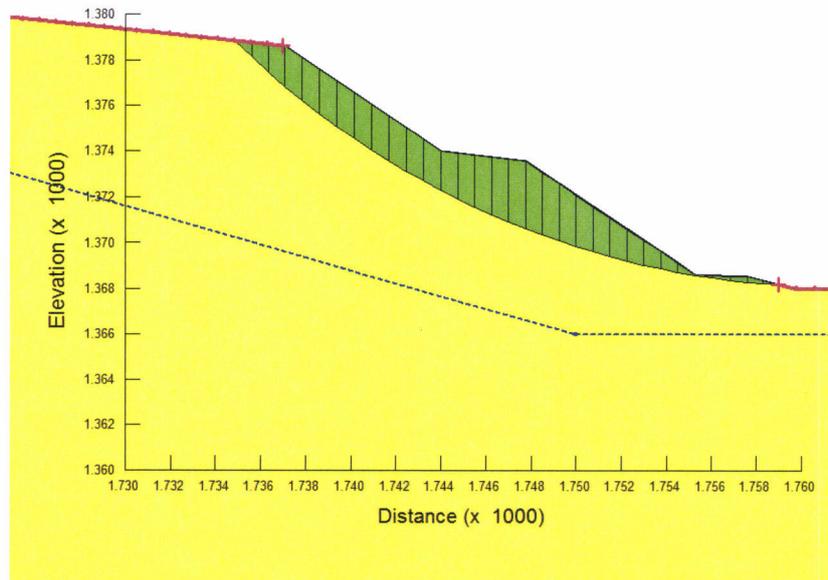
*Figura 4: Deposito A (Fase di scavo) – modello di calcolo*



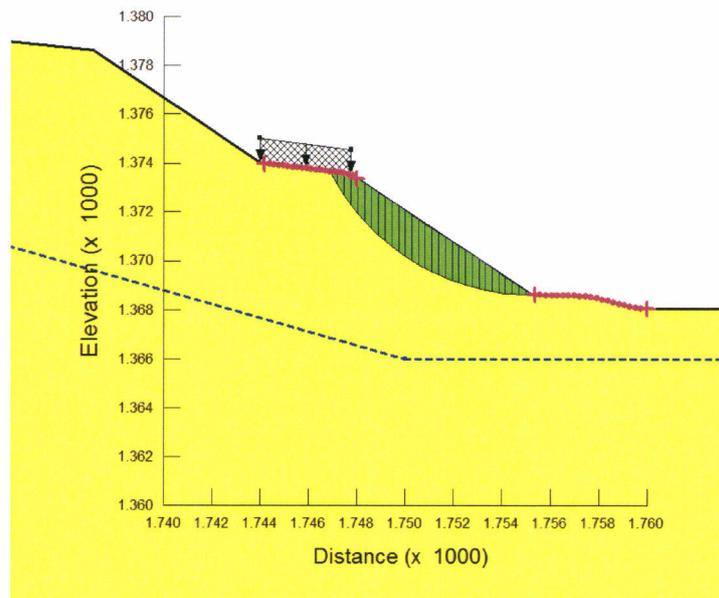
*Figura 5: Deposito A (Fase di scavo) – analisi di stabilità globale in campo statico*



*Figura 6: Deposito A (Fase di scavo) – analisi di stabilità locale in campo statico*



*Figura 7: Deposito A (Fase di scavo) – analisi di stabilità globale in campo sismico –  $k_v < 0$*



*Figura 8: Deposito A (Fase di scavo) – analisi di stabilità locale in campo sismico –  $k_v < 0$*

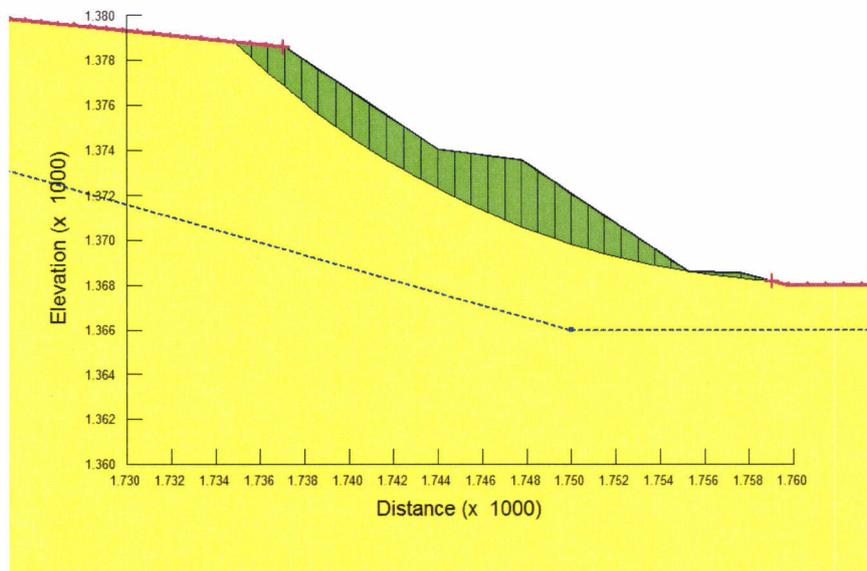


Figura 9: Deposito A (Fase di scavo)– analisi di stabilità globale in campo sismico –  $k_v > 0$

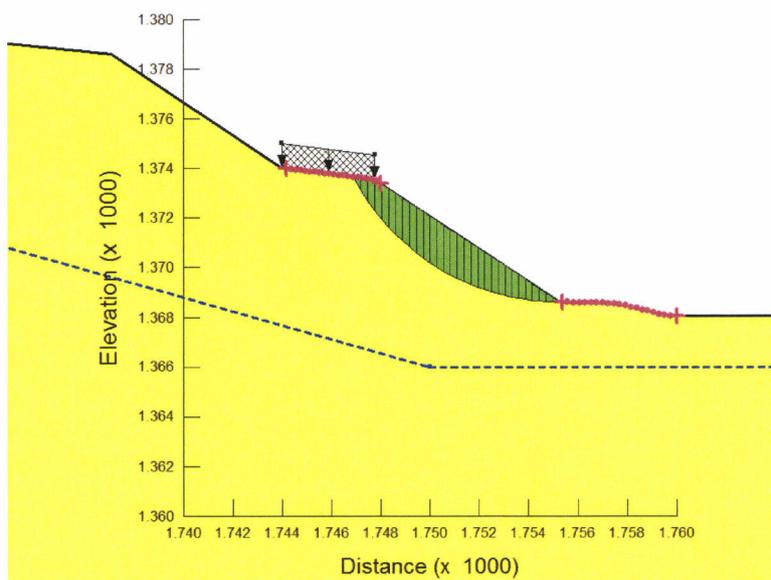


Figura 10: Deposito A (Fase di scavo)– analisi di stabilità locale in campo sismico –  $k_v > 0$