

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI  
PROGETTO ESECUTIVO**

**Rampa Nord Cavalcaferrovia SP 152 Linea III Valico-alla Pk. 38+765 -  
Relazione geologico geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. N. Meistro	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 4	E	C V	R O	I R 1 K 0 X	0 0 1	A

Progettazione:								IL PROGETTISTA
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	
A00	Prima Emissione	D. Fanti 	16/05/2014	S.Fuoco 	16/05/2014	A. Palomba 	16/05/2014	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
A01	Revisione per cambio lotto	D. Fanti 	22/03/2017	S.Fuoco 	22/03/2017	A. Mancarella 	22/03/2017	

n.Elab.:	File:IG51-04-E-CV-RO-IR1K-0X-001-A01.DOC
----------	------------------------------------------



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IR1K-0X-001-A01 Relazione geologico geotecnica</p> <p>Foglio 3 di 25</p>

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>6</b>
<b>2. PROFILO STRATIGRAFICO E STRATIGRAFIA DI PROGETTO.....</b>	<b>7</b>
2.1. Contesto geologico .....	7
2.2. Contesto idrogeologico .....	7
2.3. Indagini in sito considerate .....	11
2.4. Stratigrafia nella zona di realizzazione delle opere .....	11
2.5. Livello piezometrico .....	12
<b>3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO.....</b>	<b>13</b>
<b>4. CALCOLO DEI CEDIMENTI .....</b>	<b>18</b>
<b>5. VALUTAZIONE DELLA STABILITA' DEI PENDII.....</b>	<b>20</b>

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IR1K-0X-001-A01 Relazione geologico geotecnica
	Foglio 4 di 25

## INDICE FIGURE

Figura 1 - Profilo geologico in prossimità della rampa nord del cavalcaferrovia (IV14) con indicazioni dei sondaggi ed indicazione dei valori di permeabilità (i valori di permeabilità sono espressi in m/s). ....	9
Figura 2 - Grafico dei risultati delle prove di permeabilità eseguite in prossimità dell'area di realizzazione della rampa nord del cavalcaferrovia IV14. ....	10
Figura 3 – Grafico dei cedimenti in funzione della progressiva della rampa. ....	19
Figura 4 – Dipendenza dell'angolo di resistenza al taglio dalla tensione agente sul piano di rottura (Bolton, 1986) .....	20
Figura 5 Dipendenza dell'angolo di resistenza al taglio dalla tensione agente sul piano di rottura (Bellotti et Al., 1985) .....	21
Figura 6. Sez.23 pk550. Analisi di stabilità in condizioni statiche, metodo di Bishop. Mezzo attritivo. Fattori di sicurezza e superficie di scivolamento analizzate. ....	23
Figura 7. Sez.23 pk550. Analisi di stabilità in condizioni sismiche, metodo di Bishop. Mezzo attritivo. Fattori di sicurezza e superficie di scivolamento analizzate. ....	24
Figura 8. Sez.28 pk675. Analisi di stabilità in condizioni statiche, metodo di Bishop. Mezzo attritivo. Fattori di sicurezza e superficie di scivolamento analizzate. ....	24
Figura 9. Sez.28 pk675. Analisi di stabilità in condizioni sismiche, metodo di Bishop. Mezzo attritivo. Fattori di sicurezza e superficie di scivolamento analizzate. ....	25

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IR1K-0X-001-A01 Relazione geologico geotecnica</p> <p>Foglio 5 di 25</p>

## INDICE TABELLE

Tabella 1. Sondaggi nell'area di realizzazione della rampa.....	11
Tabella 2. Dettaglio risultanze delle prove SPT in foro nell'area della rampa. ....	12
Tabella 3. Stratigrafia di progetto per l'area in esame .....	12
Tabella 4. Caratteristiche di base dei materiali geotecnici.....	13
Tabella 5. Dettaglio risultanze delle prove di laboratorio nell'area della rampa. ....	14
Tabella 6. Caratteristiche di progetto dei materiali geotecnici per la zona della rampa. Interpretazione SPT sondaggio SI3 presente nell'area.....	15
Tabella 7. Caratteristiche di progetto dei materiali geotecnici per la zona della rampa nord. ....	17
Tabella 8. Caratteristiche geometriche delle sezioni analizzate. ....	18
Tabella -9. Valori dell'angolo d'attrito di picco in funzione della densità relativa e della tensione efficace agente .....	22

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IR1K-0X-001-A01 Relazione geologico geotecnica</p>	<p>Foglio 6 di 25</p>

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione riguarda gli aspetti geotecnici connessi alla realizzazione della rampa nord del sovrappasso della variante della strada provinciale n.152 alla progressiva 38+765 della linea AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi".

La caratterizzazione è stata definita sulla base dei dati ottenuti dalle varie campagne di indagini eseguite. Di seguito viene riportato un breve inquadramento geologico e poi la caratterizzazione geotecnica con la presentazione dei parametri da utilizzare in fase progettuale.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IR1K-0X-001-A01 Relazione geologico geotecnica</p>	<p>Foglio 7 di 25</p>

## 2. PROFILO STRATIGRAFICO E STRATIGRAFIA DI PROGETTO

### 2.1. Contesto geologico

L'opera oggetto del presente rapporto è situata in un settore di pianura, caratterizzato dalla successione di depositi alluvionali del Bacino di Alessandria (Pleistocene inf - Olocene) che poggiano in discontinuità sulla successione sedimentaria post-messiniana, rappresentata in questo settore dalla Formazione delle argille Azzurre (Zancleano), dalle Sabbie d'Asti I.s. e dal "Villafranchiano" p.p. auct.

Dal punto di vista geologico l'area d'intervento ricade interamente nell'ambito dei depositi alluvionali del bacino alessandrino ed in particolare nell'unità dei depositi alluvionali recenti (FL3). I depositi alluvionali recenti sono posizionati in aree prossime all'alveo del T. Scrivia e sono delimitati a est dallo stesso corso d'acqua e ad ovest dall'orlo di terrazzo di Novi Ligure - Formigaro ad orientazione nord ovest-sud est. Terrazzo alla cui base doveva posizionarsi un paleo-alveo dello Scrivia che dalla zona di Serravalle raggiungeva e attraversava l'attuale centro di Pozzolo e da qui proseguiva verso ovest secondo un tracciato corrispondente all'attuale Rio di Castel Gazzo. Lo spostamento successivo dell'alveo a est di Pozzolo e poi ancora verso est sino al raggiungimento della posizione attuale ha conformato questo tratto di pianura che viene attribuito al fluviale recente. Fluviale recente che si eleva, rispetto all'alveo attuale dello Scrivia, di 20 m nel tratto di monte (zona di Serravalle-Novì) e di 5 metri nel tratto di valle (tra Rivalta Scrivia e Tortona).

Il fluviale recente (FL3) comprende terreni a granulometria grossolana con ghiaie nettamente prevalenti (70-80%) sulle sabbie (10-20%) e sulle parti più fini (limo+argilla) 10-20%.

La litofacies è distribuita su gran parte dell'area di pianura interessata dal tracciato del III Valico. Nel tratto meridionale, a ridosso dell'imbocco nord della Galleria di Serravalle, si evidenziano modesti spessori (circa 4 m) di ghiaie sabbioso-limose che ricoprono la formazione delle Argille Azzurre. Verso nord, in corrispondenza della progressiva 37+500 ca., si osserva un rapido incremento dello spessore dei sedimenti, che passa da 3-4 m a oltre 30 m; tale spessore aumenta ulteriormente verso nord.

### 2.2. Contesto idrogeologico

Dal punto di vista idrogeologico, il settore in cui ricade la rampa del cavalcavia ferrovia (WBS IV14) è caratterizzato dalla presenza di un acquifero superficiale a falda libera costituito da depositi alluvionali di pianura. Il substrato impermeabile o poco permeabile è invece costituito dalle Argille di Lugagnano. I depositi sono di tipo fluviale recente (fl3) e sono costituiti da ghiaie sabbioso-limose con percentuali variabili di matrice fine. Al tetto dei depositi è presente un suolo agricolo dello spessore di ca. 1÷2 m che ha scarsa rilevanza ai fini idrogeologici.

La rampa sud del cavalcavia ferrovia si inserisce in un contesto generale in cui si è visto che la permeabilità dei terreni è sensibilmente variabile sia in senso orizzontale sia verticale. In particolare, i terreni ubicati nell'orizzonte superiore ed inferiore dei depositi alluvionali hanno permeabilità differenti, con il primo orizzonte che presenta valori generalmente superiori al secondo. Un'indicazione sui valori di permeabilità dell'orizzonte superiore dei depositi fl3 deriva

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RO-IR1K-0X-001-A01 Relazione geologico geotecnica	Foglio 8 di 25

dalle prove idrauliche eseguite per il Progetto Definitivo sui pozzi esplorativi eseguiti tra Pozzolo Formigaro e Tortona, Tali prove sono state effettuate in trincee scavate fino ad una profondità di 1.5 m da pc. Le prove realizzate indicano una permeabilità compresa tra  $2 \times 10^{-4}$  m/s e  $8 \times 10^{-4}$  m/s.

Per quanto riguarda il livello inferiore dei depositi fl3, le prove Lefranc eseguite nell'ambito del Progetto Definitivo definiscono un intervallo piuttosto ampio di valori, compresi tra  $1 \times 10^{-6}$  e  $1 \times 10^{-3}$  m/s. Ulteriori indicazioni sulle permeabilità di tali depositi derivano dai test di pompaggio a lunga durata eseguiti nell'ambito del Progetto Definitivo. Una prova su pozzo eseguita alla periferia Sud di Pozzolo Formigaro (ca. 100 m da tracciato ferroviario, in un settore compreso tra la ferrovia Novi Tortona e il Rio Gnavole) ha permesso di definire una permeabilità di  $5.0 \times 10^{-5}$  m/s ed un coefficiente di immagazzinamento di  $1.6 \times 10^{-3}$ . Un'altra prova effettuata nella cava dismessa di Cascina S. Maria ha restituito valori di permeabilità compresi tra  $2.0 \times 10^{-4}$  e  $3.0 \times 10^{-4}$  m/s. Un'altra prova eseguita simultaneamente su 4 pozzi a Pozzolo Formigaro ha restituito un valore di  $4.0 \times 10^{-6}$  m/s. Infine, un'ulteriore prova di pompaggio a lunga durata eseguita in periferia Sud di Pozzolo Formigaro (Loc. Cascina Valle) ha restituito valori di  $3.3 \times 10^{-6}$  m/s e  $1.1 \times 10^{-5}$  m/s in regime transitorio e di  $2.2 \times 10^{-6}$  m/s e  $9.5 \times 10^{-6}$  m/s in regime stazionario, con un coefficiente di immagazzinamento di  $S = 7.8 \times 10^{-4}$ . La prova di pompaggio eseguita per la campagna indagini del 2014 presso Cascina Capri ha visto l'esecuzione di prove di spurgo del pozzo le quali hanno restituito valori di permeabilità variabili tra  $8.47 \times 10^{-6}$  m/s e  $9.11 \times 10^{-6}$  m/s. Sono state poi realizzate, sempre in prossimità di Cascina Capri, prove di portata a gradini le quali hanno fornito valori di permeabilità di  $2.54 \times 10^{-4}$  m/s e  $6.38 \times 10^{-4}$  m/s.

Dal punto di vista della rappresentatività dei valori, si rimarca che i risultati ottenuti attraverso le prove di pompaggio sono maggiormente significativi di quelli ottenuti dai test in foro, in quanto le prime permettono di valutare la permeabilità in un intorno esteso attorno al pozzo, mentre le seconde indagano la permeabilità solamente in un intorno localizzato attorno al sondaggio. Pertanto, i test in foro risentono maggiormente di effetti locali (es. eterogeneità locali, disturbi del terreno indotti dalla perforazione).

Si sono poi riportati sul profilo geologico tutti i risultati delle prove di pompaggio e di permeabilità eseguite nelle varie campagne di indagine (Figura 1).



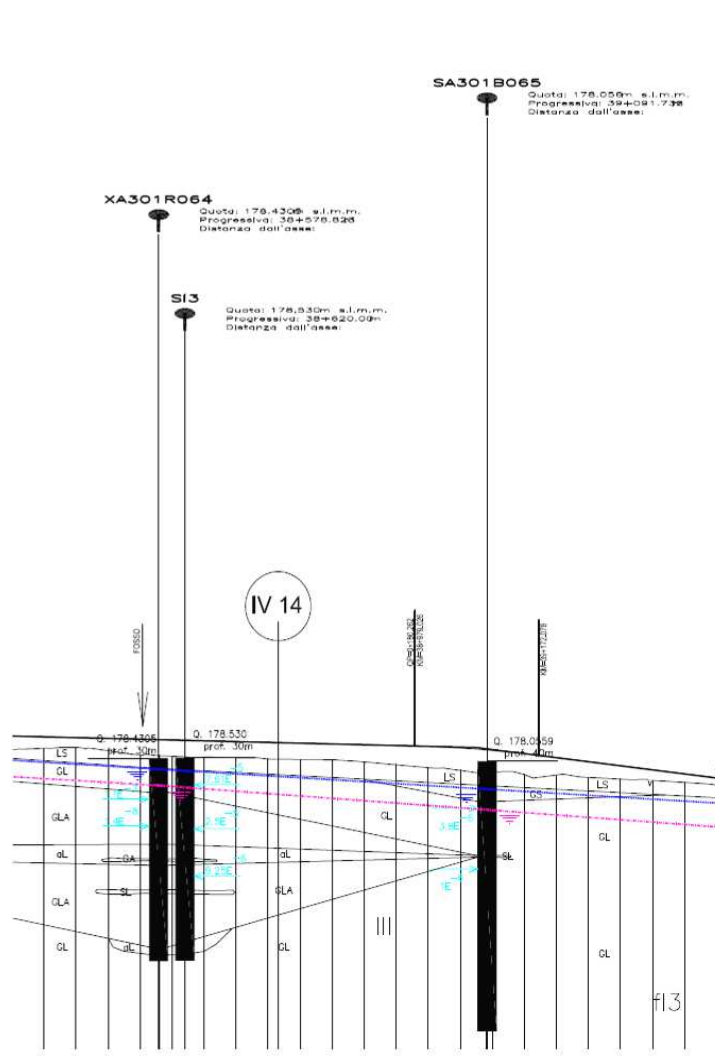


Figura 1 - Profilo geologico in prossimità della rampa nord del cavalcaferrovia (IV14) con indicazioni dei sondaggi ed indicazione dei valori di permeabilità (i valori di permeabilità sono espressi in m/s).

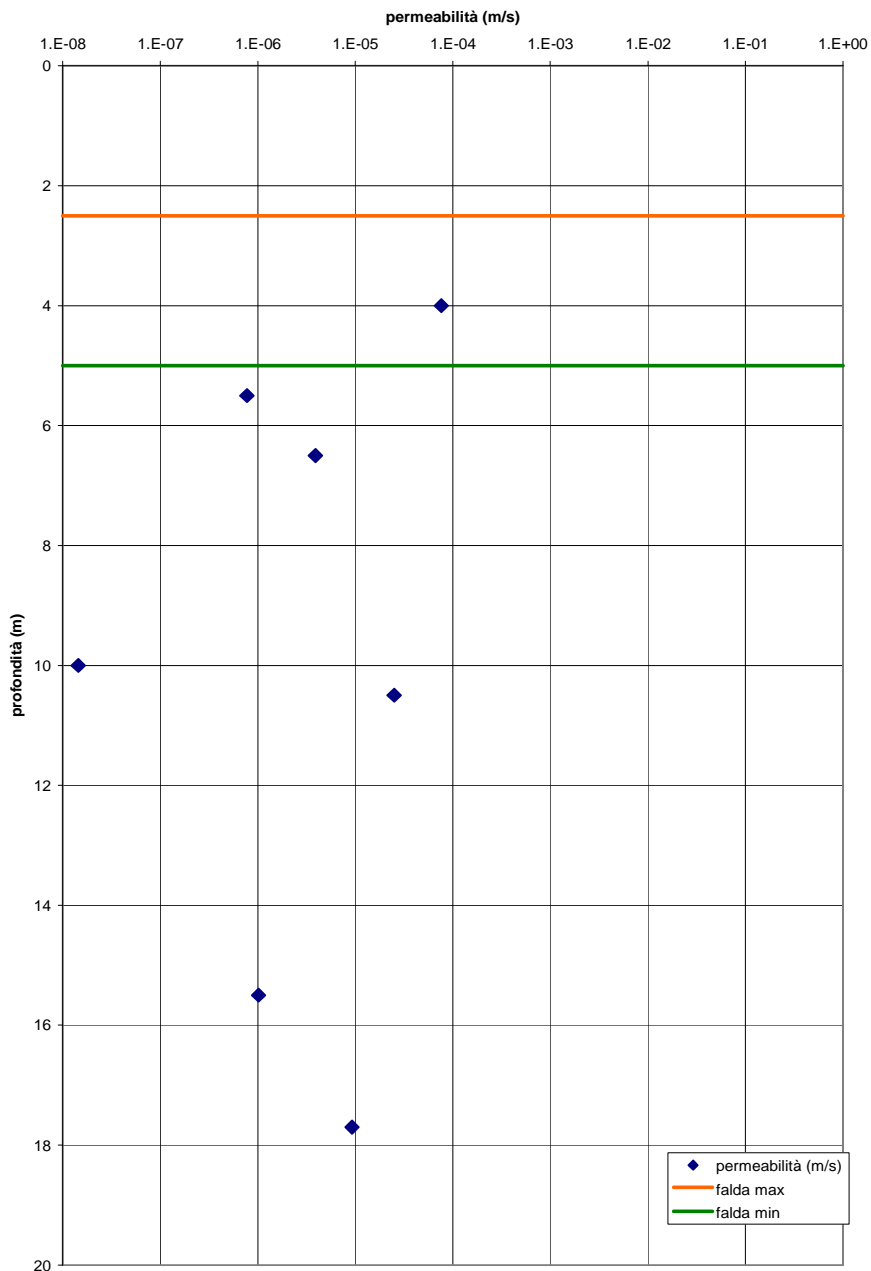


Figura 2 - Grafico dei risultati delle prove di permeabilità eseguite in prossimità dell'area di realizzazione della rampa nord del cavalcaferrovia IV14.

Sulla base dell'analisi dei risultati delle prove (Figura 2) e del profilo riportato in Figura 1 è possibile affermare che la permeabilità di riferimento è piuttosto bassa con valori medi compresi tra  $7.6 \times 10^{-5}$  m/s e  $1.4 \times 10^{-8}$  m/s.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IR1K-0X-001-A01 Relazione geologico geotecnica
	Foglio 11 di 25

### 2.3. Indagini in sito considerate

Nella zona della rampa in oggetto, sono stati eseguiti una serie di indagini geotecniche. La denominazione delle indagini di cui sopra, nonché le rispettive profondità raggiunte, sono riportate nella tabella seguente.

Sondaggi a carotaggio	
Denominazione	Lunghezza (m)
XA301B064	30
SA301B065	40
SI3	30

Tabella 1. Sondaggi nell'area di realizzazione della rampa.

Le campagne hanno visto la realizzazione di una serie di sondaggi geognostici, prove in sito in corrispondenza degli stessi (SPT e prove Lefranc, principalmente) ed il prelievo di campioni per prove di laboratorio.

### 2.4. Stratigrafia nella zona di realizzazione delle opere

Sulla base dei dati disponibili, la situazione stratigrafica del sito può essere così schematizzata:

A partire dal piano campagna locale si può incontrare uno strato superficiale di terreno di riporto/agricolo costituito da limo sabbioso marrone scuro di spessore pari a 1.00÷2.00 m circa, localmente inglobante elementi lapidei sparsi (Formazione LS).

Al di sotto della Formazione **LS/LA** e fino alle massime profondità indagate è presente un deposito di origine alluvionale postglaciale (Olocene) **FL3** costituito da ghiaia medio grossa in matrice limo-sabbiosa (Formazione FL3 - GL) localmente argillosa, in particolare alle profondità maggiori (Formazione FL3 – GLA). All'interno di tale deposito è presente, a partire da circa 13m rispetto il piano campagna un livello di argilla limosa molto consistente (Formazione FL3 – AL) di spessore pari a 2.5÷3.0 metri.

Le risultanze delle prove SPT mostrano i seguenti andamenti per le varie zone presenti nell'area.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IR1K-0X-001-A01 Relazione geologico geotecnica
	Foglio 12 di 25

SI3		XA301B064		SA301B065	
prof. [m]	N	prof. [m]	N	prof. [m]	N
3	18	3	rif.	3	45
6	16.	4.2	rif.	6	64
9	35	6	rif.	9	rif.
12	34	7.7	rif.	12	rif.
15	rif.	10.5	rif.	15	rif.
18	60	16.7	80	18	rif.
21	rif.	20.5	87	21	rif.
24	rif.	25.3	rif.	24	84
				27	rif.
				29	rif.
				33	rif.
				38	rif.

Tabella 2. Dettaglio risultanze delle prove SPT in foro nell'area della rampa.

Alla luce di quanto sopra la stratigrafia di progetto da utilizzarsi nelle verifiche geotecniche viene prevista come di seguito indicato.

Stratigrafia di calcolo	Da (m da p.c.)	A (m da p.c.)	Tipo di terreno
LS/LA	p.c.	- 2.00	Limo sabbioso
GL	- 2.00	-13.00	Ghiaia medio grossa in matrice limosa
AL	-13.00	-15.00	argilla limosa
GLA	-15.00	In poi	Ghiaia medio grossa in matrice argillosa limosa

Tabella 3. Stratigrafia di progetto per l'area in esame

## 2.5. Livello piezometrico

Il livello di falda rilevato dai piezometri installati nei sondaggi, varia in base al periodo dell'anno e mostra un livello di soggiacenza compreso tra - 2.5 m da p.c e - 4.00 m da p.c..

### 3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

Di seguito si forniscono i parametri di base per i materiali geotecnici nell'area in esame, coerentemente con quanto previsto in PD. Per la caratterizzazione geotecnica si è tenuto conto anche di altri sondaggi presenti nelle aree adiacenti che presentano caratteristiche dei materiali simili a quelli nell'area della rampa.

Parametri	Formazione LS/LA	Formazione GL	Formazione AL	Formazione GLA
Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18	19 ÷ 20 (1)	19 ÷ 20 (1)	19 ÷ 20 (1)
Densità relativa $D_r$ (%)	-	73 ÷ 95	-	-
Coesione drenata $c'$ (kPa)	5	-	25	-
Angolo di resistenza al taglio operativo $\phi'$ (°)	26	44-0.1·Z (2) (3)	28	40
Velocità delle onde di taglio $V_s$ (m/s)(4)	-	185 + 3.9·z (3)	-	160+4.5z(3)
Modulo di taglio a piccole deformazioni $G_0$ per materiali granulari (MPa)	-	75 + 3.85·z (3)	-	20+5z(3)
Modulo di Young a piccole deformazioni $E_0$ per materiali granulari (MPa)	-	190 + 10·z (3)	-	50+13z(3)
Modulo di Young drenato $E'$ per terreni coesivi (MPa) per il calcolo dei cedimenti	-	-	11	-
Modulo di Young drenato $E'$ per terreni coesivi (MPa) per il dimensionamento delle opere di sostegno	-	-	22.6	-

(1) Valori crescenti con la profondità.

(2) Valori decrescenti con la profondità.

(3) Z = Profondità da piano campagna in m.

(4) Valori delle velocità delle onde di taglio ricavate dai dati SPT secondo la correlazione di Ohta e Goto.

Tabella 4. Caratteristiche di base dei materiali geotecnici

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-IR1K-0X-001-A01 Relazione geologico geotecnica	Foglio 14 di 25

sondaggio	campione	z [m]	G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	wn	LL (%)	LP (%)	IP (%)	TD	
											c' [kPa]	$\phi'$ [°]
SI 3	R1	3.5	64.64	33.55	1.01	0.80	5.09%	-	-	-	-	-
	R2	12	70.34	13.87	10.63	5.15	10.03%	31	24	7	0.09	34.05
	R3	20	83.23	8.88	4.67	3.22	9.10%	38	26	12	3.90	33.73
	R4	28	75.12	14.26	6.05	4.57	7.94%	23	-	-	23.19	40.69

Tabella 5. Dettaglio risultanze delle prove di laboratorio nell'area della rampa.

Unit	BH	Depth	Water Depth	N <sub>SPT</sub>	D50	C <sub>ER</sub>	C <sub>B</sub>	C <sub>S</sub>	C <sub>R</sub>	N <sub>60</sub>	Sand Relative Density	GAMMA	SIGMA TOT	U	SIGMA EFF.	CN	(N1) <sub>60</sub>	Dr	Φ
		m	m		mm							kN/m <sup>3</sup>	kPa	kPa	kPa	Skempton (1986)		Skempton (1986)	Peck, Hanson, and Thornburn
																EPRI 2-14		EPRI 2-17	EPRI 4-14
s3	sand1	3	1.50	18	12.70	0.90	1.00	1.00	1.00	16.20	Medium (Dr=35÷65)	19	57	15	42	1.41	22.8	51	44
s3	sand1	6	1.50	16	12.70	0.90	1.00	1.00	1.00	14.40	Medium (Dr=35÷65)	19	114	45	69	1.12	16.1	43	40
s3	sand1	9	1.50	35	25.40	0.90	1.00	1.00	1.00	31.50	Dense (Dr=65÷85)	19	171	75	96	1.01	31.9	58	46
s3	sand1	12	1.50	34	25.40	0.90	1.00	1.00	1.00	30.60	Dense (Dr=65÷85)	19	228	105	123	0.93	28.4	55	44
s3	sand1	15	1.50	100	25.40	0.90	1.00	1.00	1.00	90.00	Very Dense (Dr=85÷100)	20	288	135	153	0.85	76.5	90	53
s3	sand1	18	1.50	60	38.10	0.90	1.00	1.00	1.00	54.00	Very Dense (Dr=85÷100)	20	348	165	183	0.78	42.3	65	47
s3	sand1	21	1.50	73	38.10	0.90	1.00	1.00	1.00	65.70	Very Dense (Dr=85÷100)	20	408	195	213	0.73	47.7	69	48
s3	sand1	24	1.50	100	25.40	0.90	1.00	1.00	1.00	90.00	Very Dense (Dr=85÷100)	18	462	225	237	0.59	53.4	75	50

Unit	BH	Depth	Water Depth	N <sub>SPT</sub>	D50	Vs	Vs	Shear Modulus (G <sub>max</sub> )	Shear Modulus (G <sub>max</sub> )	Vs	β <sub>0</sub>	β <sub>1</sub>	β <sub>02</sub>	Vs	Young Modulus (E)	Poisson Coefficient	Modulo di Taglio (G)
		m	m		mm	m/sec	m/sec	MPa	MPa	m/sec	-	-	-	(m/s)	MPa		MPa
						Imai e Tonouchi (1982)	Otha e Goto (1978)	Otha e Goto (1978)	Wroth et al. (1979) EPRI 5-20	Wroth et al. EPRI 5-20	Brandenberg et al. 2010 - PEER 2010/03	Brandenberg et al. 2010 - PEER 2010/03	Brandenberg et al. 2010 - PEER 2010/03	Brandenberg et al. 2010 - PEER 2010/03	D'Appolonia		
s3	sand1	3	1.50	18	12.70	259.0	115.67	25.91320728	111.1069114	239.512531	4.045	0.096	0.236	186.294765	38.61	0.20	16.09
s3	sand1	6	1.50	16	12.70	231.9	129.60	32.53320799	101.4737319	228.894058	4.045	0.096	0.236	202.506881	33.19	0.20	13.83
s3	sand1	9	1.50	35	25.40	287.8	160.10	49.6455649	185.4016693	309.395878	4.045	0.096	0.236	233.848528	45.92	0.20	19.13
s3	sand1	12	1.50	34	25.40	277.5	168.41	54.93213842	181.3092712	305.962154	4.045	0.096	0.236	245.181807	43.11	0.20	17.96
s3	sand1	15	1.50	100	25.40	378.6	211.21	90.95096968	416.0842205	451.762449	4.045	0.096	0.236	283.878765	81.66	0.20	34.03
s3	sand1	18	1.50	60	38.10	314.4	200.58	82.02433532	280.7745299	371.106328	4.045	0.096	0.236	279.760242	54.24	0.20	22.60
s3	sand1	21	1.50	73	38.10	326.5	213.64	93.05560305	326.5426015	400.211377	4.045	0.096	0.236	293.34418	58.59	0.20	24.41
s3	sand1	24	1.50	100	25.40	338.3	231.27	98.13866738	416.0842205	476.199433	3.996	0.23	0.164	332.85668	63.15	0.20	26.31

Tabella 6. Caratteristiche di progetto dei materiali geotecnici per la zona della rampa. Interpretazione SPT sondaggio SI3 presente nell'area.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IR1K-0X-001-A01 Relazione geologico geotecnica
	Foglio 16 di 25

Le indagini e le prove di laboratorio a disposizione hanno consentito una caratterizzazione del comportamento meccanico della formazione presente nell'area secondo una suddivisione in base all'approfondimento.

Conservativamente, le caratteristiche geotecniche per l'area dello scavo sono di seguito definite tenendo in maggior conto le risultanze delle analisi di laboratorio.

Nel calcolo delle opere di sostegno si adotteranno valori del modulo di deformabilità pari a circa 1/3÷1/5 di quelli iniziali a piccole deformazioni. Nel calcolo dei cedimenti si adotteranno valori del modulo di deformabilità pari a circa 1/10 di quelli iniziali a piccole deformazioni.

Sulla base dei valori delle velocità delle onde di taglio ricavate dai dati SPT (considerando anche gli altri sondaggi presenti nelle aree adiacenti che presentano caratteristiche dei materiali simili a quelli nell'area della rampa) secondo la correlazione di Ohta e Goto, per i dati della campagna 2000-2002, si sono stabilite velocità sismiche per profondità rappresentative, da cui sono stati ricavati i parametri di deformabilità di riferimento.

prof.	$v_s$	relazione: $v_s = 185 + 3.9 \cdot z$			
		$G_0$	$E_0$	E/5	E/10
[m]	[m/s <sup>2</sup> ]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
2	192.8	72.0	201.6	40	20
5	204.5	81.0	226.8	45	23
9	220.1	98.8	276.5	55	28
12	231.8	109.5	306.7	61	31
15	243.5	126.9	355.4	71	36
20	263	148.1	414.6	83	41

Sulla base delle altre correlazioni riportate in precedenza si ottiene:

z	$E_0 = 190 + 10 \cdot z$			$G_0 = 75 + 3.85 \cdot z$				
	$E_0$	E/5	E/10	$G_0$	$v$	$E_0$	E/5	E/10
[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
2	210	42	21	83	0.35	223	45	22
5	240	48	24	94	0.35	254	51	25
9	280	56	28	110	0.35	296	59	30
12	310	62	31	121	0.35	327	65	33
15	340	68	34	133	0.35	358	72	36
20	390	78	39	152	0.35	410	82	41

I seguenti parametri si giudicano ragionevoli e rappresentativi del comportamento del terreno.



Parametri	Formazione LS/LA	Formazione GL	Formazione AL	Formazione GLA
Profondità da p.c.	0-2m	2-13	13-15	>15
Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18	19	20	20
Angolo di resistenza al taglio operativo $\phi'$ (°)	28	40	28	38
Modulo di deformabilità operativo E per materiali granulari (MPa), calcolati con riferimento al valore medio di Eo ed un fattore di riduzione pari a 5	20	51	70	82
Modulo di deformabilità operativo E per materiali granulari (MPa), calcolati con riferimento al valore medio di Eo ed un fattore di riduzione pari a 10	10	25	35	41

Tabella 7. Caratteristiche di progetto dei materiali geotecnici per la zona della rampa nord.

Per le zone a matrice limoso/argillosa è possibile tenere in conto che la componente coesiva possa fornire un valore di coesione stimabile in 5 kPa, ottenuti dalle indicazioni ricavate da prove di laboratorio eseguite su questo tipo di materiale.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IR1K-0X-001-A01 Relazione geologico geotecnica
	Foglio 18 di 25

#### 4. CALCOLO DEI CEDIMENTI

La valutazione dei cedimenti della rampa è stata effettuata con il metodo del semispazio elastico.

Per valutare l'incremento di tensione con la profondità si è considerata la soluzione elastica-lineare relativa ad una striscia di carico trapezia simmetrica (Poulos H.G. [1974]).

Data la natura prevalentemente granulare del terreno di sito, non si prevedono cedimenti differiti nel tempo.

Per la rampa oggetto della relazione sono state analizzate alcune sezioni significative, i cui dati geometrici vengono riportati nella seguente tabella (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Si è assunto un  $\gamma$  per il terreno del rilevato pari a  $20 \text{ kN/m}^3$ .

RAMPA IR1K			
Sezione n.	pk (km)	hmax rilevato (m)	cedimento (cm)
1	523.48	13.62	31.2
2	550	12.42	27.3
3	600	10.13	21.2
4	650	7.01	12.6
5	675	5.44	8.5
6	725	2.3	2.7
7	750	0.88	0.7

Tabella 8. Caratteristiche geometriche delle sezioni analizzate.

I risultati delle analisi sono sintetizzati anche nel grafico di Figura 3 dove, in funzione della progressiva della rampa, vengono plottati i cedimenti dell'opera. L'entità dei cedimenti, soprattutto dove il rilevato è più alto, non è trascurabile. Di questo aspetto se ne deve tener conto durante le fasi di realizzazione dell'opera, durante le quali probabilmente dovrà essere alzato il rilevato per raggiungere la quota di progetto.

## cedimenti sotto la rampa IR1K

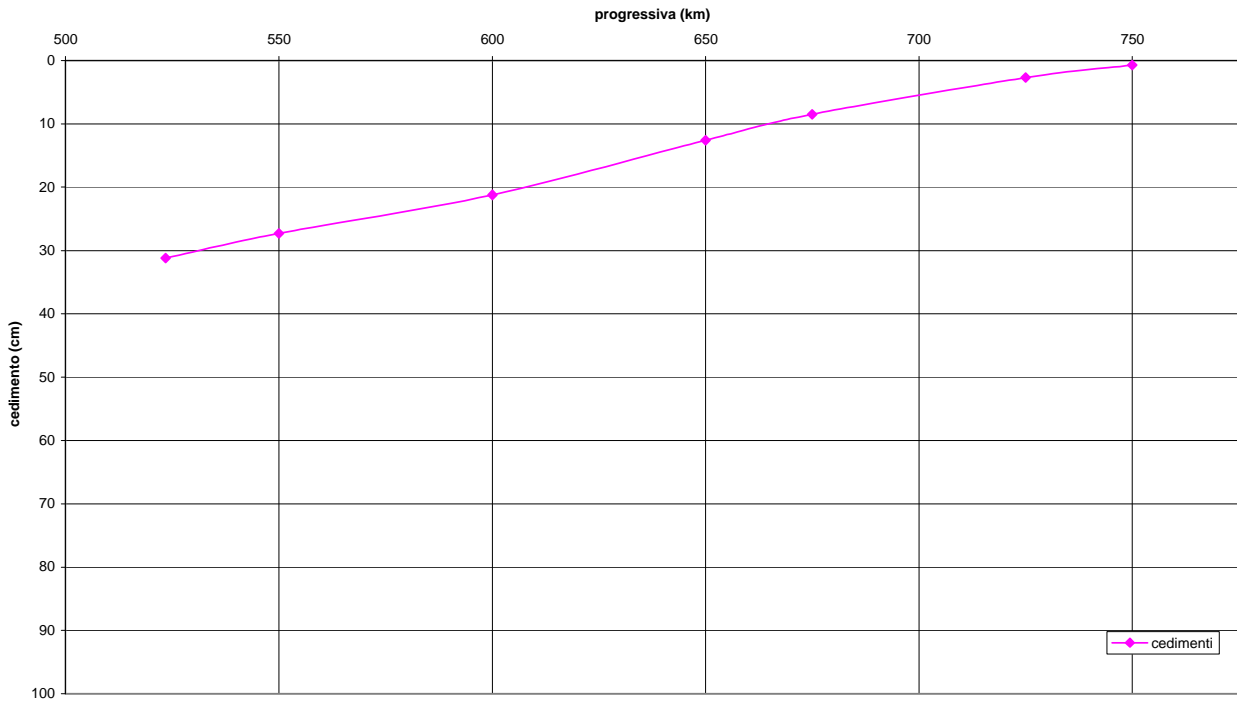


Figura 3 – Grafico dei cedimenti in funzione della progressiva della rampa.

## 5. VALUTAZIONE DELLA STABILITA' DEI PENDII

Lo sviluppo della resistenza al taglio per materiali sabbiosi è caratterizzato dai seguenti elementi:

- L'involuppo di rottura risulta curvilineo;
- Lo sviluppo della resistenza dipende principalmente dalla densità relativa ( $D_R$ ) e della tensione efficace agente ( $\sigma'$ );
- La storia dello stato tensionale non influenza il valore dell'angolo d'attrito ( $\phi'$ );
- il valore dell'angolo d'attrito ( $\phi'$ ) non è influenzato dal percorso di sollecitazione;
- il valore dell'angolo d'attrito ( $\phi'$ ) è indipendente dal grado di saturazione.

Risultano numerosi gli studi relativi alla dipendenza dell'angolo di resistenza a taglio dalla tensione agente sul piano di rottura (Bellotti et Al, 1985; Bolton, 1986).

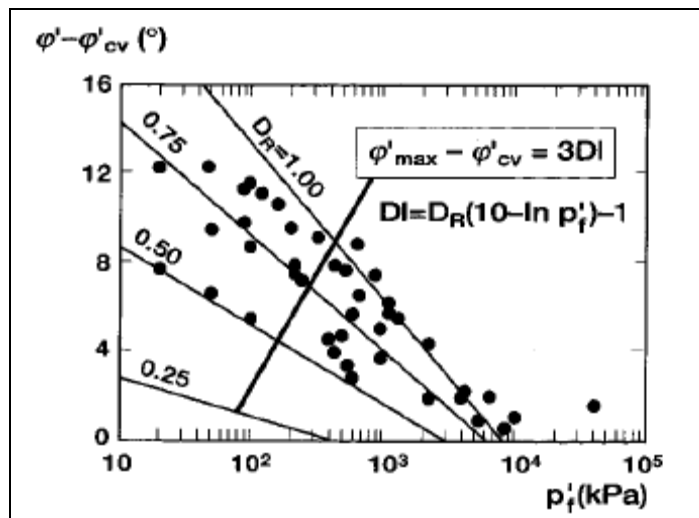


Figura 4 – Dipendenza dell'angolo di resistenza al taglio dalla tensione agente sul piano di rottura (Bolton, 1986)

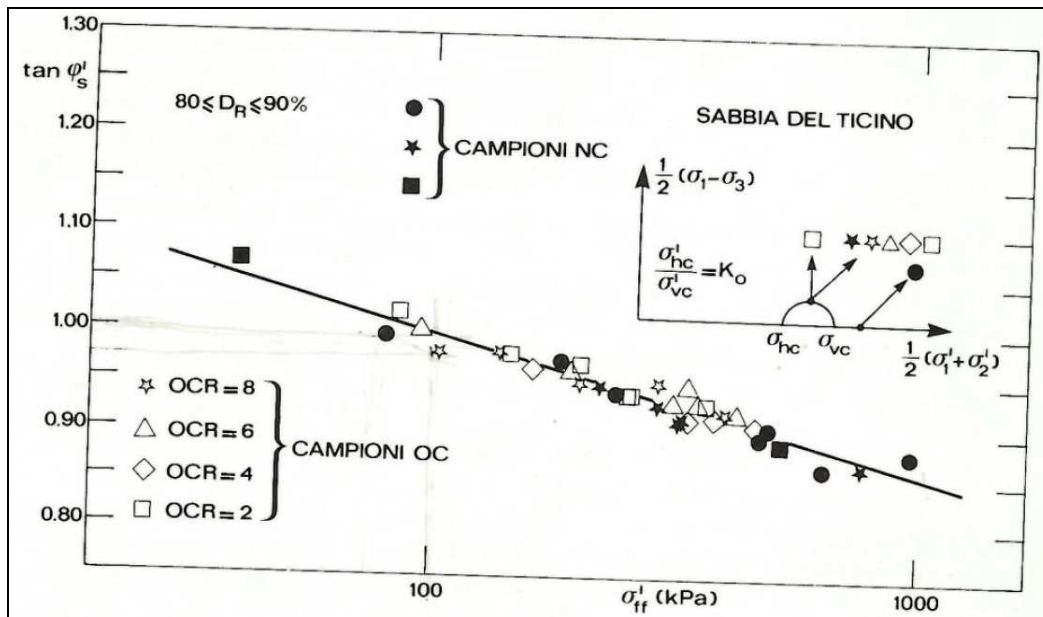


Figura 5 Dipendenza dell'angolo di resistenza al taglio dalla tensione agente sul piano di rottura  
(Bellotti et Al., 1985)

La valutazione della non linearità dell'involuppo di rottura può essere definita in maniera discreta attraverso la definizione delle caratteristiche attritive in funzione della profondità attraverso la formulazione di Bolton che ha definito una relazione che lega la tensione efficace all'effetto di dilatanza:

$$\phi'_p - \phi'_{cv} = m DI$$

dove:

- $m$  = 5 in condizioni di deformazione piane;
- $DI = Dr[10 - \ln(p'_f)] - 1$  dove  $p'_f$  è la tensione media efficace a rottura.
- $Dr$  = densità relativa
- $\phi'_p$  = angolo d'attrito di picco
- $\phi'_{cv}$  = angolo d'attrito a volume costante

E' dunque possibile definire i valori delle resistenze attritive al variare della tensione agente. Nel seguito sono riportati i valori dell'angolo d'attrito del materiale costituente la rampa calcolati attraverso la formulazione di Bolton considerando un angolo di attrito di  $35^\circ$  e una densità relativa pari a 0.6.

$\phi'_{cv}$	profondità	tensione efficace media a rottura				DI	m	$\phi'_p - \phi'_{cv}$	$\phi'_p$	$\phi'_p$
		p'f	ln(p'f)	10-ln(p'f)	DR					
[°]	[m]	[kPa]				[-]	[°]	[°]	M2	
35	0.5	10	2.302585	7.697414907	0.6	3.618	5	18.09	53.09	46.81
35	1	20	2.995732	7.004267726	0.6	3.203	5	16.01	51.01	44.66
35	1.5	30	3.401197	6.598802618	0.6	2.959	5	14.80	49.80	43.43
35	2	40	3.688879	6.311120546	0.6	2.787	5	13.93	48.93	42.56
35	2.5	50	3.912023	6.087976995	0.6	2.653	5	13.26	48.26	41.88
35	3	60	4.094345	5.905655438	0.6	2.543	5	12.72	47.72	41.34
35	3.5	70	4.248495	5.751504758	0.6	2.451	5	12.25	47.25	40.88
35	4	80	4.382027	5.617973365	0.6	2.371	5	11.85	46.85	40.48
35	4.5	90	4.49981	5.50019033	0.6	2.300	5	11.50	46.50	40.13
35	5	100	4.60517	5.394829814	0.6	2.237	5	11.18	46.18	39.82
35	5.5	110	4.70048	5.299519634	0.6	2.180	5	10.90	45.90	39.54
35	6	120	4.787492	5.212508257	0.6	2.128	5	10.64	45.64	39.28

Tabella -9. Valori dell'angolo d'attrito di picco in funzione della densità relativa e della tensione efficace agente

Sulla base di tali indicazioni, sono state condotte le valutazioni di stabilità per le condizioni di progetto.

Attraverso l'utilizzo dei valori afferenti alla prima teoria, il calcolo ha fornito i fattori di sicurezza (metodo di Bishop semplificato) sulla base delle seguenti caratteristiche di resistenza:

- Peso unità di volume 20kN/m<sup>3</sup>;
- angolo d'attrito da 0.00m di profondità a 1.00m: 51.0°;
- angolo d'attrito da 2.00m di profondità a 3.00m: 48.9°;
- angolo d'attrito da 3.00m di profondità a 4.00m: 47.7°;
- angolo d'attrito da 3.00m di profondità a 4.00m: 46.8°;
- angolo attrito pari a 35° per la zona a profondità oltre i 4.00m.

La realizzazione della rampa presenta le seguenti caratteristiche:

- scarificazione del terreno superficiale (circa 2m, in questo modo si va oltre lo strato di terreno LS) e sistemazione con pendio inclinato 2/3 intervallato da una eventuale berma di 2m.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IR1K-0X-001-A01 Relazione geologico geotecnica
	Foglio 23 di 25

La verifica viene effettuata applicando in sommità un sovraccarico pari a 20kPa in condizioni statiche e 10kPa per le verifiche in condizioni sismiche.

Per la rampa oggetto della relazione si sono analizzate due sezioni, sez.23 alla progressiva pk 550 e la sez.28 alla pk. 675. Inoltre per le sezioni di rampa in cui è presente il muro di sostegno si rimanda alle verifiche di stabilità globale riportate nell'elaborato (IG51-03-E-CV-CL-IV14-0X-001-A00 "Relazione di calcolo delle strutture – impalcato, spalle, muri" ).

I risultati sono di seguito riportati.

Come visibile, i fattori di sicurezza risultano superiori a 1.3 e le verifiche risultano quindi soddisfatte.

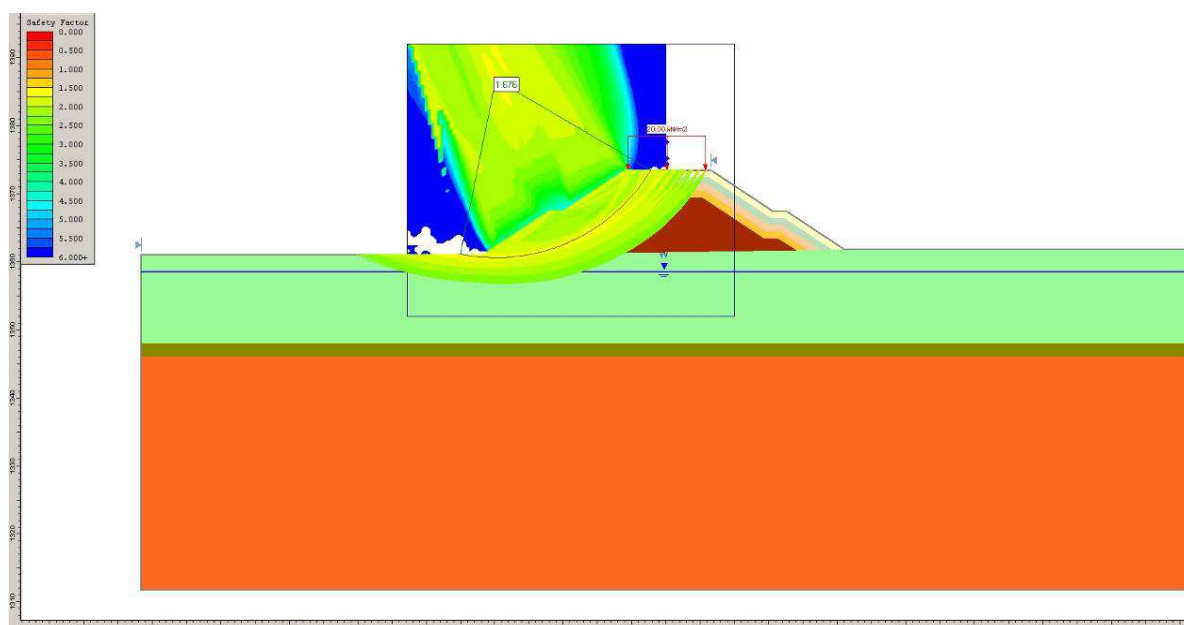


Figura 6. Sez.23 pk550. Analisi di stabilità in condizioni statiche, metodo di Bishop. Mezzo attritivo. Fattori di sicurezza e superficie di scivolamento analizzate.

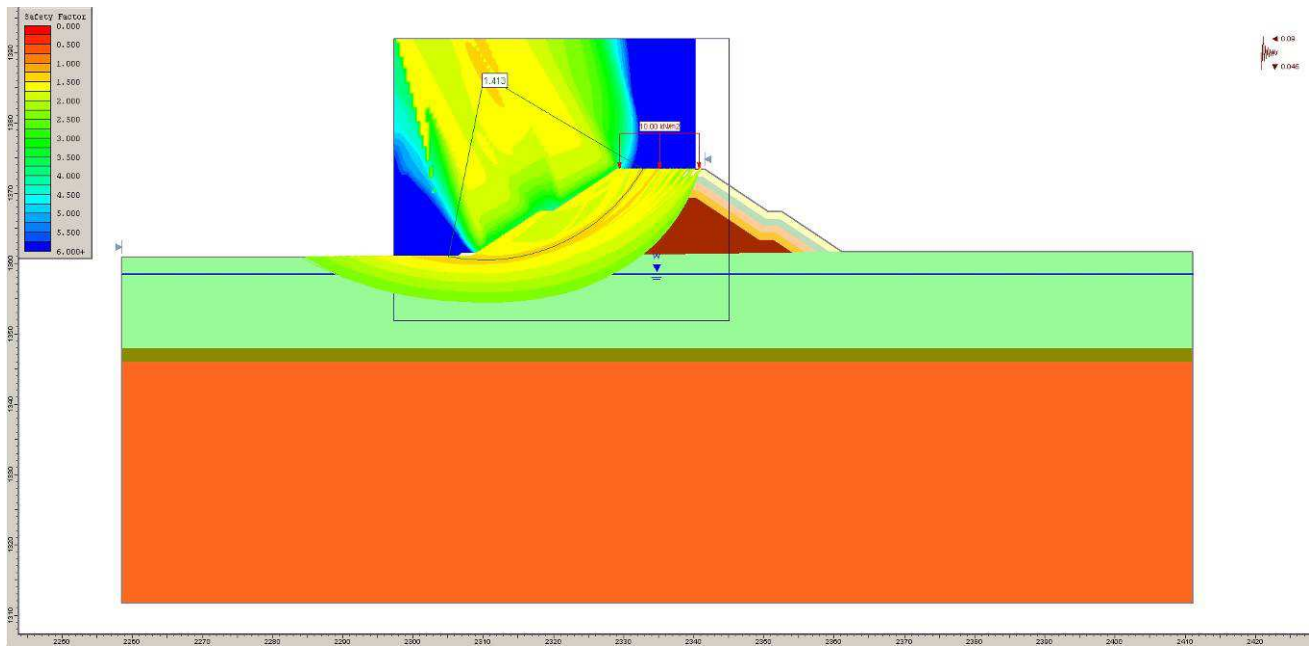


Figura 7. Sez.23 pk550. Analisi di stabilità in condizioni sismiche, metodo di Bishop. Mezzo attritivo. Fattori di sicurezza e superficie di scivolamento analizzate.

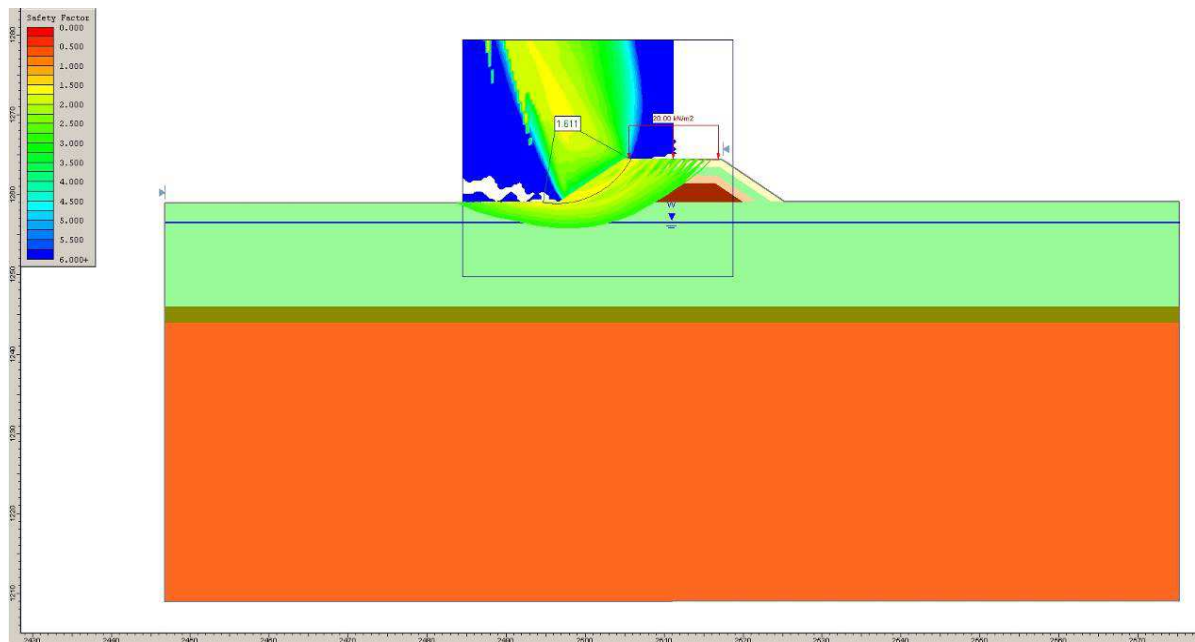


Figura 8. Sez.28 pk675. Analisi di stabilità in condizioni statiche, metodo di Bishop. Mezzo attritivo. Fattori di sicurezza e superficie di scivolamento analizzate.



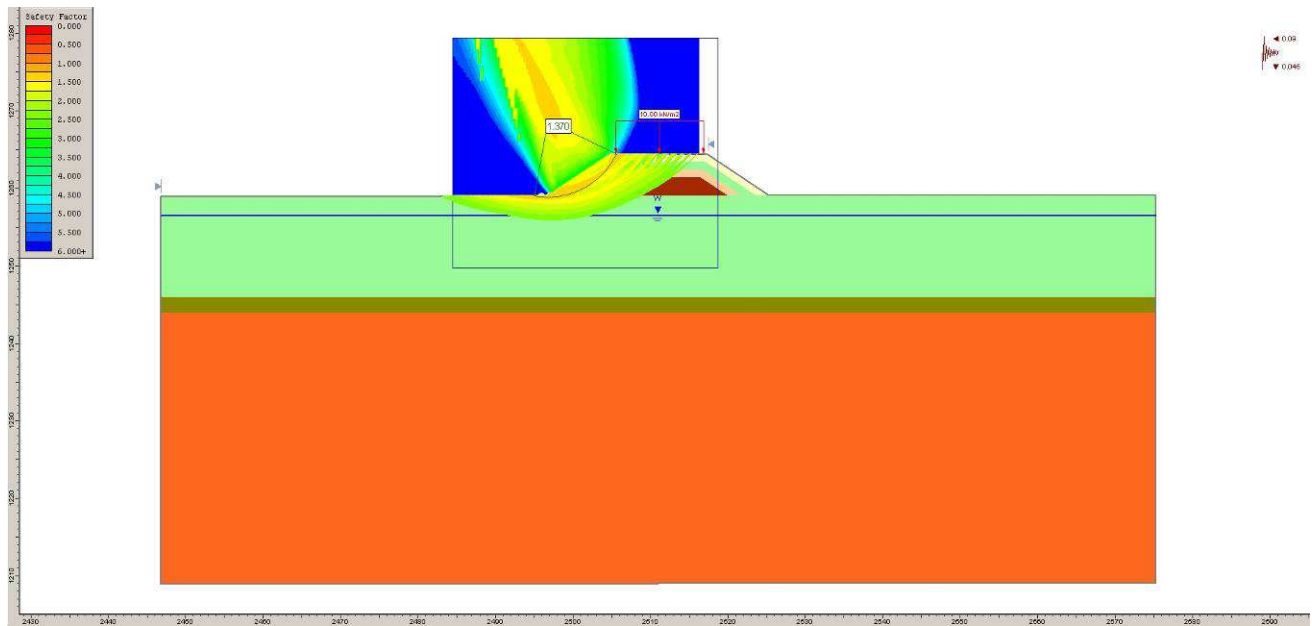


Figura 9. Sez.28 pk675. Analisi di stabilità in condizioni sismiche, metodo di Bishop. Mezzo attritivo.  
Fattori di sicurezza e superficie di scivolamento analizzate.