

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

**Riqualificazione Ambientale Val Lemme**

**Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. F. Poma	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 1	X	C V	C L	D P 0 4 0 0	0 0 5	A

Progettazione:

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Avanzamento novembre 2021	A&T	23/12/2021	COCIV	23/12/2021	P. Costa Medich 	23/12/2021	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Paolo Costa Medich Ordine Ingegneri Prov. TO n. 10306 X

n. Elab.:

File: IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX

CUP: F81H92000000008



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
3	SISMICITA' .....	7
3.1	Sismicità secondo il D.M. 16/01/1996 .....	7
3.2	Sismicità secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 .....	7
3.2.1	<b>Stati limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno</b> .....	9
3.2.2	<b>Definizione della pericolosità sismica di base</b> .....	10
3.2.3	<b>Pericolosità sismica di sito</b> .....	14
3.2.4	<b>Pericolosità sismica di base</b> .....	16
3.2.5	<b>Pericolosità sismica di sito</b> .....	17
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	21
4.1	Parametri geotecnici fase di progetto .....	21
4.2	Parametri geotecnici materiale abbancato .....	21
4.2.1	<b>Analisi granulometriche per vagliatura</b> .....	21
4.2.2	<b>Prove di costipamento Proctor</b> .....	22
4.2.3	<b>Prove di taglio diretto</b> .....	22
4.2.4	<b>Parametri geotecnici dei materiali abbancati</b> .....	23
5	VERIFICA DI STABILITA' .....	23
5.1	Descrizione dell'algoritmo .....	24
5.2	Ricerca delle superfici di scorrimento .....	27
5.3	Sezioni di verifica-Gennaio 2019 .....	27
5.4	Sezioni di verifica-Settembre 2019 .....	29
5.5	Sezioni di verifica-Dicembre 2020 .....	30
6	RISULTATI.....	31
6.1	Risultati analisi Sezione 24 – Gennaio 2019 .....	31
6.1.1	<b>Analisi secondo D.M. 16/01/1996</b> .....	31
6.1.2	<b>Analisi secondo NTC 2018</b> .....	33
6.2	Risultati analisi Sezione 36 – Gennaio 2019 .....	36
6.2.1	<b>Analisi secondo D.M. 16/01/1996</b> .....	36
6.2.2	<b>Analisi secondo NTC 2018</b> .....	38
6.3	Risultati analisi Sezione 24 – Settembre 2019 .....	41
6.3.1	<b>Analisi secondo D.M. 16/01/1996</b> .....	41
6.3.2	<b>Analisi secondo NTC 2018</b> .....	43
6.4	Risultati analisi Sezione 36 – Settembre 2019 .....	46
6.4.1	<b>Analisi secondo D.M. 16/01/1996</b> .....	46

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021
	Foglio 4 di 70

<b>6.4.2</b>	<b>Analisi secondo NTC 2018</b> .....	48
6.5	Risultati analisi Sezione 24 – Dicembre 2020 .....	51
<b>6.5.1</b>	<b>Analisi secondo D.M. 16/01/1996</b> .....	51
<b>6.5.2</b>	<b>Analisi secondo NTC 2018</b> .....	54
6.6	Risultati analisi Sezione 36 – Dicembre 2020 .....	56
<b>6.6.1</b>	<b>Analisi secondo D.M. 16/01/1996</b> .....	56
<b>6.6.2</b>	<b>Analisi secondo NTC 2018</b> .....	59
6.7	Risultati analisi Sezione 24 – Novembre 2021 .....	62
<b>6.7.1</b>	<b>Analisi secondo D.M. 16/01/1996</b> .....	62
<b>6.7.2</b>	<b>Analisi secondo NTC 2018</b> .....	64
6.8	Risultati analisi Sezione 36 – Novembre 2021 .....	66
<b>6.8.1</b>	<b>Analisi secondo D.M. 16/01/1996</b> .....	66
<b>6.8.2</b>	<b>Analisi secondo NTC 2018</b> .....	68
7	CONCLUSIONI .....	70

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021	Foglio 5 di 70

## 1 PREMESSA

Nell'ambito dei lavori di progettazione della tratta A.V./A.C. Milano-Genova "Terzo valico dei Giovi" è prevista la riqualificazione ambientale della cava ex-Cementir, ubicata in sinistra orografica al T. Lemme in comune di Voltaggio. La cava è posta nei pressi della finestra "Val Lemme" ed è localizzata in sponda destra del torrente.

La presente relazione è stata redatta in adempimento a quanto previsto dalla DGR 1-5386/2017 del Piano Cave la quale prevede: *"In relazione all'incremento delle cubature per ulteriori 300.000 m<sup>3</sup> presso il sito DP04, approvato da RFI con nota prot. RFI-DIN-DIPAV\A0011\P\2016\0000688 del 21/09/2016, si prescrive di prevedere la redazione di rapporti geotecnici a cadenza semestrale, da realizzarsi nel rispetto del D.M. 14/01/2008 sulla base degli effettivi stati di avanzamento, da trasmettere alla Regione Piemonte ed a tutti gli EELL e Statali interessati e competenti in materia. Ogni eventuale valore dei fattori di sicurezza che risulti inferiore a quanto previsto dalla norma vigente, dovrà comportare l'immediato fermo del cantiere e la revisione in corso d'opera delle modalità e delle geometrie di abbancamento."*

Il documento fornisce l'evidenza delle verifiche di stabilità del deposito, con specifico riferimento agli interventi realizzati con terre rinforzate. L'obiettivo è quindi quello di verificare con l'avanzamento delle attività di abbancamento, anche attraverso prove di laboratorio, se i parametri geotecnici assunti in fase di progetto siano conformi a quelli riscontrati durante la fase di costruzione. A tale scopo sono stati prelevati campioni sui quali si sono eseguite prove di taglio diretto per la definizione dell'angolo di attrito e della coesione che sono poi stati utilizzati per le verifiche di stabilità.

Sono state verificate la sezione 24 e la sezione 36 con la conformazione topografica rilevata alla data dell'emissione del presente documento.

Poiché è andato in vigore l'uso delle nuove NTC2018, le nuove verifiche di stabilità sono state condotte sia nel rispetto del DM 96 (contrattuale) che delle nuove NTC2018.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021

Foglio  
6 di 70

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella stesura della relazione si è fatto riferimento a quanto elencato di seguito:

- **Norme Tecniche per le Costruzioni 2018** (D.M. 17 Gennaio 2018);
- **L.R. 23/16 del 17 Novembre 2016**- "Disciplina delle attività estrattive: disposizioni in materia di cave";
- **D.M. 11/03/1988**: Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione (pubblicato sulla G.U. n° 127 del 01/06/1988);
- **Cir. Dir. Cen. Tecn. n° 97/81** - Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- **D.M. 16/01/1996**: Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche (pubblicato sulla G.U. n° 29 del 05/02/1996);
- **Circolare 4 Luglio 1996 n. 156 AA.GG./STC.**: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi " di cui al D.M. 16.01.1996;
- **O.P.C.M. n°3274 e relativi allegati del 20/03/2003**: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (pubblicato sul supplemento alla G.U. n° 105 del 08/05/2003);
- **O.P.C.M. n° 3316**. "Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.03";
- **Federal Highway Administration (U.S.A.)**: Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes – Design & Construction Guidelines;
- **UNI EN ISO 10319**: Geotextiles - Wide-width tensile test;
- **GRI (Geosynthetic Research Institute) GG4**: Methods of Determination of the Long-Term Design Strength of Geogrids;
- **EN 10320**: Geotextiles and geotextile-related products – Identification on site.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021

Foglio  
7 di 70

### 3 SISMICITA'

Dato il lungo periodo di monitoraggio e considerate le varie fasi progettuali che si sono susseguite nel tempo, per l'opera in oggetto, le verifiche di stabilità della presente relazione sono state eseguite considerando entrambe le normative riportate, quindi sia secondo il D.M. 16/01/1996, che in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018).

#### 3.1 Sismicità secondo il D.M. 16/01/1996

In analogia ai criteri assunti in fase di progettazione definitiva, il sisma viene definito secondo la normativa:

- D.M. 16/01/96 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"
- Circolare 10/04/97 n°65/AA.GG. – Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui ad D.M. 16.01.1996

Per quanto concerne la classificazione sismica dell'area oggetto di intervento si è fatto riferimento all'O.P.C.M. n°3274 e relativi allegati del 20/03/2003. In particolare, nell'allegato 1 dell'O.P.C.M. n°3274 (*Criteri per l'individuazione delle zone sismiche individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone*), il comune di Voltaggio ricade in zona 3 e risulta quindi caratterizzato da un grado di sismicità S pari a 6.

Per cui si ottiene:

<b>CLASSIFICAZIONE DELL'OPERA</b>	<b>CLASSE TEMPORALE</b>	Opera Permanente
	<b>DURATA DI SERVIZIO</b>	100 anni
	<b>AMBIENTE DI ESERCIZIO</b>	Asciutto

<b>SISMICITA'</b>	Zona sismica 3; S=6 (O.P.C.M. n°3274) $k_h=0,040$ $k_v=0.020$
-------------------	---

#### 3.2 Sismicità secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018

Nella tabella seguente, che illustra le zone sismiche in cui è stato diviso il territorio nazionale secondo l'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, è riportata una descrizione più dettagliata della zona sismica 3, in cui è stata classificata l'area d'interesse.

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ag]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	ag > 0,25 g	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	0,15 < ag ≤ 0,25 g	0,25 g	2.230
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	0,05 < ag ≤ 0,15 g	0,15 g	2.815
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	ag ≤ 0,05 g	0,05 g	2.235

**Tabella 1: zone sismiche in cui è stato diviso il territorio nazionale secondo l'Ordinanza del PCM n. 3519/2006**

Sulla base delle evidenze geologiche e geomorfologiche la categoria di sottosuolo risulta essere la "A" definito come "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m".

In riferimento alle categorie topografiche riportate nella tabella 3.2.II del D.M. (tabella sottostante), il sito può essere classificato nella categoria "T2".

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

**Tabella 2: tabella 3.2 II "Categorie Topografiche- D.M. 17.01.18**

Il periodo di riferimento è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove:

**VR** = periodo di riferimento



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021
	Foglio 9 di 70

**VN** = vita nominale  
**CU** = coefficiente d'uso

I valori minimi di VN da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella tabella seguente. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

**Tabella 3: Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni**

Nel caso specifico  $V_N = 50$  anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso.

Nel caso in esame viene presa in considerazione la classe d'uso II a cui è associato il coefficiente d'uso  $CU = 1$ .

Ricavati i valori di  $V_N$  e  $CU$ , è possibile calcolare il periodo di riferimento  $V_R$ , che qui vale:

$$V_R = 50 * 1 = 50 \text{ anni.}$$

### **3.2.1 Stati limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno**

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili stati limite (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono stati limite di esercizio (SLE) e due sono stati limite ultimi (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento  $P_{VR}$  (Tabella seguente), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento  $V_R$ , si verifichi almeno un evento sismico ( $n \geq 1$ ) di ag prefissata (ag = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza  $\lambda = 1/TR$  ( $TR$  = periodo di ritorno).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021	

Foglio  
10 di 70

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	<b>P<sub>VR</sub> = 81%</b>
Stato limite di esercizio: danno	SLD	<b>P<sub>VR</sub> = 63%</b>
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	<b>P<sub>VR</sub> = 10%</b>
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	<b>P<sub>VR</sub> = 5%</b>

**Tabella 4: Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR**

Fissati VR e PVR associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Tale relazione tra PVR (probabilità) e TR (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è **VR = 50 anni**, il tempo di ritorno TR sarà:

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	<b>T<sub>R</sub> = 30</b>
Stato limite di esercizio: danno	SLD	<b>T<sub>R</sub> = 50</b>
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	<b>T<sub>R</sub> = 475</b>
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	<b>T<sub>R</sub> = 975</b>

**Tabella 5: Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VR**

### 3.2.2 Definizione della pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (ag) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A alle NTC18:

**ag** = accelerazione orizzontale massima;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021		Foglio 11 di 70

**F<sub>0</sub>** = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

**TC\*** = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

**ag**, il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

**F<sub>0</sub>** e **TC\*** i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC18 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti nella tabella seguente, contenuta nell'Allegato B delle NTC18, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

ID	LON	LAT	T <sub>R</sub> = 30			T <sub>R</sub> = 50			T <sub>R</sub> = 72			T <sub>R</sub> = 101		
			a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>c</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>c</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>c</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>c</sub> *
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

**Tabella 6: Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC18, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche**

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno TR corrispondente alla VR e PVR fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Figura seguente), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC18:

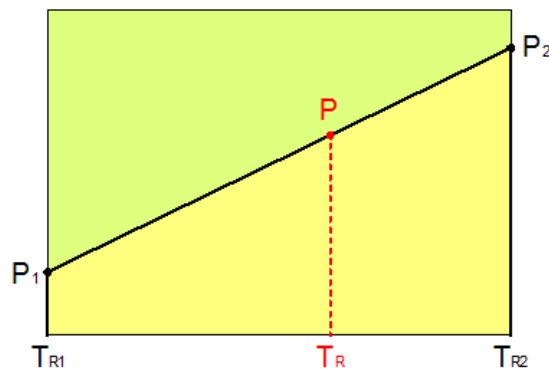
$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $ag$ ,  $Fo$ ,  $TC^*$ ) corrispondente al periodo di ritorno  $TR$  desiderato, mentre  $p_1, 2$  è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno  $TR_1, 2$ .

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p$  possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC18:

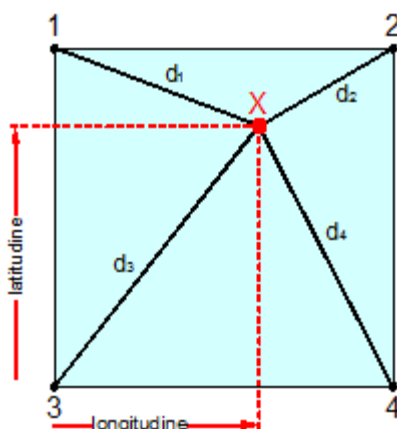
$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 p_i}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $ag$ ,  $Fo$ ,  $TC^*$ ) corrispondente al punto considerato,  $p_i$  è il valore di tale parametro nell' $i$ -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e  $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo vertice della suddetta maglia.



**Figura 1: Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC18**

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Figura seguente.



**Figura 2: Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC18**

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC18, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza  $d$  tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

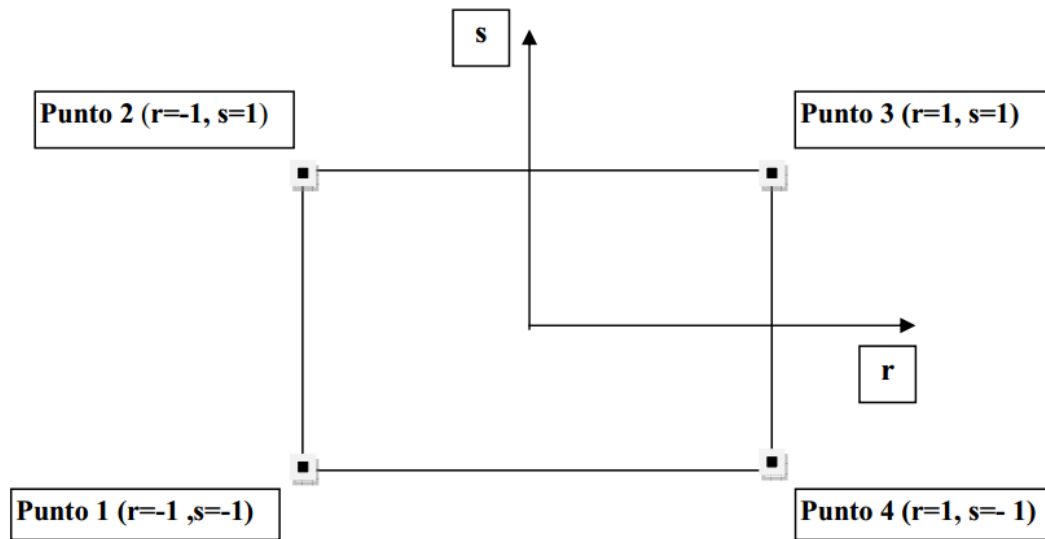
$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)]$$

dove

$R = 6371$  è il raggio medio terrestre in km, mentre  $\text{lat}\alpha$ ,  $\text{lon}\alpha$ ,  $\text{lat}\beta$  e  $\text{lon}\beta$  sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di  $\pm 0,01g$  ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.



**Figura 3: Applicazione dell'interpolazione bilineare**

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r) \cdot (1-s)/4$$

$$h_2 = (1-r) \cdot (1+s)/4$$

$$h_3 = (1+r) \cdot (1+s)/4$$

$$h_4 = (1+r) \cdot (1-s)/4$$

Tra le coordinate  $x, y$  di un punto generico e le coordinate  $r, s$  dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot x_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot x_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot x_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot x_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot x_4]$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot y_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot y_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot y_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot y_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot y_4]$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di  $r$  ed  $s$ , si determinano i parametri  $ag, F0, Tc^*$  dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot p_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot p_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot p_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot p_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot p_4]$$

Dove  $p$  rappresenta il parametro cercato.

### 3.2.3 Pericolosità sismica di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021

Foglio  
15 di 70

proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

### Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno ( $T_R$ ) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e  $P_{VR}$  probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC).

### Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$  sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Con

**$\beta_s$**  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

**$a_{\max}$**  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

**$g$**  accelerazione di gravità.

I valori di  $\beta_s$  sono riportati nella tabella seguente.

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

**Tabella 7: Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito**

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021	
Foglio 16 di 70	

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

**SS** (effetto di amplificazione stratigrafica) ( $0.90 \leq S_s \leq 1.80$ ) è funzione di F0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto  $a_g/g$ . **ST** (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

$$\mathbf{T1: S_T = 1.0; T2: S_T = 1.20; T3: S_T = 1.20; T4: S_T = 1.40.}$$

### 3.2.4 Pericolosità sismica di base

Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (Cu): 1

Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

#### Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,023	2,535	0,181
SLD	50	0,030	2,501	0,207
	72	0,035	2,523	0,222
	101	0,040	2,536	0,244
	140	0,047	2,464	0,262
	201	0,055	2,494	0,264
SLV	475	0,080	2,476	0,276
SLC	975	0,108	2,447	0,282
	2475	0,152	2,464	0,285

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,024	2,513	0,181
SLD	50	0,032	2,502	0,210
	72	0,037	2,527	0,222
	101	0,043	2,493	0,245
	140	0,050	2,475	0,258
	201	0,059	2,493	0,266



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021		Foglio 17 di 70

SLV	475	0,086	2,451	0,276
SLC	975	0,115	2,448	0,281
	2475	0,161	2,459	0,285

### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,024	2,507	0,182
SLD	50	0,032	2,495	0,211
	72	0,038	2,521	0,222
	101	0,044	2,473	0,244
	140	0,052	2,463	0,256
	201	0,061	2,475	0,266
SLV	475	0,090	2,430	0,273
SLC	975	0,120	2,445	0,278
	2475	0,167	2,453	0,283

### Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,023	2,527	0,181
SLD	50	0,030	2,493	0,208
	72	0,036	2,518	0,222
	101	0,041	2,506	0,245
	140	0,049	2,459	0,259
	201	0,058	2,478	0,264
SLV	475	0,085	2,438	0,274
SLC	975	0,115	2,440	0,278
	2475	0,161	2,454	0,282

### Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,024	2,518	0,181
SLD	50	0,031	2,499	0,209
SLV	475	0,085	2,450	0,275
SLC	975	0,114	2,446	0,280

### 3.2.5 Pericolosità sismica di sito

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000

- Categoria sottosuolo:

A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superfi cie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

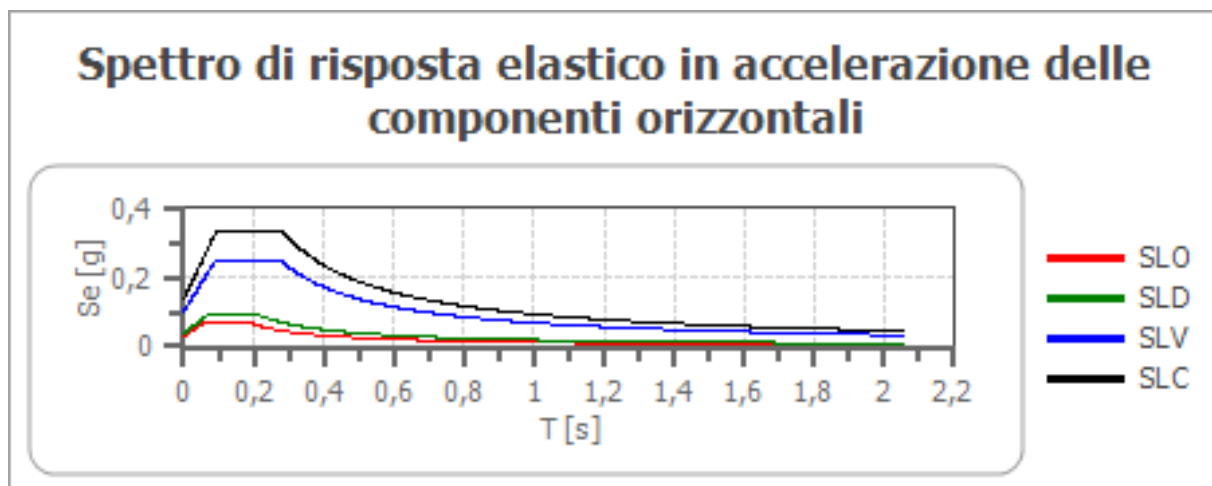
- Categoria topografica:

T2: Pendii con inclinazione media maggiore di 15°.

### Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,006	0,007	0,020	0,037
kv	0,003	0,004	0,010	0,019
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,278	0,368	1,004	1,347
Beta	0,200	0,200	0,200	0,270

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



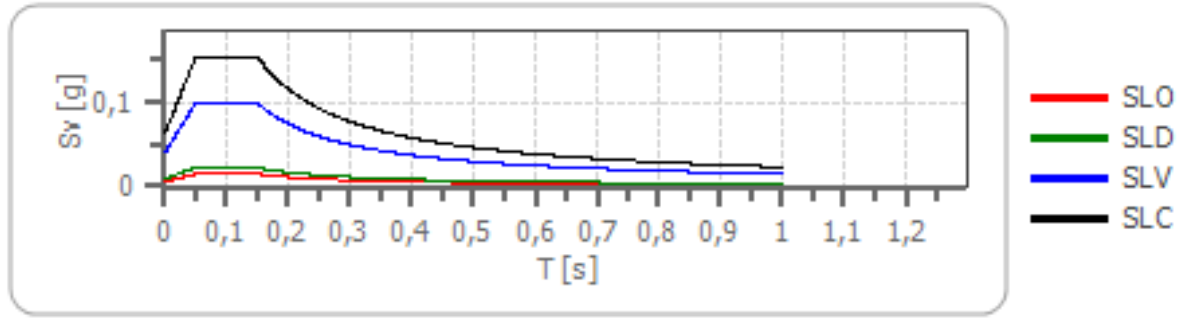
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,024	2,518	0,181	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,060	0,181	1,695	0,028	0,071
SLD	1,0	0,031	2,499	0,209	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,070	0,209	1,725	0,037	0,094
SLV	1,0	0,085	2,450	0,275	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,092	0,275	1,941	0,102	0,251
SLC	1,0	0,114	2,446	0,280	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,093	0,280	2,058	0,137	0,336

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{1/2}$ : 1,000

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,024	2,518	0,181	1	1,000	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,006	0,015
SLD	1,0	0,031	2,499	0,209	1	1,000	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,009	0,022
SLV	1,0	0,085	2,450	0,275	1	1,000	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,040	0,099
SLC	1,0	0,114	2,446	0,280	1	1,000	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,063	0,154

### Spettro di progetto

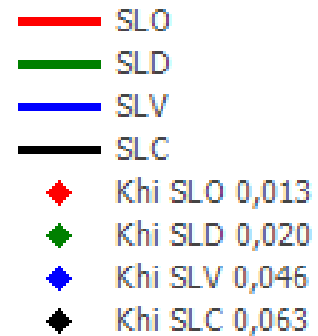
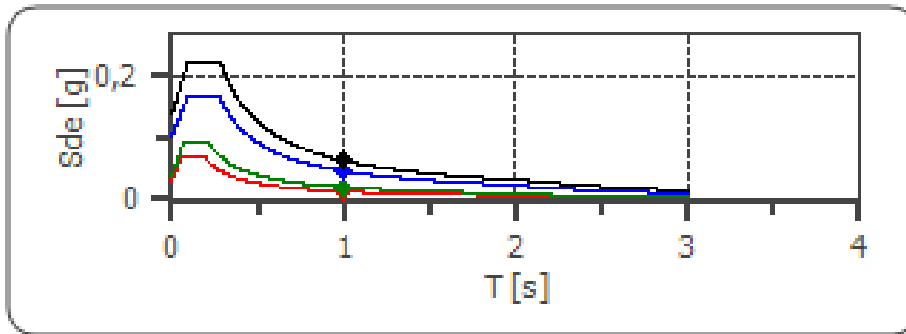
Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50

Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50

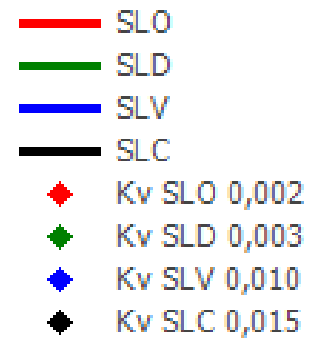
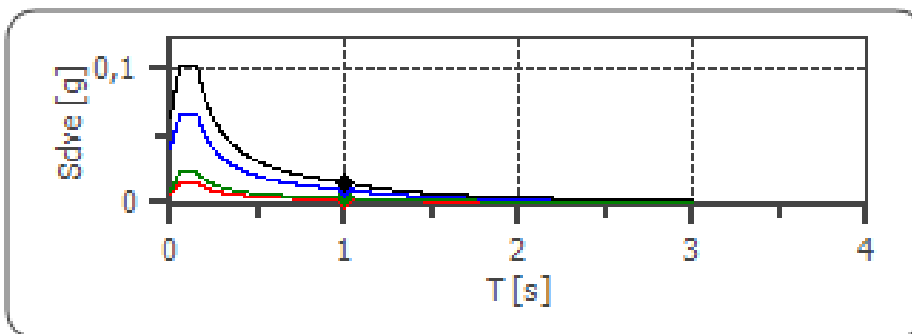
Periodo fondamentale T: 1,00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
k <sub>hi</sub> = S <sub>de</sub> (T) Orizzontale [g]	0,013	0,020	0,046	0,063
k <sub>v</sub> = S <sub>dve</sub> (T) Verticale [g]	0,002	0,003	0,010	0,015

## Spettro di progetto delle componenti orizzontali



## Spettro di progetto delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1,0	0,024	2,518	0,181	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,060	0,181	1,695	0,028	0,071
SLO verticale	1,0	0,024	2,518	0,181	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,006	0,015
SLD orizzontale	1,0	0,031	2,499	0,209	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,070	0,209	1,725	0,037	0,094
SLD verticale	1,0	0,031	2,499	0,209	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,009	0,022
SLV orizzontale	1,0	0,085	2,450	0,275	1,000	1,000	1,200	1,200	1,500	0,092	0,275	1,941	0,102	0,167
SLV verticale	1,0	0,085	2,450	0,275	1,000	1,000	1,200	1,200	1,500	0,050	0,150	1,000	0,040	0,066
SLC orizzontale	1,0	0,114	2,446	0,280	1,000	1,000	1,200	1,200	1,500	0,093	0,280	2,058	0,137	0,224
SLC verticale	1,0	0,114	2,446	0,280	1,000	1,000	1,200	1,200	1,500	0,050	0,150	1,000	0,063	0,102

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021

Foglio  
21 di 70

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 Parametri geotecnici fase di progetto

La caratterizzazione geotecnica di progetto del sito è stata effettuata sulla base dei risultati delle indagini geotecniche e geofisiche eseguite nell'ambito della progettazione definitiva (indagini 2004 e 2005) ed esecutiva (indagini 2012 e 2013) dell'intervento di cui in oggetto.

Nel modello geotecnico di progetto sono stati considerati i seguenti parametri:

DESCRIZIONE	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	$c'$ (kPa)
Terreno di riempimento	20.83	30	0
Riempimento terre armate	21.98	33	0
Copertura del bedrock (riporti e argilliti fratturate)	22	33	42
Bedrock (alternanze di argilliti e calcari)	23	20	150

Tabella 8: Parametri geotecnici, fase di progetto

### 4.2 Parametri geotecnici materiale abbancato

Al fine di valutare le caratteristiche del materiale abbancato, alcuni campioni sono stati sottoposti a prove di laboratorio, eseguite nel maggio del 2018:

- N.3 analisi granulometriche per vagliatura;
- N.3 prove di costipamento proctor;
- N.6 prove di taglio diretto.

#### 4.2.1 Analisi granulometriche per vagliatura

Di seguito si riassumono in tabella i risultati delle prove granulometriche, eseguite sui campioni di materiale di scavo, durante la fase di abbancamento i cui certificati sono riportati in allegato:

Campione	Contrassegno/cod. prova	Terreno in prova	Ghiaia [%]	Sabbia[%]	Limo+ Argilla[%]
C.1	PR1-18.05.18-DP04	Smarino da scavi galleria	76.9	15.7	7.4
C.2	PR2-18.05.18-DP04	Smarino da scavi galleria	79.6	14.3	6.1
C.3	PR3.-18.05.18-DP04	Smarino da scavi galleria	74.6	16.8	8.6

Tabella 9: Risultati di laboratorio, analisi granulometrica per vagliatura

#### 4.2.2 Prove di costipamento Proctor

I campioni di smarino prelevati in prossimità della Finestra Voltaggio, sono stati sottoposti anche a test di costipamento, prova Proctor, di cui si riportano di seguito i risultati i cui certificati sono riportati in allegato.

Campione	Contrassegno/cod. prova	Terreno in prova	Massa secca max. dell'unità di volume corretta $\rho_{d'}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Contenuto d'acqua ottimo corretto $w'$ [%]
C.1	PR1-18.05.18-DP04	Smarino da scavi galleria	2.27	5.0
C.2	PR2-18.05.18-DP04	Smarino da scavi galleria	2.28	4.9
C.3	PR3.-18.05.18-DP04	Smarino da scavi galleria	2.26	5.2

Tabella 10: Risultati di laboratorio, prove Proctor

#### 4.2.3 Prove di taglio diretto

Di seguito si riportano in tabella i risultati delle prove di taglio diretto, eseguite sui campioni di materiale di scavo, durante la fase di abbancamento i cui certificati sono riportati in allegato:

Campione	Contrassegno/cod. prova	Terreno in prova	c [kPa]	$\phi'$ [°]
C.1	PR1-18.05.18-DP04	Corpo del deposito Smarino	26	34
			22	34
C.2	PR2-18.05.18-DP04	Zona Terre rinforzate	28	35
			23	36
C.3	PR3.-18.05.18-DP04	Corpo del deposito smarino	24	33
			23	36

Tabella 11: Risultati di laboratorio, prove di taglio diretto

#### 4.2.4 Parametri geotecnici dei materiali abbancati

In seguito alle prove di laboratorio eseguite nel Maggio del 2018 sui campioni prelevati in sito, i materiali utilizzati per l'abbancamento hanno i seguenti parametri che nella presente relazione sono stati utilizzati per le verifiche di stabilità:

MATERIALE	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]
Terreno di riempimento	21	33	22
Riempimento terre armate	21	33	22
Copertura del bedrock (riporti e argilliti fratturate)	22	33	42

Tabella 12: Parametri geotecnici, fase attuale

Dove:

$\gamma$  = peso di volume;

$c'$  = coesione;

$\phi'$  = angolo di attrito;

Per la realizzazione dell'opera di sostegno in terra rinforzata è stato previsto l'impiego dei seguenti materiali:

- Pannelli in rete metallica elettrosaldata per paramento rinverdibile (compresi i ganci);

Tipo B450C       $f_{tk} > 540$  N/mm<sup>2</sup>       $f_{yk} > 450$  N/mm<sup>2</sup>

- Materiali polimerici di rinforzo del terreno: armature in fibre di poliestere rivestite in polietilene a bassa densità. Resistenza iniziale a rottura: 37,5 - 50,0 - 65,0 kN.

Allungamento a rottura: 12%.

## 5 VERIFICA DI STABILITA'

L'analisi di stabilità è stata eseguita utilizzando il programma PC STABL7 "Computer Analysis for General Slope Stability Problems", sviluppato nella Università di Purdue (Indiana) nel 1975 da Ronald A. Siegel (Graduate Instructor), nell'ambito del progetto di ricerca Joint Highway Research Project della Engineering Experiment Station in cooperazione con la Indiana State Highway Commission.

Esso è stato successivamente aggiornato con una serie di opzioni che riguardano sia la modellazione del pendio sia l'algoritmo di calcolo nell'ambito degli studi inerenti la stabilità dei pendii.

Il programma è in grado di fornire una soluzione generale ai problemi bidimensionali di stabilità dei pendii, analizzando superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

L'approccio utilizzato è del tipo all'equilibrio limite e rappresenta una variante del metodo Bishop. Il calcolo del fattore di sicurezza relativo alla stabilità del versante viene condotto ripartendo in conci verticali il corpo di scorrimento potenziale ed assumendo orizzontali le forze di interfaccia tra i conci verticali.

PCSTABL7 è programmato per tener conto dei terreni variamente stratificati, dell'eventuale falda idrica, della presenza di pressioni neutre diverse dalle idrostatiche e di sollecitazioni sismiche con il metodo pseudostatico.

Quest'ultimo rappresenta gli effetti del sisma con una forza di inerzia orizzontale pari al prodotto del peso del terreno individuato dalla superficie di scorrimento considerata per il coefficiente di intensità sismica.

## 5.1 Descrizione dell'algoritmo

Le forze agenti sul generico concio sono rappresentate nella figura seguente. La geometria di ciascun concio è descritta dalla sua altezza  $h$  misurata lungo la verticale baricentrica, dalla sua larghezza  $x$ , e dall'inclinazione del segmento di base e di quello di sommità, rispettivamente  $\alpha$  e  $\beta$ .

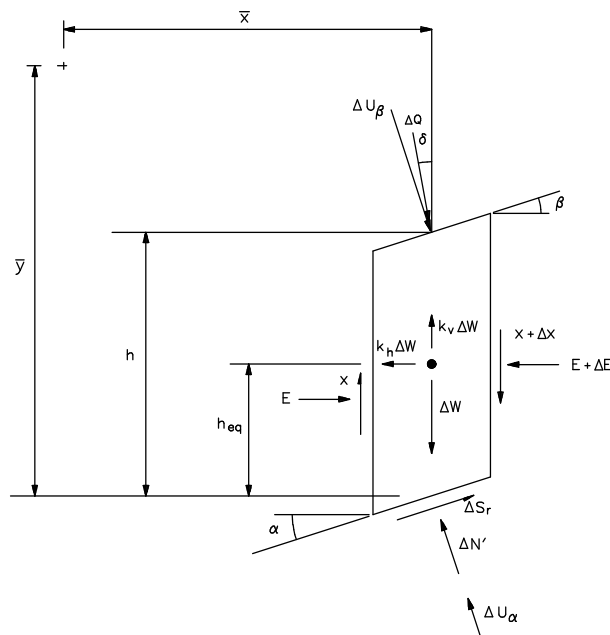


Figura 4: Forze considerate nel modello di calcolo

L'equilibrio di tutte le forze attorno ad un arbitrario punto 0 viene espresso dalla seguente equazione:



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021
	Foglio 25 di 70

$$\sum_1^n I (\Delta N' + \Delta U_\alpha) (\bar{y} \sin \alpha - \bar{x} \cos \alpha) + \Delta U_\beta (\bar{x} \cos \beta - a \sin \beta) + \Delta Q (\bar{x} \cos \delta - \bar{a} \sin \delta) + \Delta W (1 - k_v) \bar{x} + k_h \Delta W (\bar{y} - h_{eq}) - \Delta Sr (\bar{x} \sin \alpha + \bar{y} \cos \alpha) = 0$$

dove:

$\Delta U_\alpha$ e $\Delta U_\beta$	sono le spinte idrostatiche alla base ed alla sommità di ciascun concio;
$\Delta Q$	è la risultante di un sovraccarico uniformemente distribuito sulla superficie del pendio;
$\delta$	ne misura l'angolo di incidenza;
$k_v$ e $k_h$	sono i coefficienti sismici verticali ed orizzontali relativi al peso del concio;
$h_{eq}$	è la distanza tra la base di ciascun concio e la componente orizzontale dell'azione sismica;
$\bar{a}$	$\bar{y} - h$

L'equilibrio delle forze verticali applicate al concio è espresso da:

$$(\Delta N' + \Delta U_\alpha) \bar{x} \cos \alpha + \Delta Sr \sin \alpha + \Delta X - \Delta W (1 - k_v) - \Delta U_\beta \cos \beta - \Delta Q \cos \delta = 0$$

Si sostituisce nelle due precedenti formulazioni:

$$\Delta Sr = \frac{\Delta C' \alpha + \Delta N' \tan \phi'_\alpha}{F}$$

dove:

$\Delta N'$	sono le spinte idrostatiche alla base ed alla sommità di ciascun concio;
$\Delta C'_\alpha$ e $\phi'_\alpha$	sono rispettivamente la coesione e l'angolo di attrito caratteristici del materiale, disponibili alla base del concio.

Risolvendo la seconda equazione rispetto a  $\Delta N'$  e sostituendo l'espressione risultante nella prima, si ottiene, dopo alcuni passaggi, la seguente equazione contenente n+1 incognite, F ed i valori  $\Delta X$

dove:

$$\sum_l^n y \frac{A1 - F A2}{F + A3} = \sum_l^n y \Delta X \left( \frac{\tan \alpha - \tan \frac{\phi'_a}{F} - \frac{\bar{x}}{y}}{1 + \tan \alpha \tan \frac{\phi'_a}{F}} \right)$$

dove:

$$A1 = \frac{\Delta C'_\alpha}{\cos \alpha} + \tan \phi'_a \left[ \Delta W \left( 1 - k_v - k_h \left( 1 - \frac{h_e}{y} \right) \tan \alpha \right) - \frac{\Delta U_\alpha}{\cos \alpha} + \Delta U_\beta \left( \cos \beta + \frac{\bar{a}}{y} \tan \alpha \sin \beta \right) + \Delta Q \left( \cos \delta + \frac{\bar{a}}{y} \tan \alpha \sin \beta \right) + \Delta Q \left( \cos \delta + \frac{\bar{a}}{y} \tan \alpha \sin \delta \right) \right]$$

$$A2 = \Delta W \left[ \left( 1 - k_v \right) \tan \alpha + k_h \left( 1 - \frac{h_e}{y} \right) \right] + \Delta U_\beta \left( \tan \alpha \cos \beta - \frac{\bar{a}}{y} \sin \beta \right) + \Delta Q \left( \tan \alpha \cos \delta - \frac{\bar{a}}{y} \sin \delta \right)$$

$$A3 = \tan \alpha \tan \phi'_a$$

Facendo uso dell'ipotesi semplificativa di Bishop:

$$\Delta X = 0$$

l'espressione diventa:

$$\sum_l^n y \frac{A1 - F A2}{F + A3} = 0$$

Allorché la coordinata  $\bar{y}$  del polo rispetto al quale si opera l'equilibrio alla rotazione tende all'infinito, la differenza tra i singoli valori di ogni concio diviene trascurabile e  $\bar{y}$  può essere considerato uguale per tutti i conci e quindi l'ultima equazione diventa:

$$\sum_l^n y \frac{A1 - F A2}{F + A3} = 0$$

dove l'espressione dei coefficienti A1 e A2 è semplificata.

L'equazione soprastante costituisce l'algoritmo del programma di calcolo STABL, nella versione sviluppata nel 1975 da R.Siegel, che si può definire come metodo di Janbu semplificato.

Essa viene utilizzata nei casi in cui si esaminino superfici di scorrimento di forma irregolare o a cuneo.

Se, per una superficie di forma circolare, consideriamo il momento attorno al centro del cerchio,  $\bar{y} = r \cos \alpha$ , l'equazione diventa

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021 <span style="float: right;">Foglio 27 di 70</span>

$$\sum r \cos \alpha \frac{A1 - F A2}{F + A3} = 0$$

oppure, poiché  $r = \text{costante}$

$$\sum \cos \alpha \frac{A1 - F A2}{F + A3} = 0$$

L'equazione sopra citata è l'algoritmo di calcolo del coefficiente di sicurezza secondo il metodo di Bishop semplificato.

Esso viene adottato per le superfici di scorrimento di forma circolare.

## 5.2 Ricerca delle superfici di scorrimento

Il programma esamina superfici di scorrimento di forma qualsiasi, con numerose opzioni per l'individuazione di quella critica.

Invero un algoritmo di generazione può ricercare in modo automatico un numero richiesto di superfici con caratteristiche predeterminate o, in alternativa, consente l'esame di una prefissata superficie singola.

Nel caso attuale lo studio è stato svolto utilizzando superfici circolari.

Il programma prevede che si assegnino gli intervalli di inizio e di termine dei cerchi ed esplora la fascia da essi individuata, generando un numero prefissato di superfici di tentativo.

In questo studio ogni condizione è stata esaminata mediante cento superfici, rappresentando graficamente le dieci più critiche.

## 5.3 Sezioni di verifica-Gennaio 2019

Al fine di indagare la stabilità del fronte di cava sono state verificate le due sezioni maggiormente gravose, indicate come Sezione 24 e Sezione 36.

Le analisi sono state eseguite in accordo ad entrambe le normative, D.M. 16/01/1996 e Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018), a causa del prolungato monitoraggio e l'avanzamento delle diverse fasi progettuali.

Di seguito vengono riportate le sezioni considerate nell'analisi:



## 5.4 Sezioni di verifica-Settembre 2019

Al fine di indagare la stabilità del fronte di cava sono state verificate le due sezioni maggiormente gravose, indicate come Sezione 24 e Sezione 36.

Le analisi sono state eseguite in accordo ad entrambe le normative, D.M. 16/01/1996 e Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018), a causa del prolungato monitoraggio e l'avanzamento delle diverse fasi progettuali.

Di seguito vengono riportate le sezioni considerate nell'analisi:

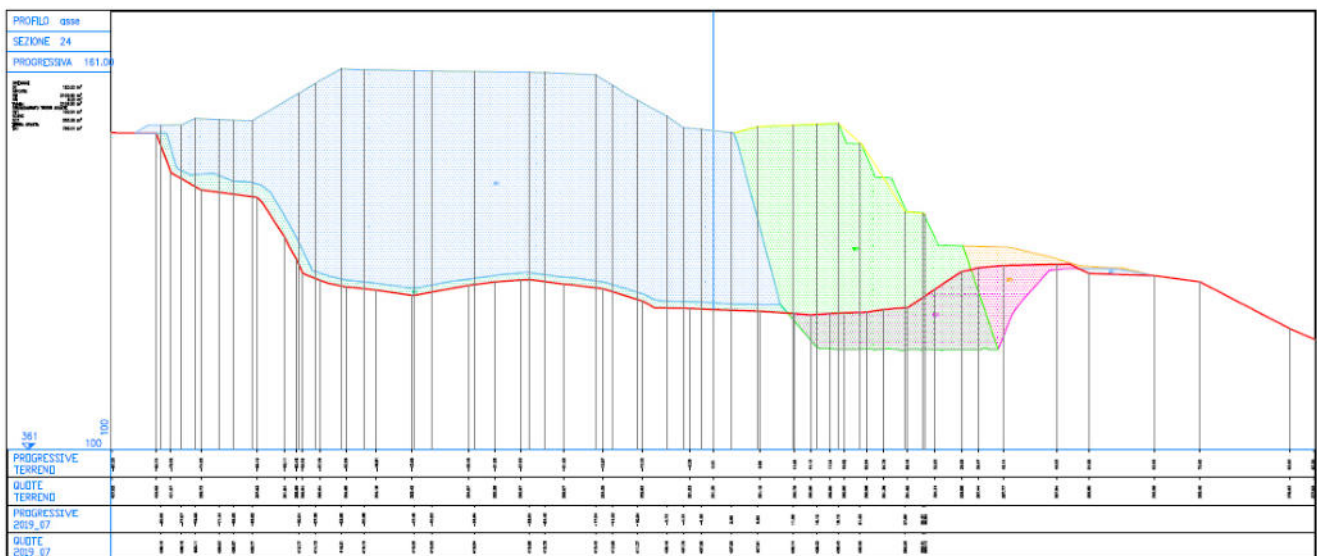


Figura 7: Sezione 24

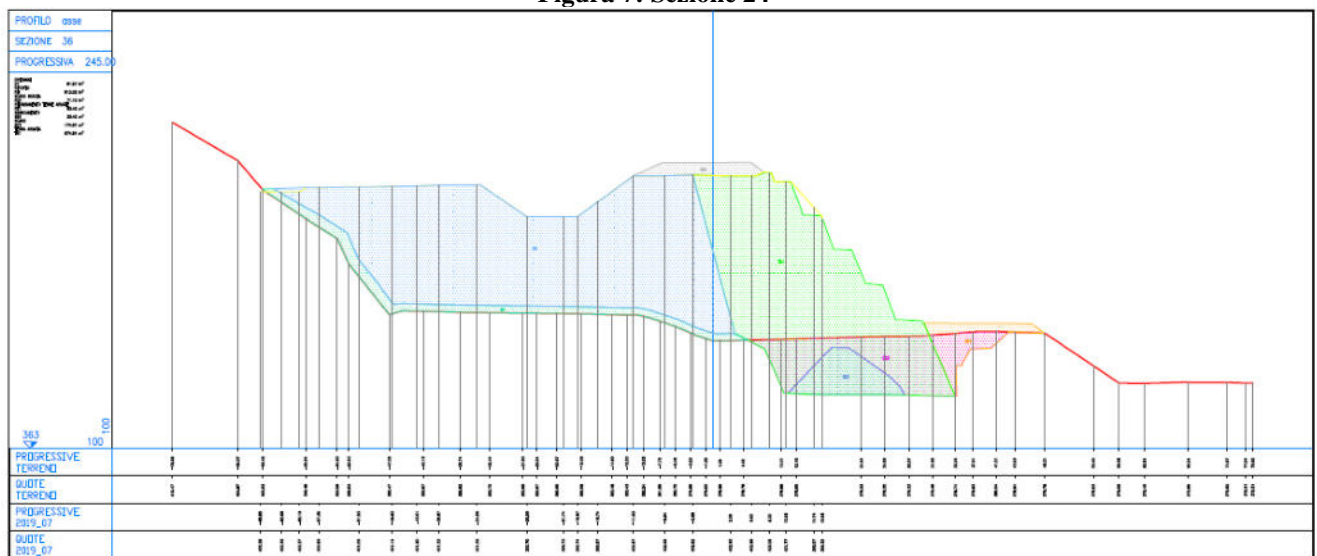


Figura 8: Sezione 36

## 5.5 Sezioni di verifica-Dicembre 2020

Al fine di indagare la stabilità del fronte di cava sono state verificate le due sezioni maggiormente gravose, indicate come Sezione 24 e Sezione 36.

Le analisi sono state eseguite in accordo ad entrambe le normative, D.M. 16/01/1996 e Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018), a causa del prolungato monitoraggio e l'avanzamento delle diverse fasi progettuali.

Di seguito vengono riportate le sezioni considerate nell'analisi

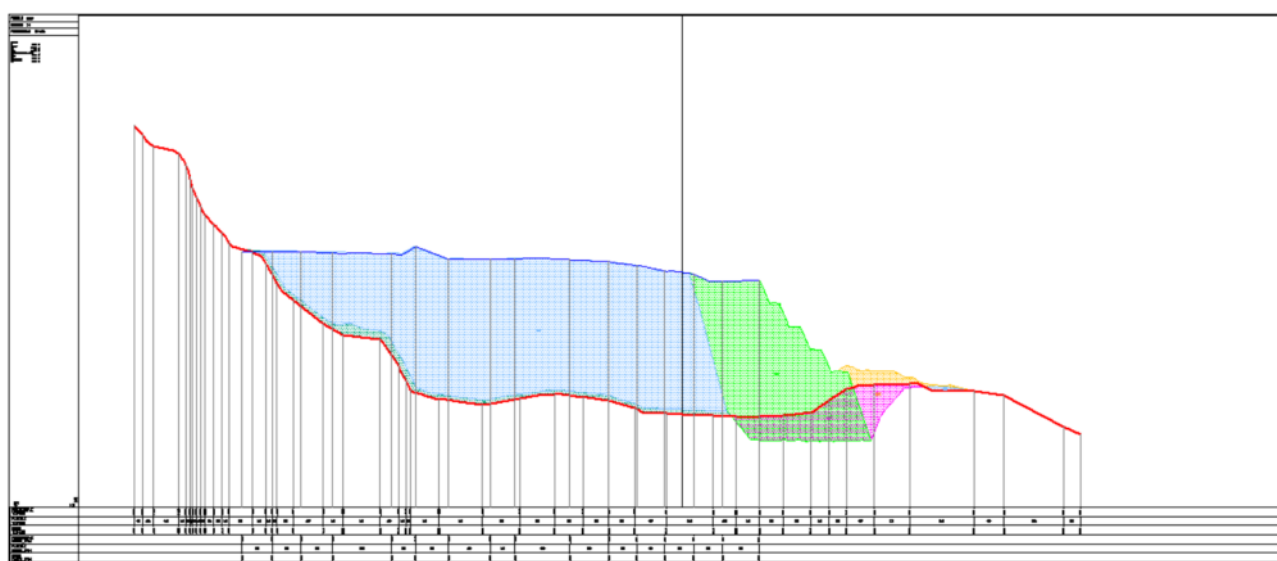


Figura 9: Sezione 24

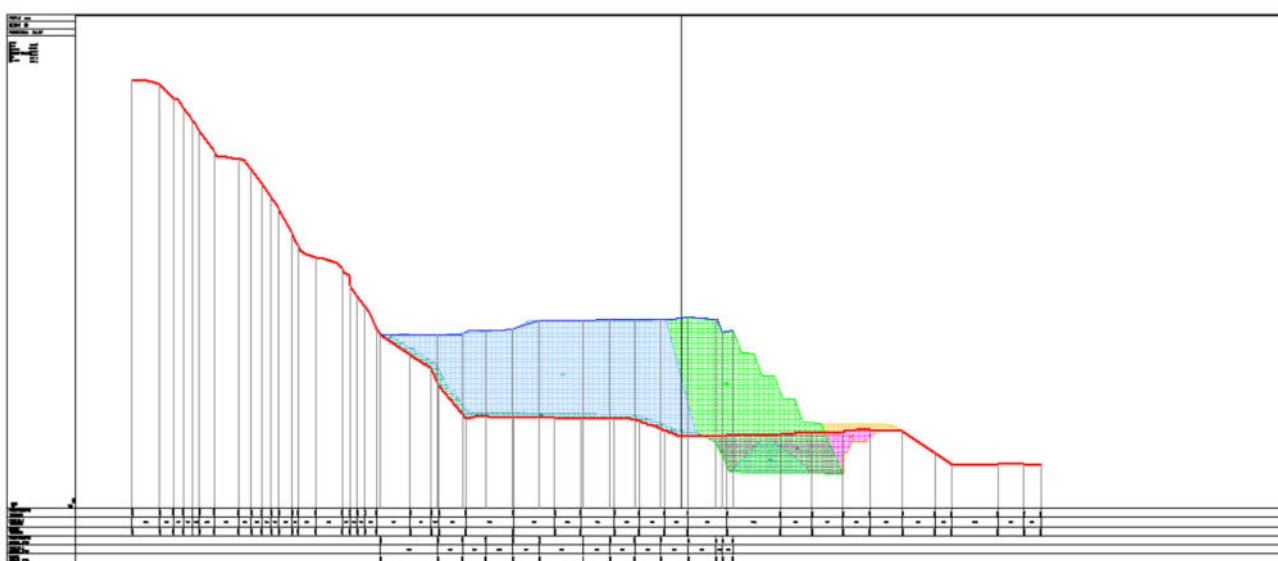


Figura 10: Sezione 36

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021	
Foglio 31 di 70	

## 6 RISULTATI

### 6.1 Risultati analisi Sezione 24 – Gennaio 2019

Di seguito vengono riportati i risultati dell'analisi di stabilità per entrambe le normative considerate, come si potrà notare risultano entrambe verificate.

#### 6.1.1 Analisi secondo D.M. 16/01/1996

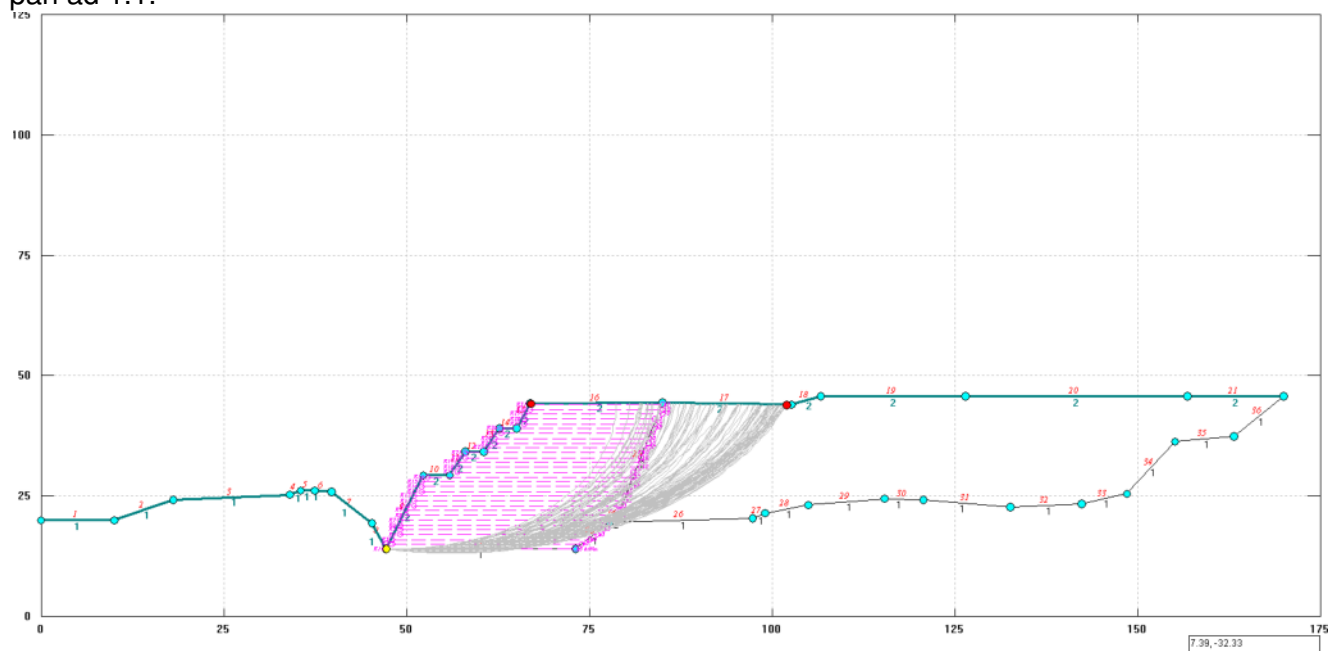
Le verifiche di stabilità globale sono state condotte in accordo al D.M. 16/01/1996 e secondo quanto prescritto dal D.M. 11/03/1988. In particolare, il D.M. 11/03/1988 al punto E.3 (*Manufatti di materiali sciolti - Criteri di progetto*) prescrive che per i rilevati in condizioni statiche il coefficiente di sicurezza, riferito alla stabilità del sistema manufatto-terreno di fondazione, non deve risultare inferiore a 1.3.

Analogamente, per le verifiche di stabilità dei fronti di scavo (punto G.3.2 – *Fronti di scavo - Criteri di progetto e calcolo di stabilità*), nel caso di terreni omogenei e nei quali le pressioni neutre siano note con sufficiente attendibilità, il coefficiente di sicurezza non deve essere minore di 1.3.

Pertanto, le verifiche di stabilità del pendio sono state condotte in condizioni statiche, considerando un coefficiente di sicurezza di 1.3.

Per quanto riguarda la condizione sismica la normativa indica che il valore del coefficiente di sicurezza sarà assunto dal progettista e giustificato sulla base delle considerazioni relative al livello di conoscenze raggiunto ed al grado di affidabilità dei dati disponibili, alla complessità della situazione geologica e geotecnica, alla esperienza locale su pendii naturali in situazioni simili, nonché alle conseguenze di un'eventuale frana.

Si ritiene opportuno, in base a quanto sopra, assumere un fattore di sicurezza in condizione sismica pari ad 1.1.



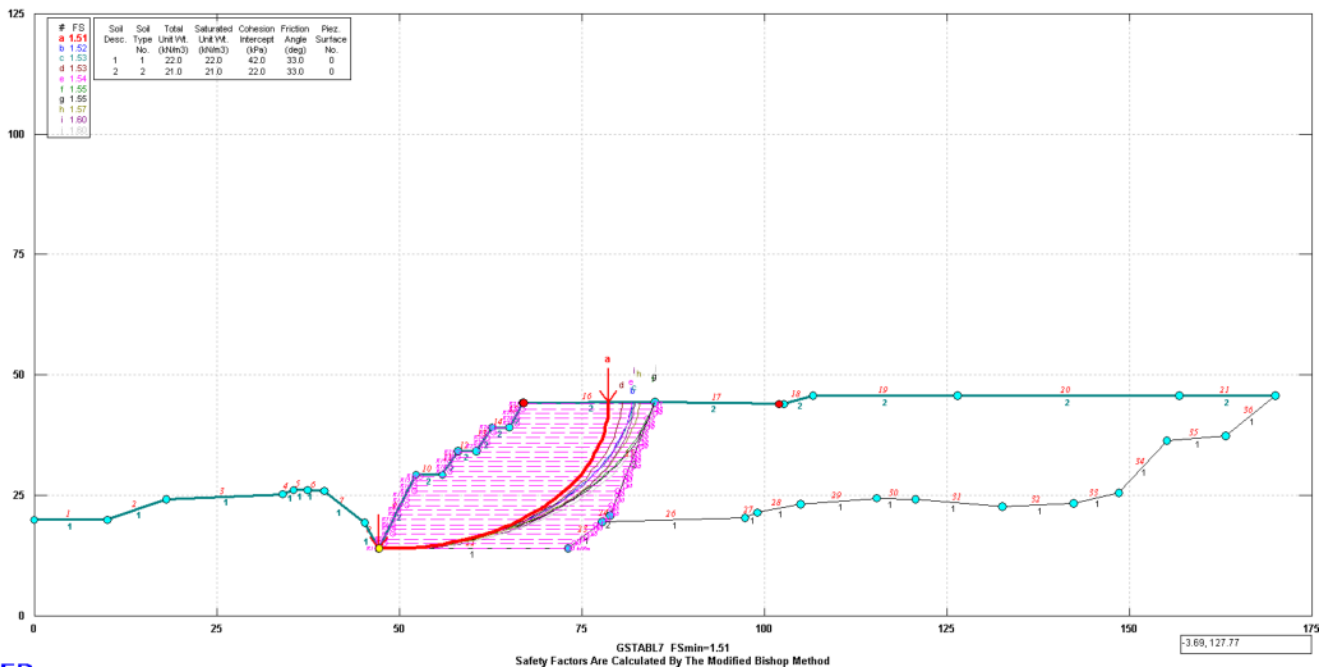
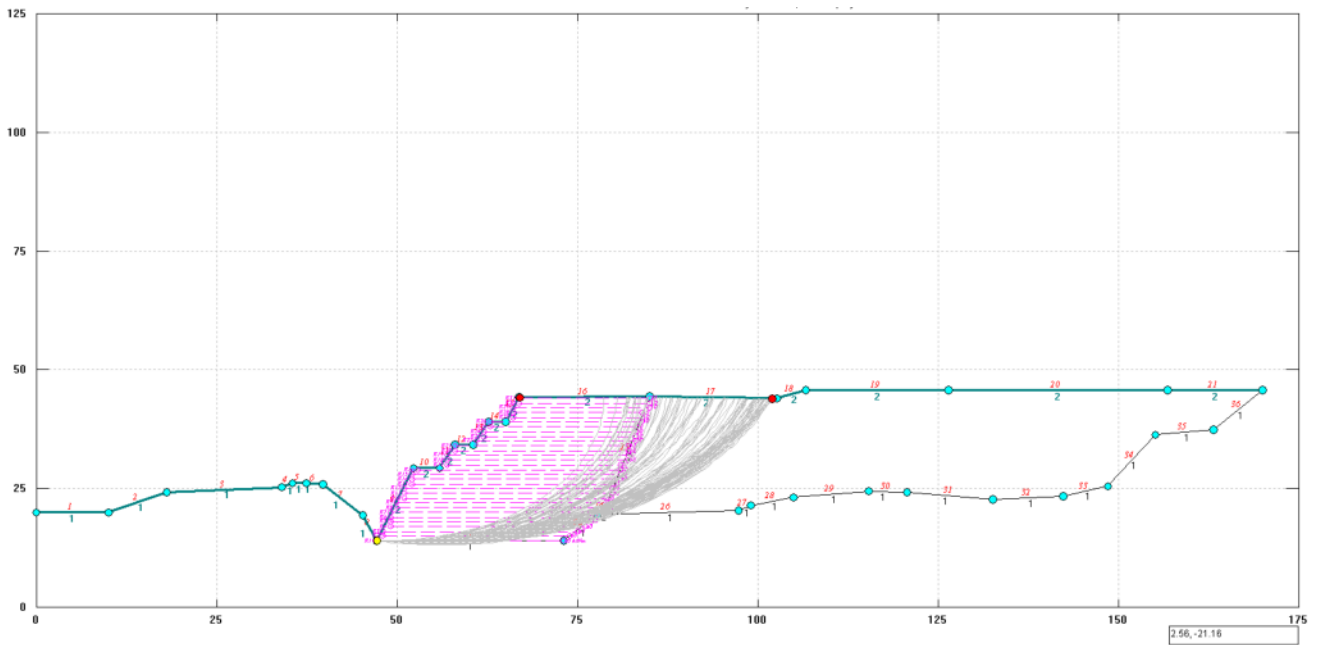


Figura 11: Risultati Sezione 24 (D.M. 16/01/1996 – analisi statica)





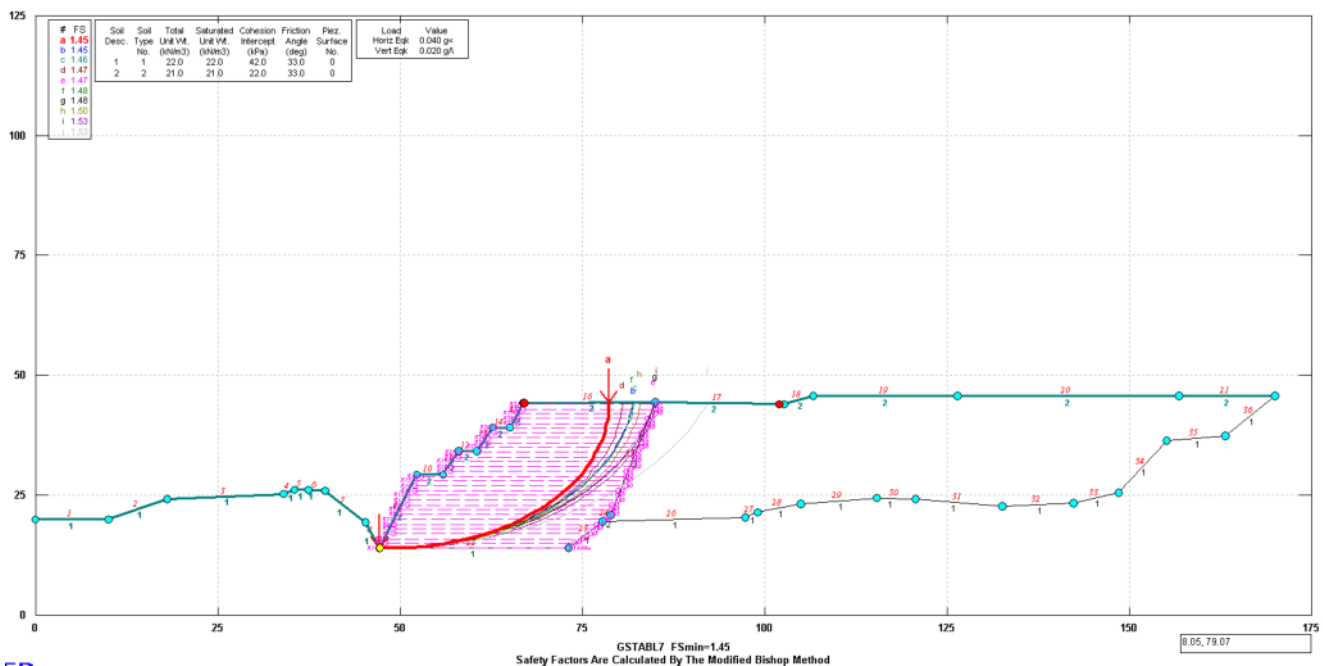


Figura 12: Risultati Sezione 24 (D.M. 16/01/1996 – analisi sismica)

La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 24 risultano tutte soddisfatte.

Normativa	FS	Verifica
D.M. 16/01/1996	Statica FS = 1,51 > 1,3	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,45 > 1,1	Soddisfatta

### 6.1.2 Analisi secondo NTC 2018

In base a quanto previsto dalla normativa NTC18, le verifiche devono essere effettuate secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2).

Per la verifica statica i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno sono riportati nella tabella seguente:

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_{M1}$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25

Tabella 13: tab 6.2 II “Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno” - D.M. 17.01.18

Le resistenze invece, sono calcolate con un coefficiente parziale pari a 1,1.

Per le analisi sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri caratteristici vengono posti pari all'unità come da riferimento normativo. Il coefficiente sulle resistenze invece, è pari a 1,2.

Il fattore di sicurezza che viene così calcolato deve risultare superiore all'unità.

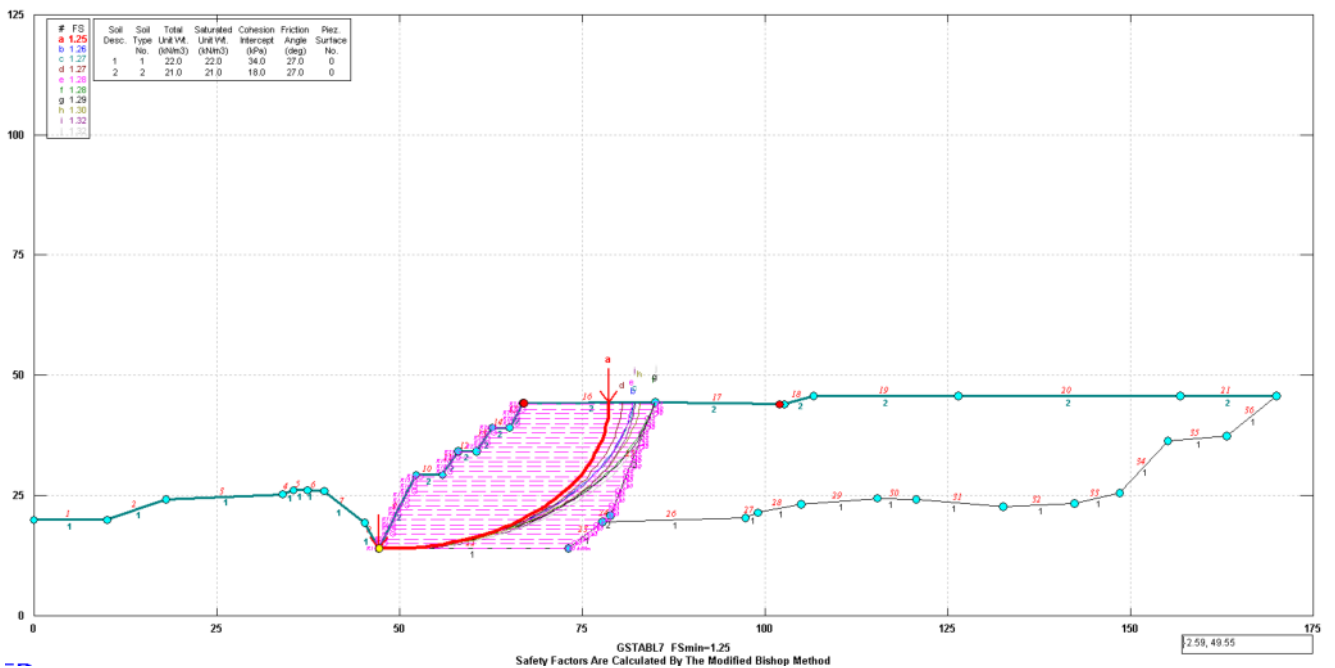
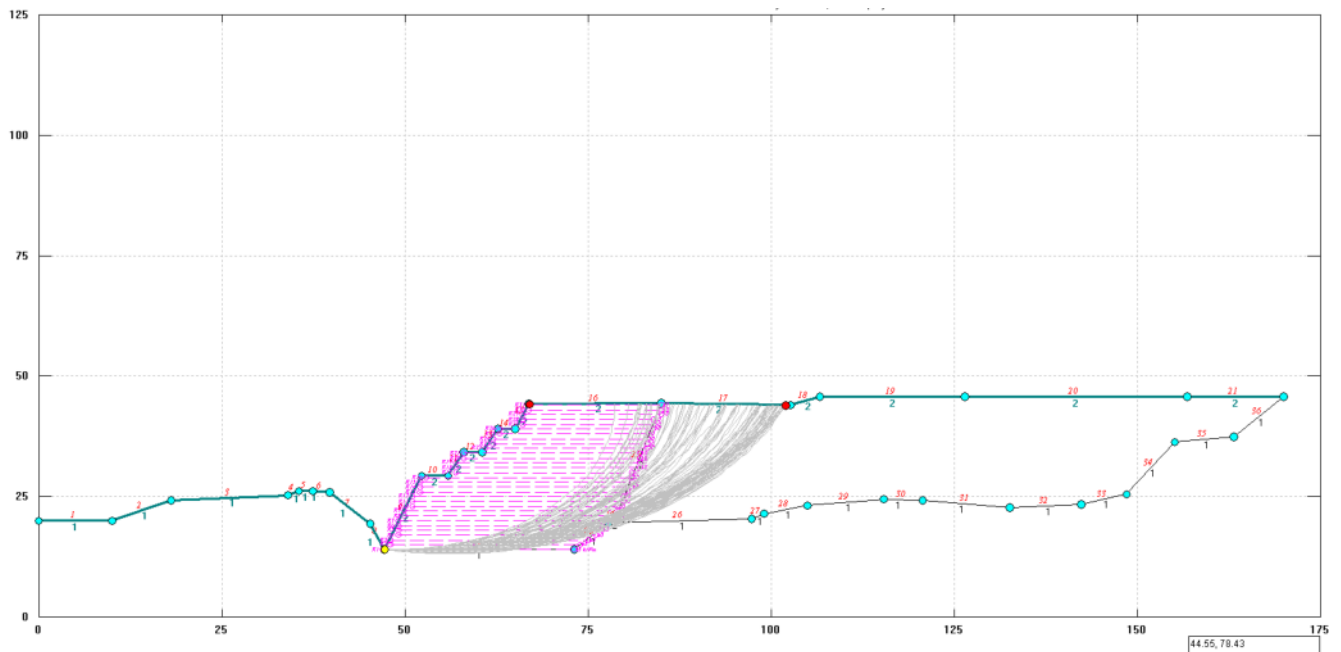


Figura 13: Risultati Sezione 24 (D.M. 17/01/2018-analisi statica)

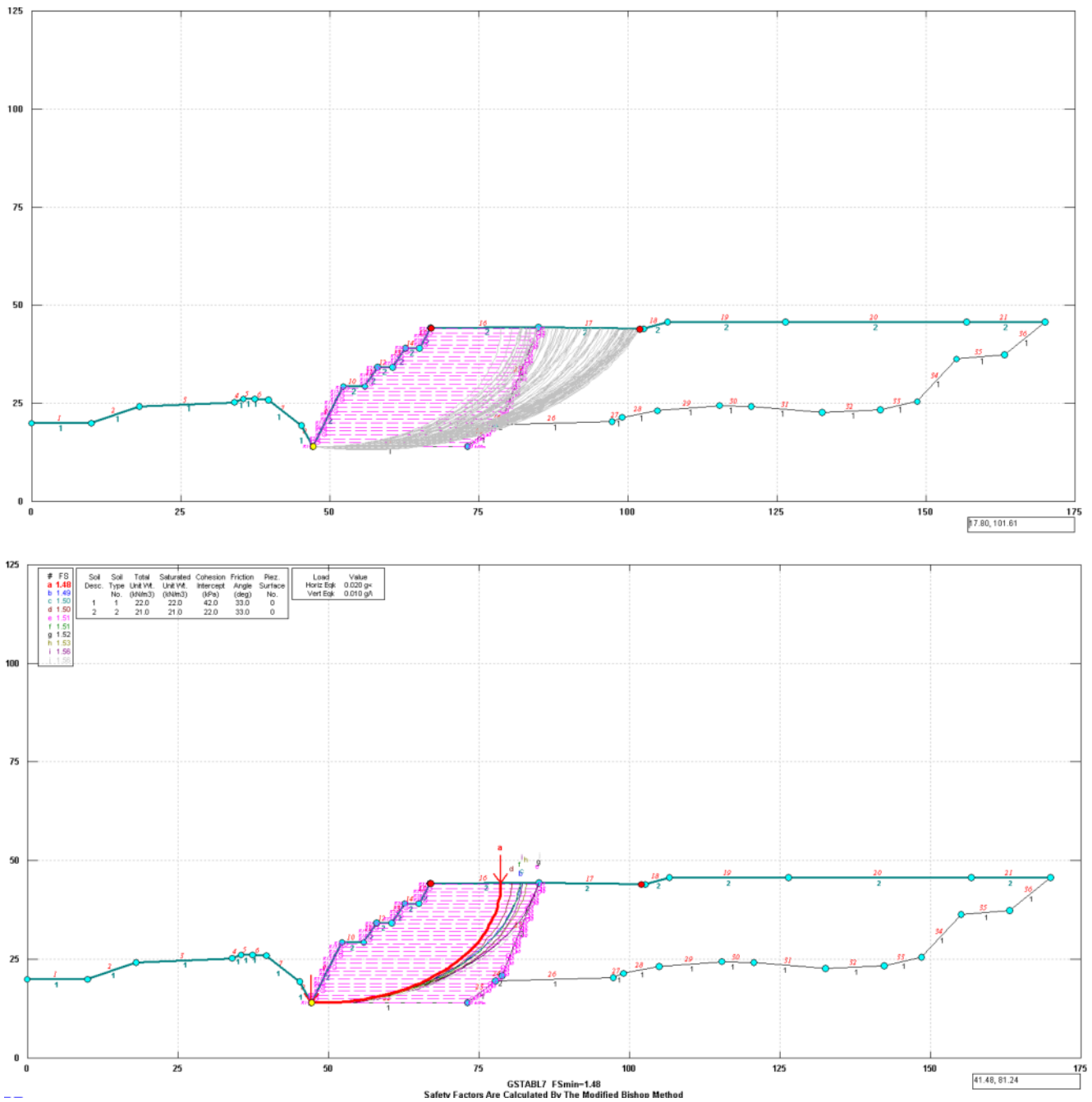


Figura 14: Risultati Sezione 24 (D.M. 17/01/2018-analisi sismica)

La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 24 risultano tutte soddisfatte.

Normativa	FS	Verifica
NTC2018	Statica FS = 1,25/1,1=1,14 > 1	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,48/1,2=1,23 > 1	Soddisfatta

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021 <span style="float: right;">Foglio 36 di 70</span>

## 6.2 Risultati analisi Sezione 36 – Gennaio 2019

Di seguito vengono riportati i risultati dell'analisi di stabilità per entrambe le normative considerate, anche per questa sezione risultano entrambe verificate.

### 6.2.1 Analisi secondo D.M. 16/01/1996

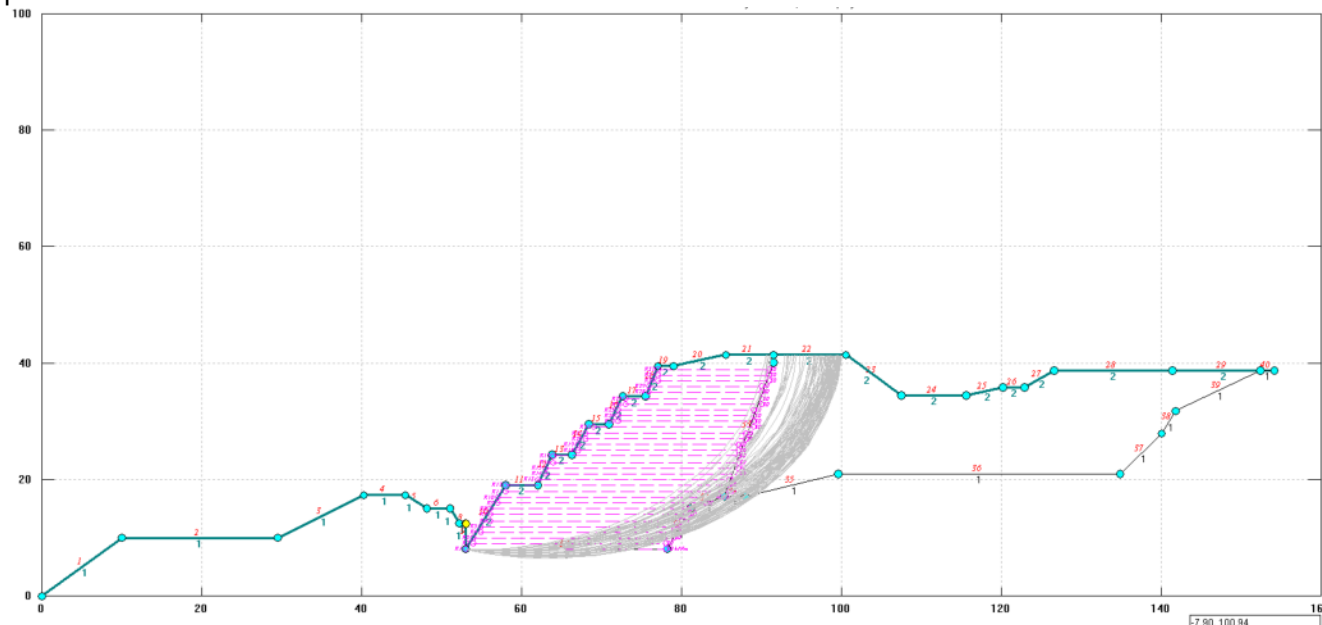
Le verifiche di stabilità globale sono state condotte in accordo al D.M. 16/01/1996 e secondo quanto prescritto dal D.M. 11/03/1988. In particolare, il D.M. 11/03/1988 al punto E.3 (*Manufatti di materiali sciolti - Criteri di progetto*) prescrive che per i rilevati in condizioni statiche il coefficiente di sicurezza, riferito alla stabilità del sistema manufatto-terreno di fondazione, non deve risultare inferiore a 1.3.

Analogamente, per le verifiche di stabilità dei fronti di scavo (punto G.3.2 – *Fronti di scavo - Criteri di progetto e calcolo di stabilità*), nel caso di terreni omogenei e nei quali le pressioni neutre siano note con sufficiente attendibilità, il coefficiente di sicurezza non deve essere minore di 1.3.

Pertanto, le verifiche di stabilità del pendio sono state condotte in condizioni statiche, considerando un coefficiente di sicurezza di 1.3.

Per quanto riguarda la condizione sismica la normativa indica che il valore del coefficiente di sicurezza sarà assunto dal progettista e giustificato sulla base delle considerazioni relative al livello di conoscenze raggiunto ed al grado di affidabilità dei dati disponibili, alla complessità della situazione geologica e geotecnica, alla esperienza locale su pendii naturali in situazioni simili, nonché alle conseguenze di un'eventuale frana.

Si ritiene opportuno, in base a quanto sopra, assumere un fattore di sicurezza in condizione sismica pari ad 1.1.



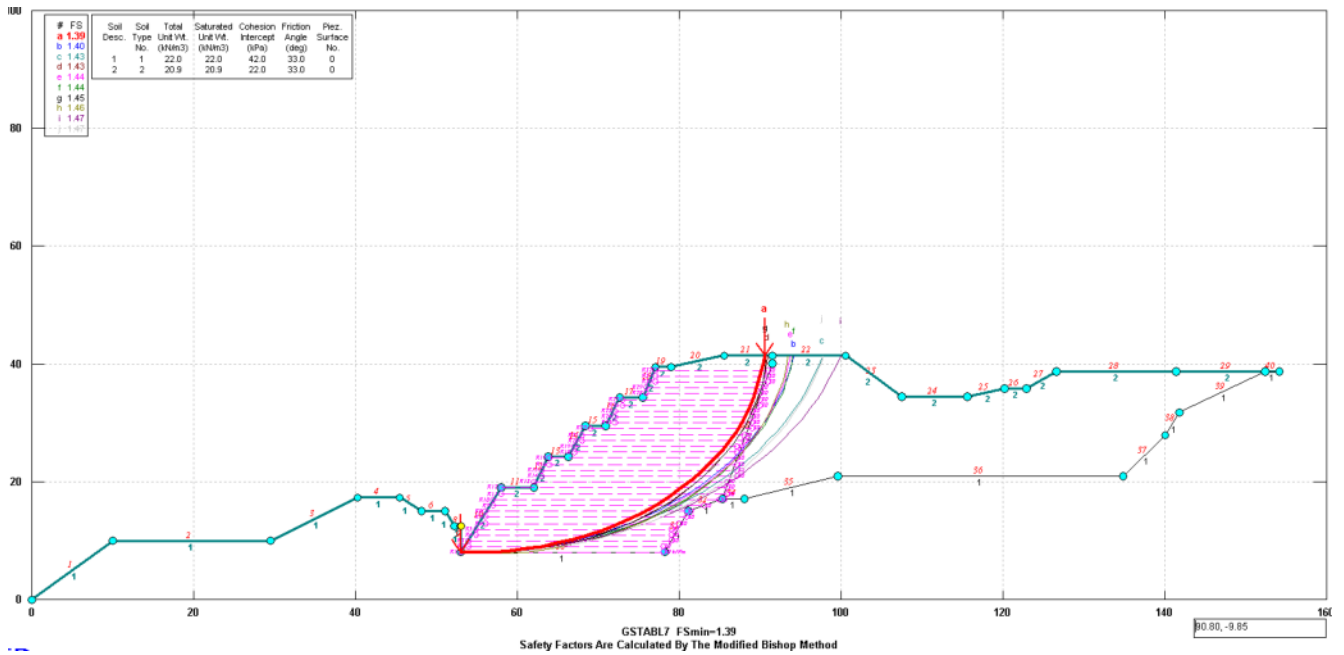
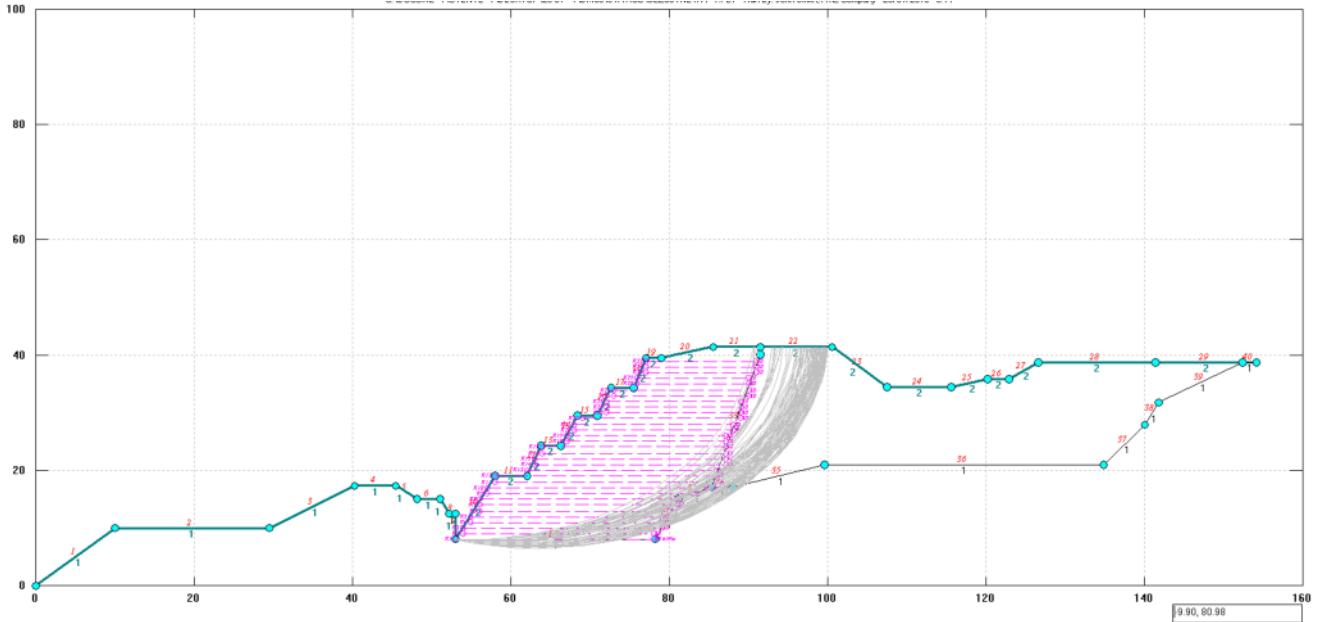


Figura 15: Risultati Sezione 36 (D.M. 16/01/1996 – analisi statica)



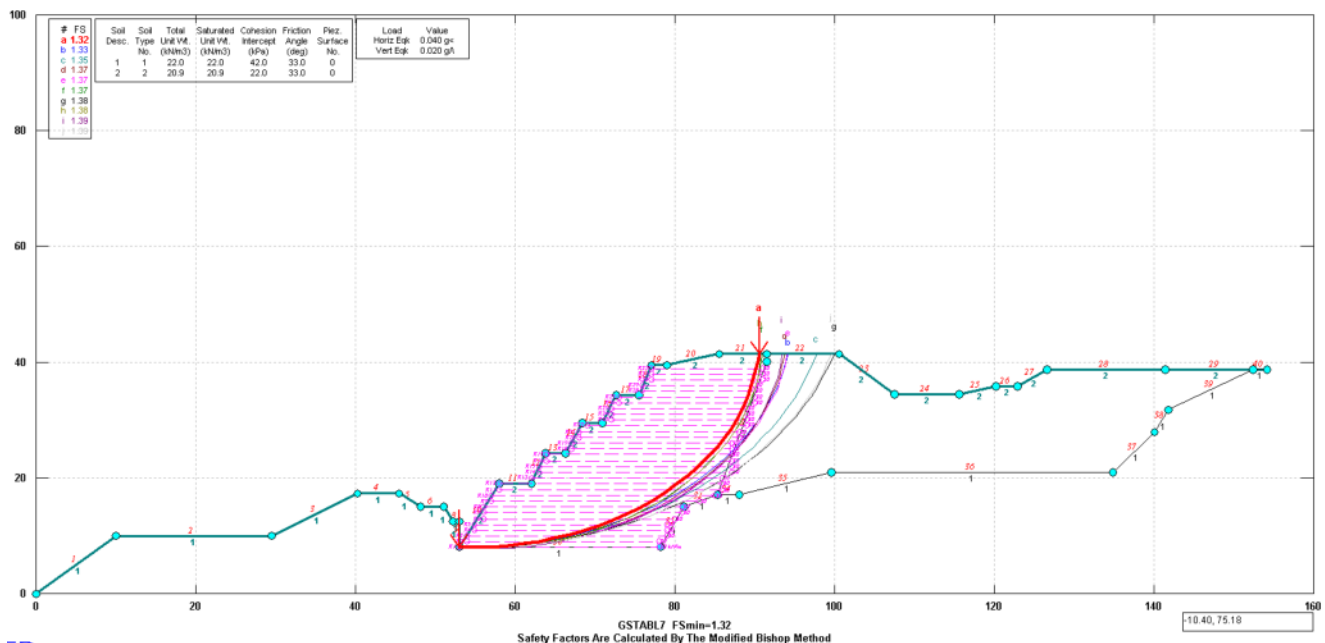


Figura 16: Risultati Sezione 36 (D.M. 16/01/1996 – analisi sismica)

La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 36 risultano tutte soddisfatte.

Normativa	FS	Verifica
D.M. 16/01/1996	Statica FS = 1,39 > 1,3	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,32 > 1,1	Soddisfatta

### 6.2.2 Analisi secondo NTC 2018

In base a quanto previsto dalla normativa NTC18, le verifiche devono essere effettuate secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2).

Per la verifica statica i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno sono riportati nella tabella seguente:

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25

Tabella 14: tab 6.2 II “Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno”- D.M. 17.01.18

Le resistenze invece, sono calcolate con un coefficiente parziale pari a 1,1.

Per le analisi sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri caratteristici vengono posti pari all'unità come da riferimento normativo. Il coefficiente sulle resistenze invece, è pari a 1,2.

Il fattore di sicurezza che viene così calcolato deve risultare superiore all'unità.

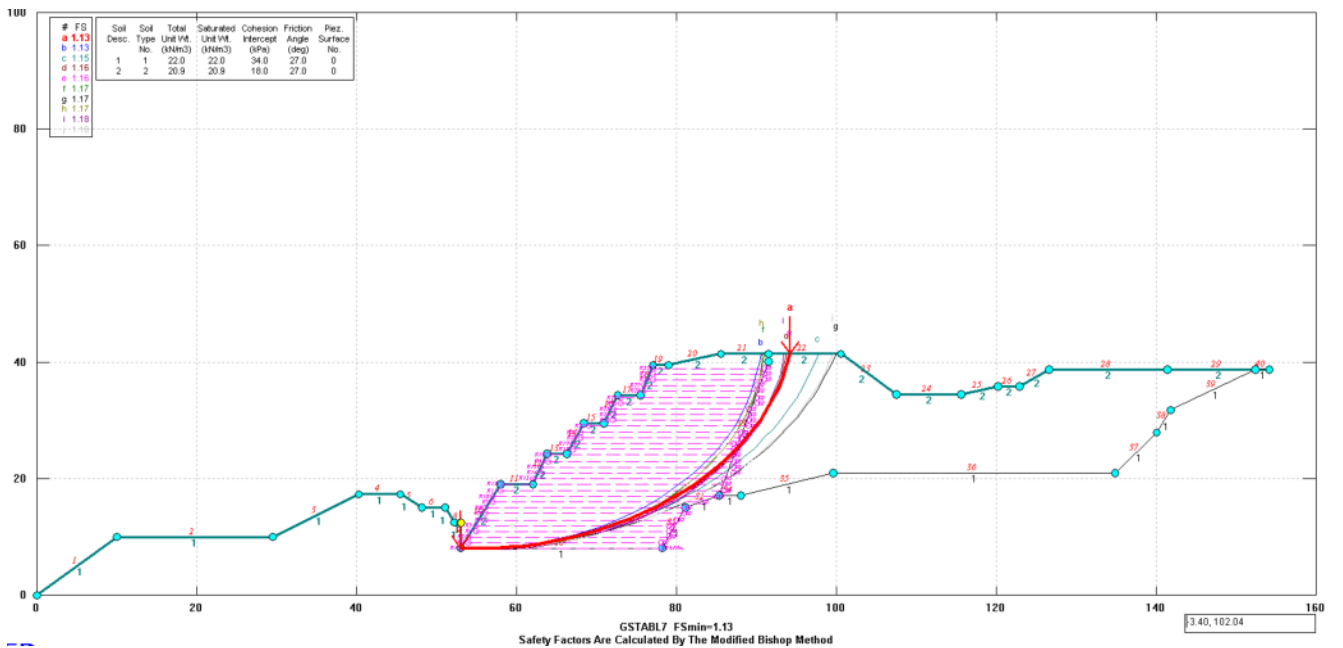
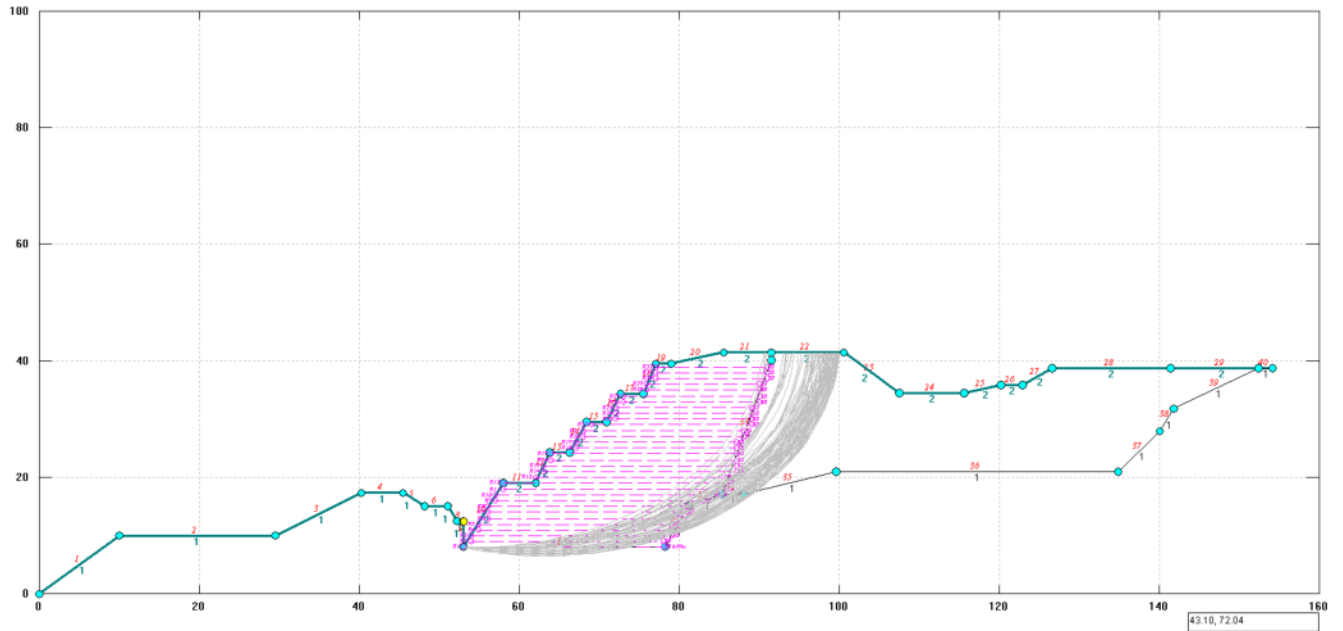


Figura 17: Risultati Sezione 36 (D.M. 17/01/2018-analisi statica)

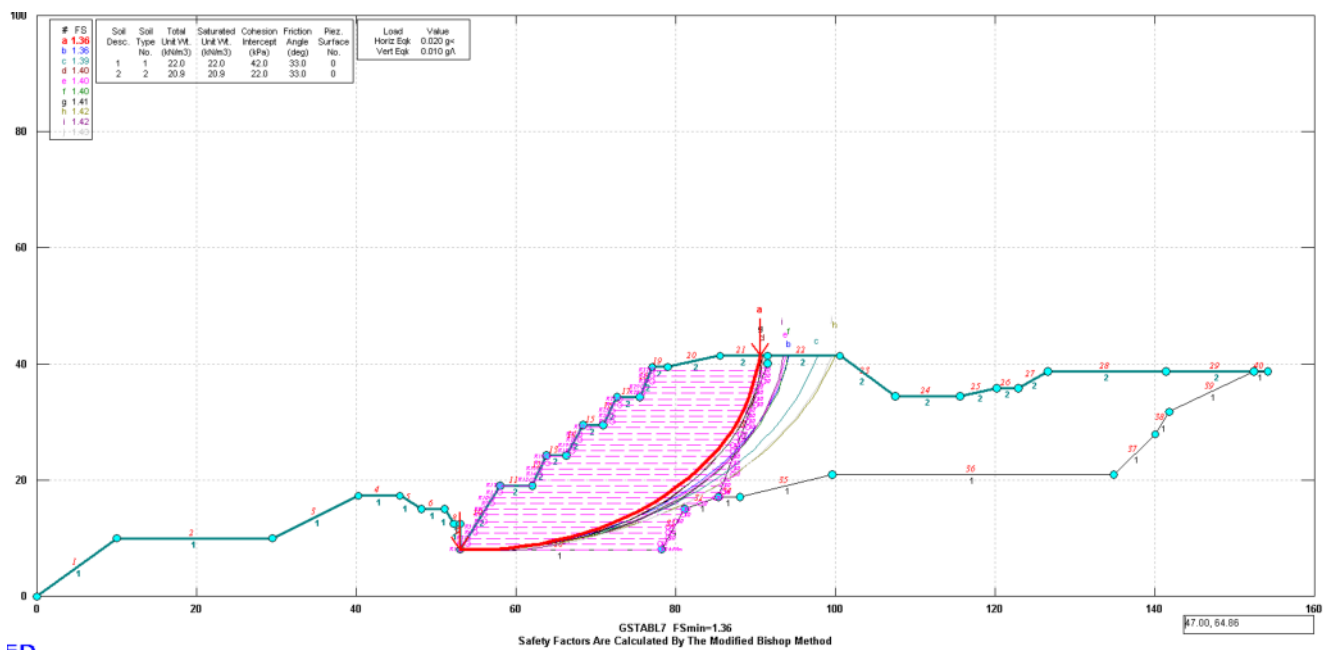
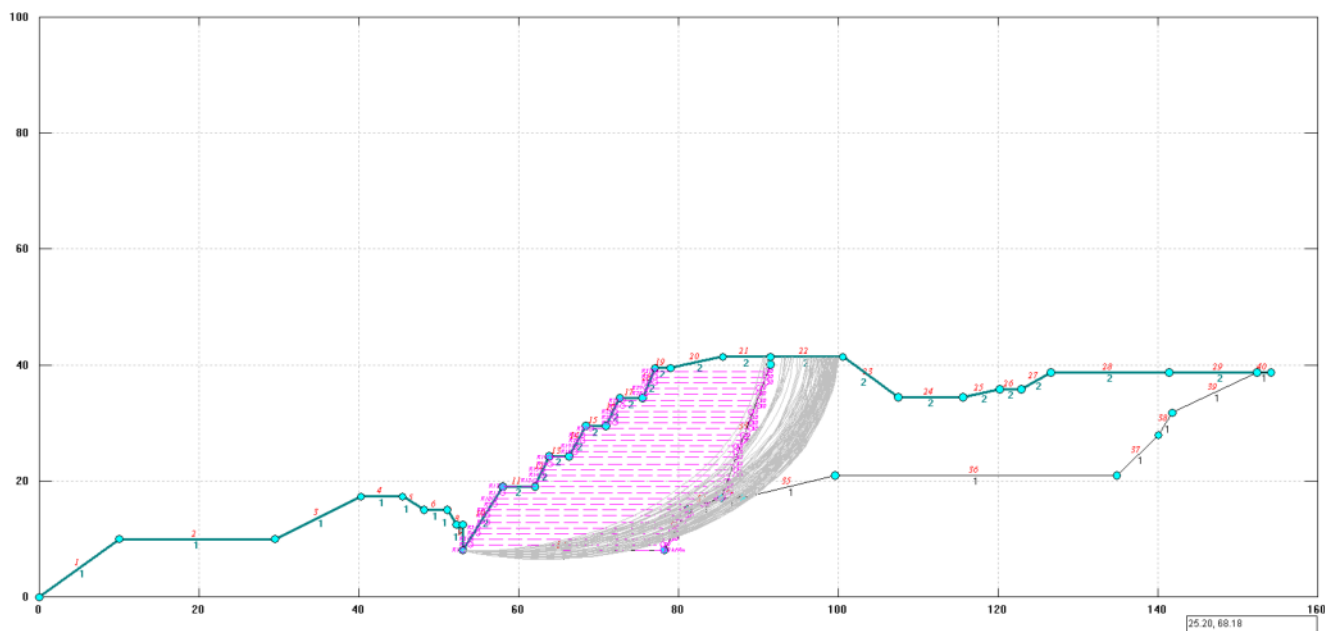


Figura 18: Risultati Sezione 36 (D.M. 17/01/2018-analisi sismica)

La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 36 risultano tutte soddisfatte.

Normativa	FS	Verifica
NTC2018	Statica FS = 1,13/1,1=1,03 > 1	Soddisfatta
	Dinamica FS = 1,36/1,2=1,13 > 1	Soddisfatta



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021

### 6.3 Risultati analisi Sezione 24 – Settembre 2019

#### 6.3.1 Analisi secondo D.M. 16/01/1996

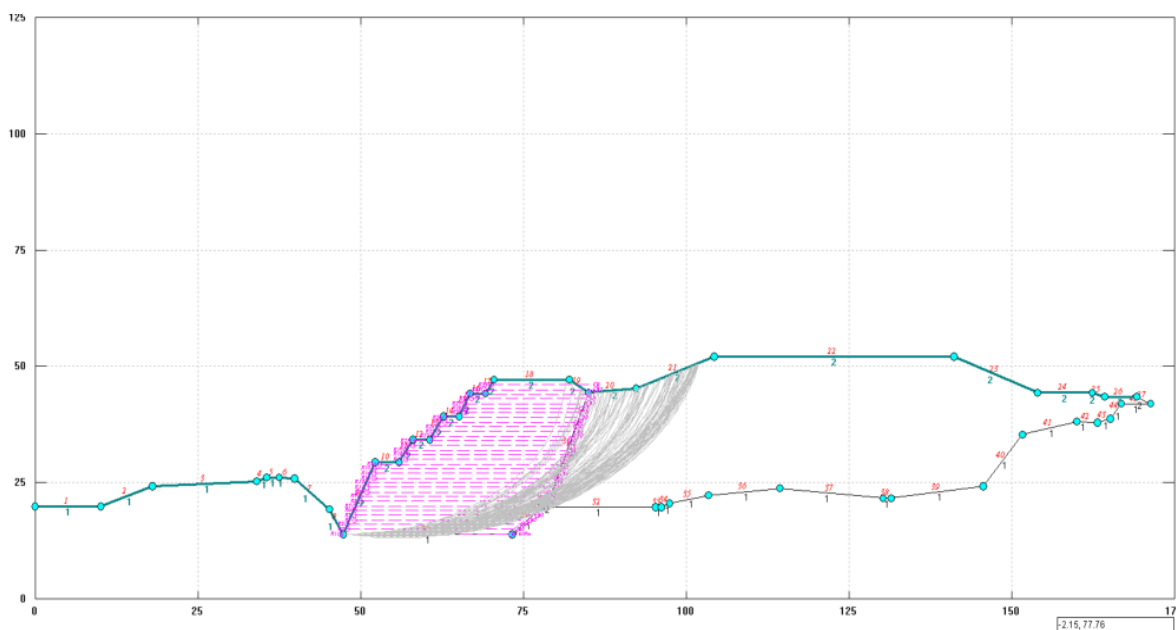
Le verifiche di stabilità globale sono state condotte in accordo al D.M. 16/01/1996 e secondo quanto prescritto dal D.M. 11/03/1988. In particolare, il D.M. 11/03/1988 al punto E.3 (*Manufatti di materiali sciolti - Criteri di progetto*) prescrive che per i rilevati in condizioni statiche il coefficiente di sicurezza, riferito alla stabilità del sistema manufatto-terreno di fondazione, non deve risultare inferiore a 1.3.

Analogamente, per le verifiche di stabilità dei fronti di scavo (punto G.3.2 – *Fronti di scavo - Criteri di progetto e calcolo di stabilità*), nel caso di terreni omogenei e nei quali le pressioni neutre siano note con sufficiente attendibilità, il coefficiente di sicurezza non deve essere minore di 1.3.

Pertanto, le verifiche di stabilità del pendio sono state condotte in condizioni statiche, considerando un coefficiente di sicurezza di 1.3.

Per quanto riguarda la condizione sismica la normativa indica che il valore del coefficiente di sicurezza sarà assunto dal progettista e giustificato sulla base delle considerazioni relative al livello di conoscenze raggiunto ed al grado di affidabilità dei dati disponibili, alla complessità della situazione geologica e geotecnica, alla esperienza locale su pendii naturali in situazioni simili, nonché alle conseguenze di un'eventuale frana.

Si ritiene opportuno, in base a quanto sopra, assumere un fattore di sicurezza in condizione sismica pari ad 1.1.



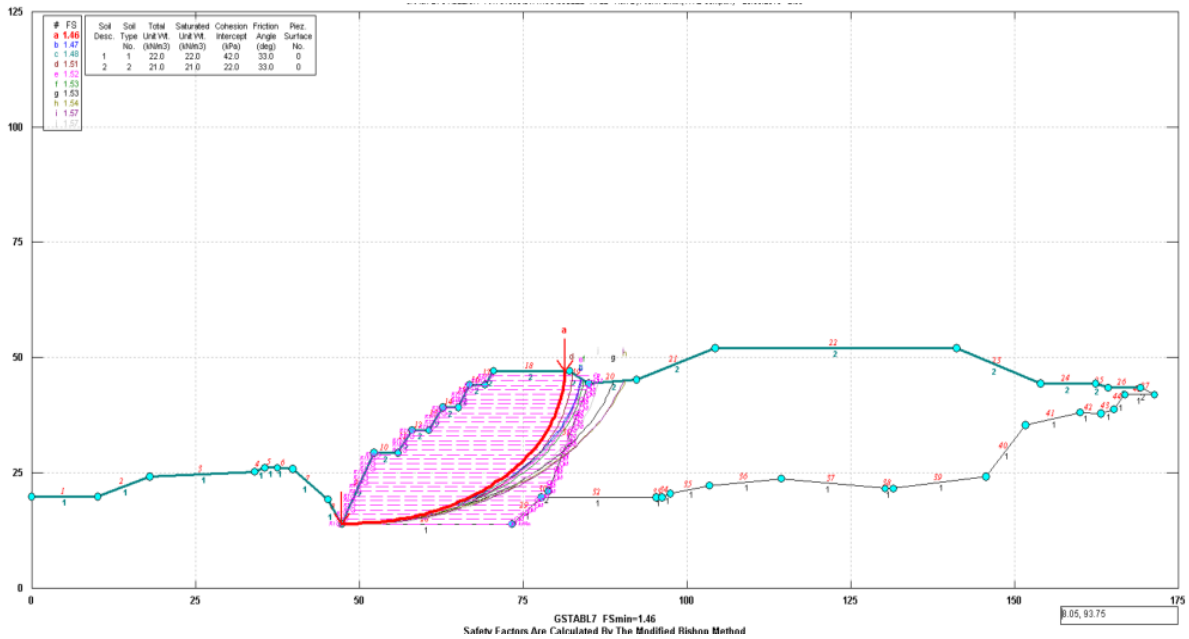
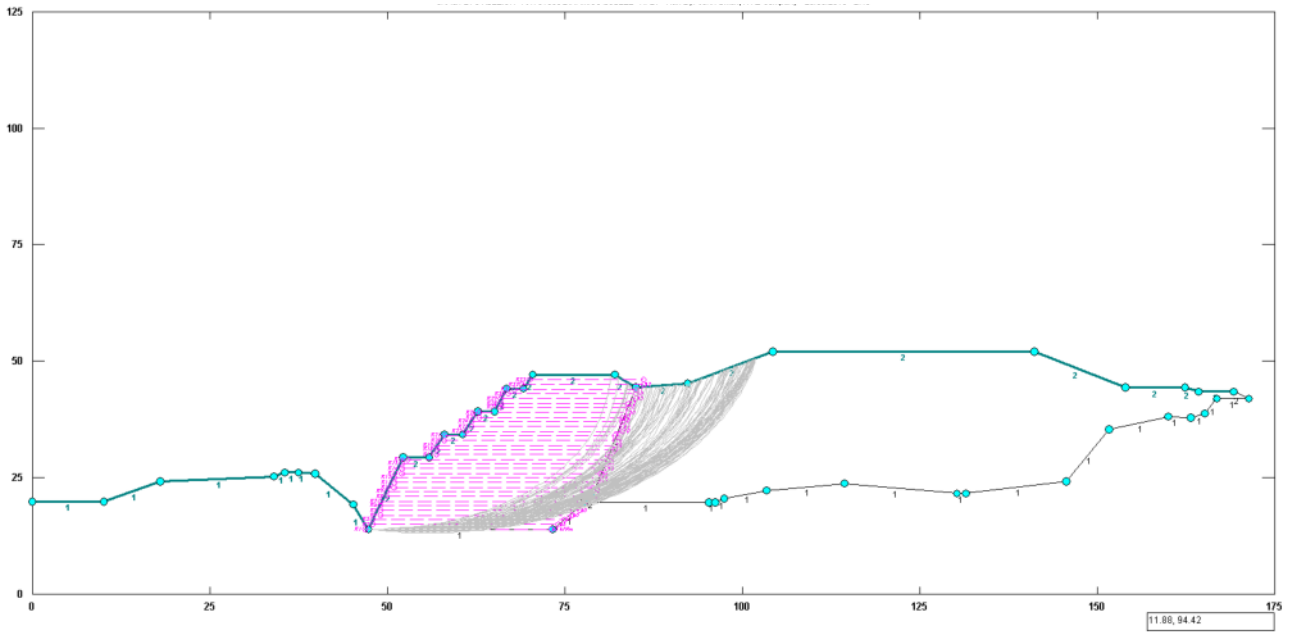


Figura 19: Risultati Sezione 24 (D.M. 16/01/1996 – analisi statica)



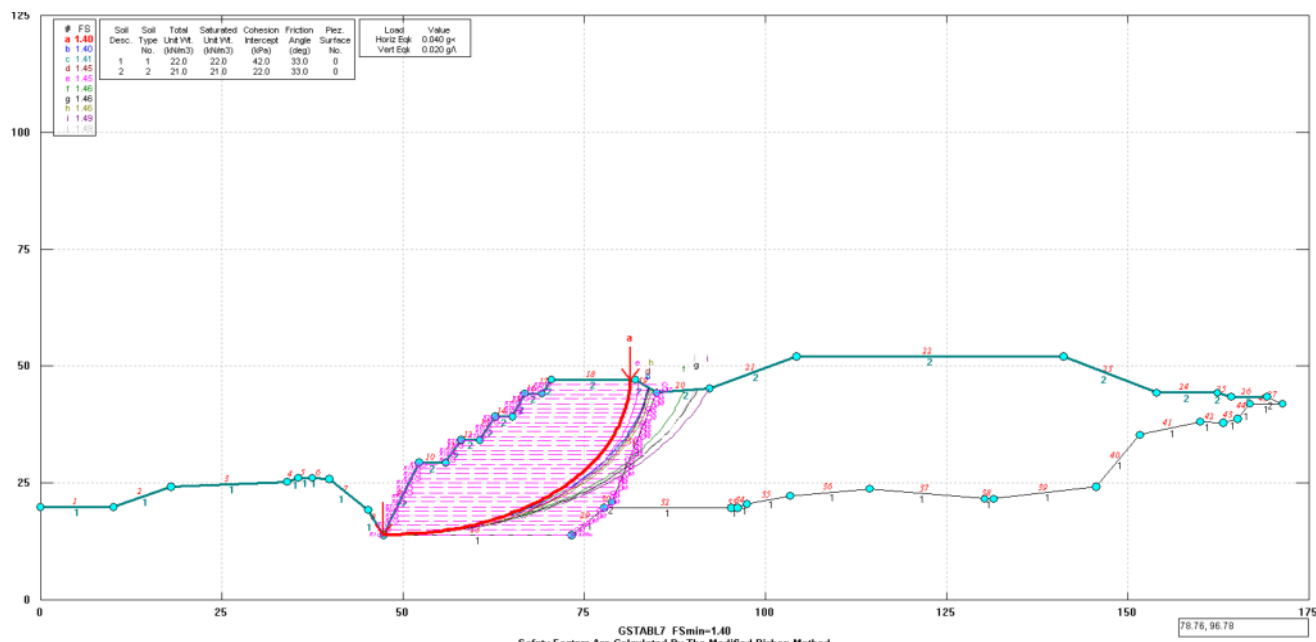


Figura 20: Risultati Sezione 24 (D.M. 16/01/1996 – analisi sismica)

Normativa	FS	Verifica
D.M. 16/01/1996	Statica FS = 1,46 > 1,3	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,40 > 1,1	Soddisfatta

### 6.3.2 Analisi secondo NTC 2018

In base a quanto previsto dalla normativa NTC18, le verifiche devono essere effettuate secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2).

Per la verifica statica i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno sono riportati nella tabella seguente:

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25

Tabella 15: tab 6.2 II “Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno” - D.M. 17.01.18

Le resistenze invece, sono calcolate con un coefficiente parziale pari a 1,1.

Per le analisi sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri caratteristici vengono posti pari all'unità come da riferimento normativo. Il coefficiente sulle resistenze invece, è pari a 1,2.

Il fattore di sicurezza che viene così calcolato deve risultare superiore all'unità.

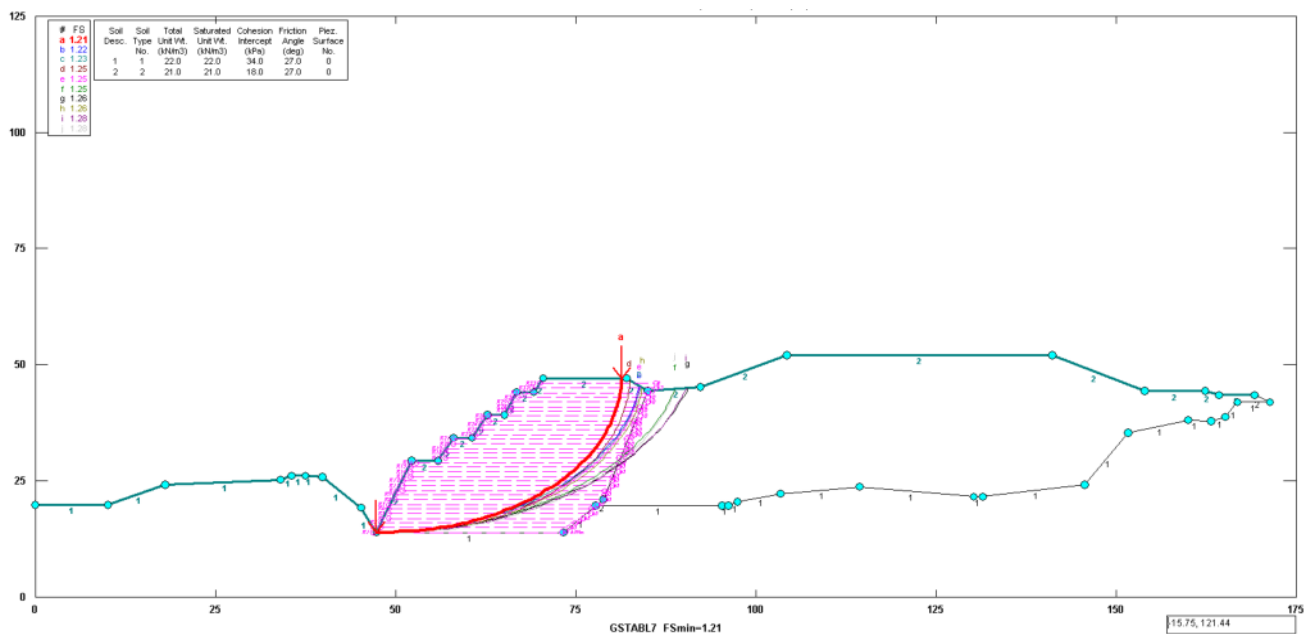
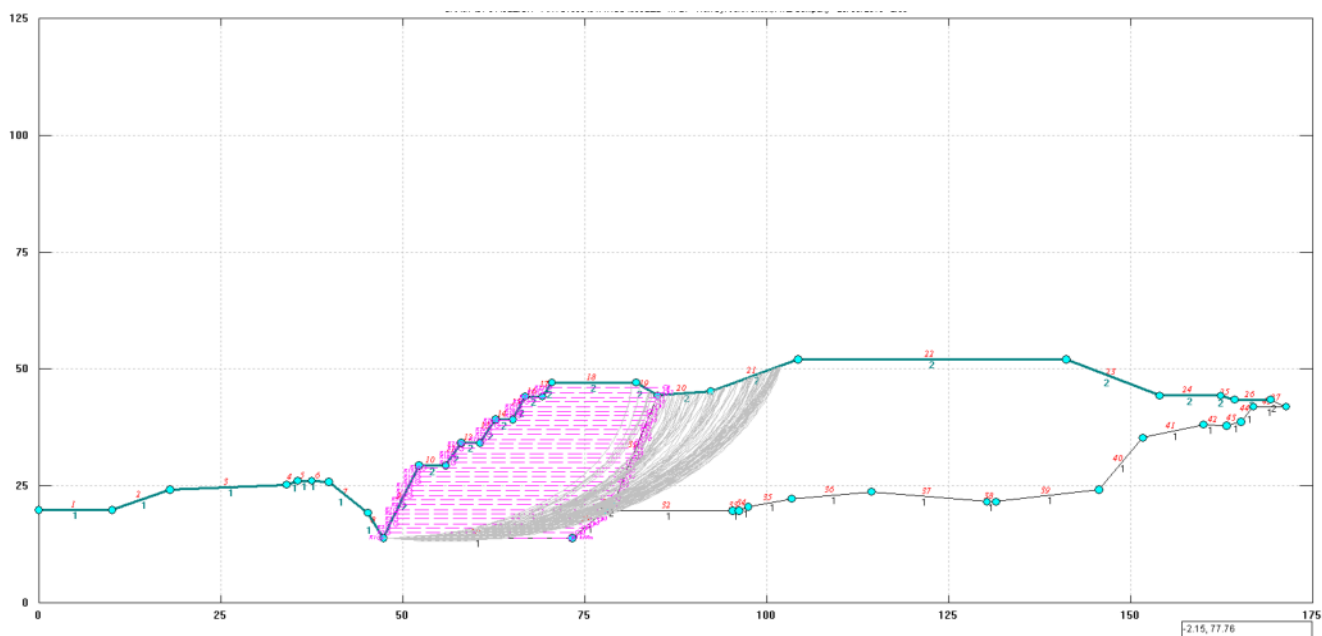


Figura 21: Risultati Sezione 24 (D.M. 17/01/2018-analisi statica)

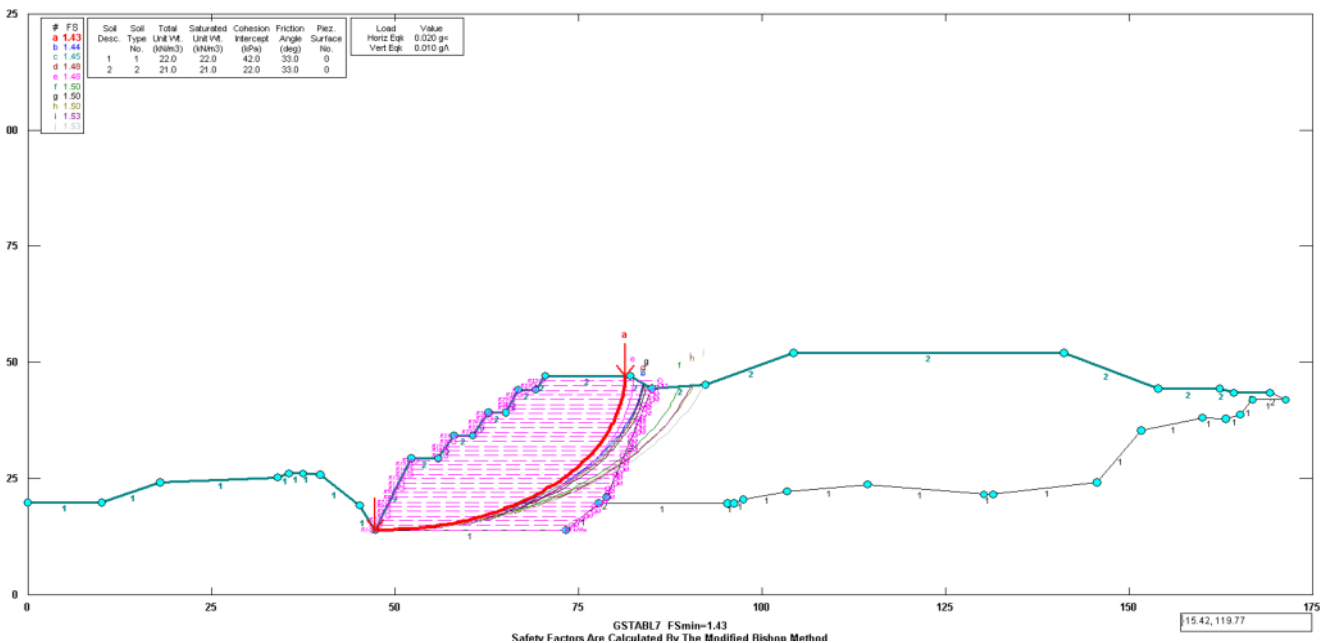
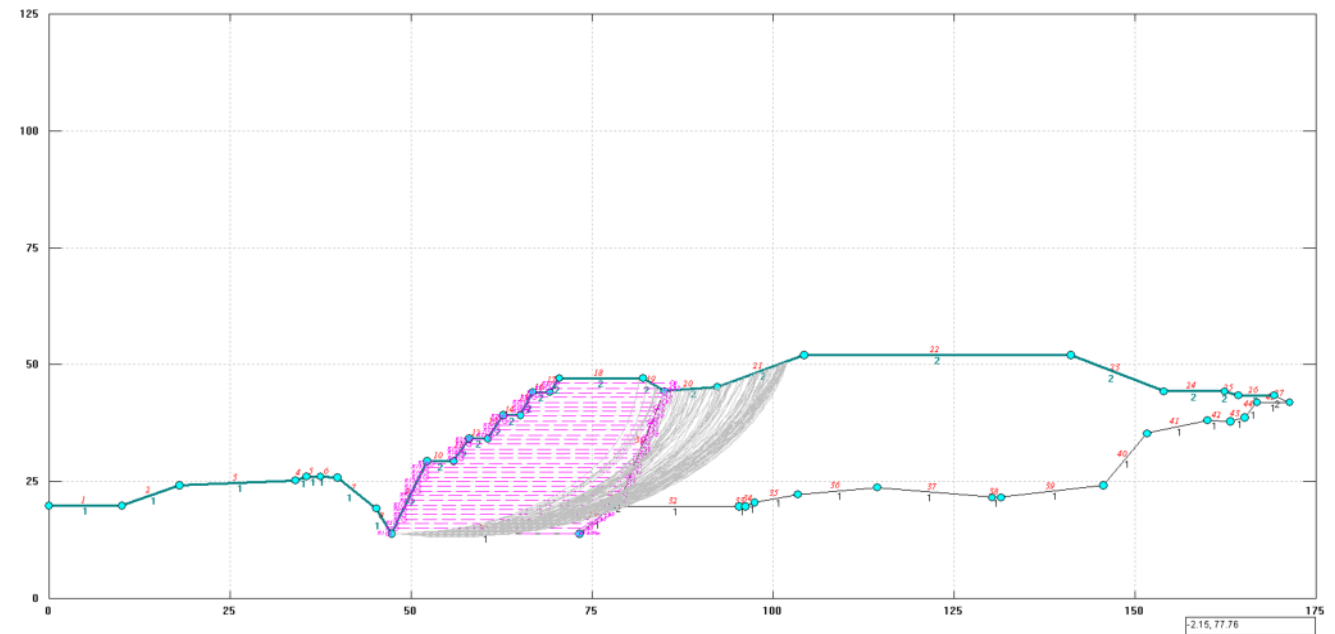


Figura 22: Risultati Sezione 24 (D.M. 17/01/2018-analisi sismica)

La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 24 risultano tutte soddisfatte.

Normativa	FS	Verifica
NTC2018	Statica FS = 1,21/1,1=1,1 > 1	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,43/1,2=1,20 > 1	Soddisfatta

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021 <span style="float: right;">Foglio 46 di 70</span>

## 6.4 Risultati analisi Sezione 36 – Settembre 2019

### 6.4.1 Analisi secondo D.M. 16/01/1996

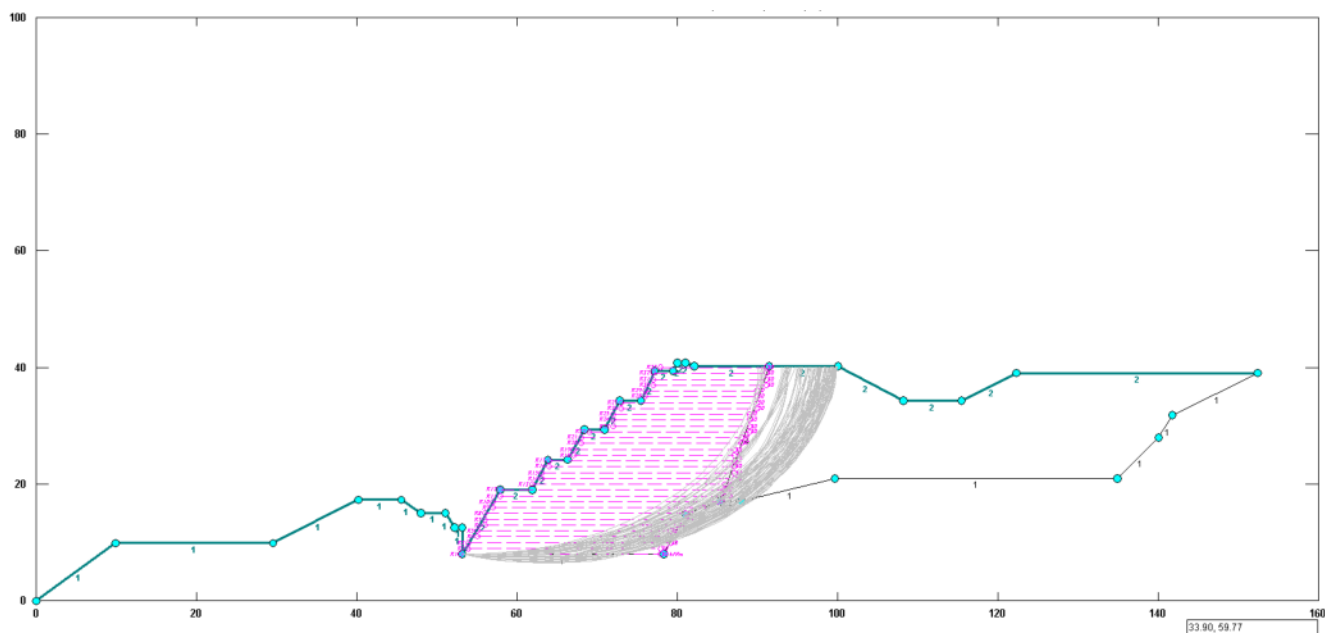
Le verifiche di stabilità globale sono state condotte in accordo al D.M. 16/01/1996 e secondo quanto prescritto dal D.M. 11/03/1988. In particolare, il D.M. 11/03/1988 al punto E.3 (*Manufatti di materiali sciolti - Criteri di progetto*) prescrive che per i rilevati in condizioni statiche il coefficiente di sicurezza, riferito alla stabilità del sistema manufatto-terreno di fondazione, non deve risultare inferiore a 1.3.

Analogamente, per le verifiche di stabilità dei fronti di scavo (punto G.3.2 – *Fronti di scavo - Criteri di progetto e calcolo di stabilità*), nel caso di terreni omogenei e nei quali le pressioni neutre siano note con sufficiente attendibilità, il coefficiente di sicurezza non deve essere minore di 1.3.

Pertanto, le verifiche di stabilità del pendio sono state condotte in condizioni statiche, considerando un coefficiente di sicurezza di 1.3.

Per quanto riguarda la condizione sismica la normativa indica che il valore del coefficiente di sicurezza sarà assunto dal progettista e giustificato sulla base delle considerazioni relative al livello di conoscenze raggiunto ed al grado di affidabilità dei dati disponibili, alla complessità della situazione geologica e geotecnica, alla esperienza locale su pendii naturali in situazioni simili, nonché alle conseguenze di un'eventuale frana.

Si ritiene opportuno, in base a quanto sopra, assumere un fattore di sicurezza in condizione sismica pari ad 1.1.



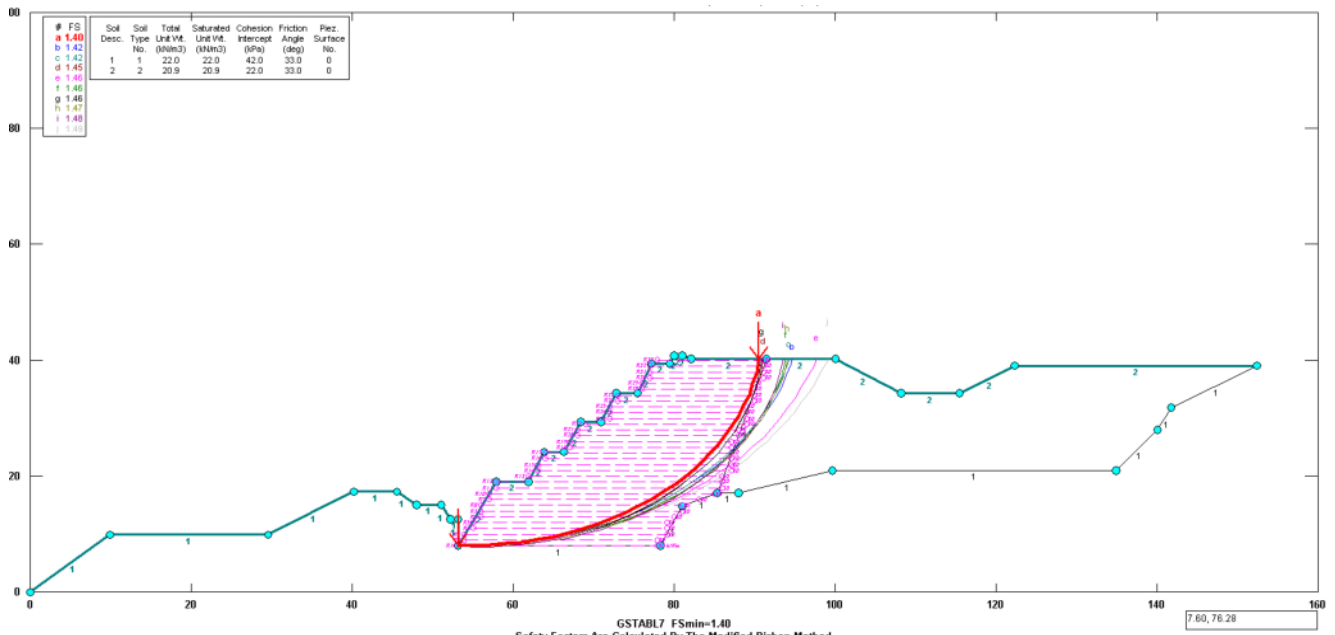
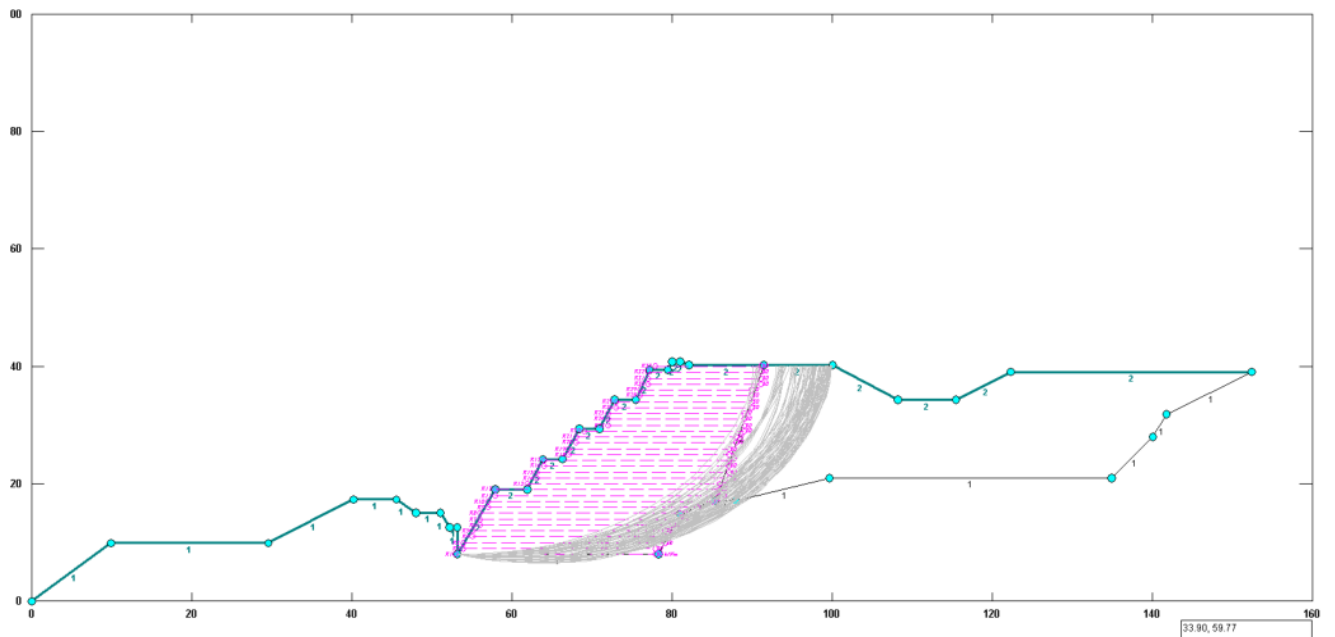


Figura 23: Risultati Sezione 36 (D.M. 16/01/1996 – analisi statica)



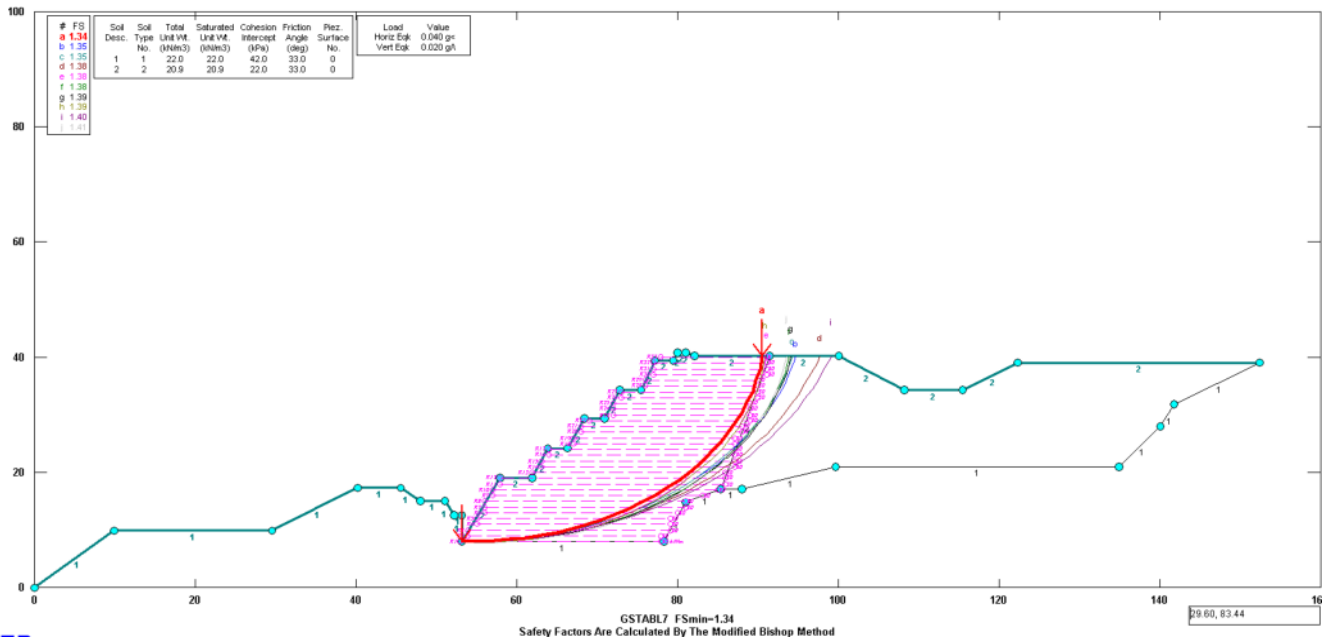


Figura 24: Risultati Sezione 36 (D.M. 16/01/1996 – analisi sismica)

La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 36 risultano tutte soddisfatte.

Normativa	FS	Verifica
D.M. 16/01/1996	Statica FS = 1,40 > 1,3	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,34 > 1,1	Soddisfatta

### 6.4.2 Analisi secondo NTC 2018

In base a quanto previsto dalla normativa NTC18, le verifiche devono essere effettuate secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2).

Per la verifica statica i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno sono riportati nella tabella seguente:

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_{M1}$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\psi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25

Tabella 16: tab 6.2 II “Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno” - D.M. 17.01.18



Le resistenze invece, sono calcolate con un coefficiente parziale pari a 1,1.

Per le analisi sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri caratteristici vengono posti pari all'unità come da riferimento normativo. Il coefficiente sulle resistenze invece, è pari a 1,2.

Il fattore di sicurezza che viene così calcolato deve risultare superiore all'unità.

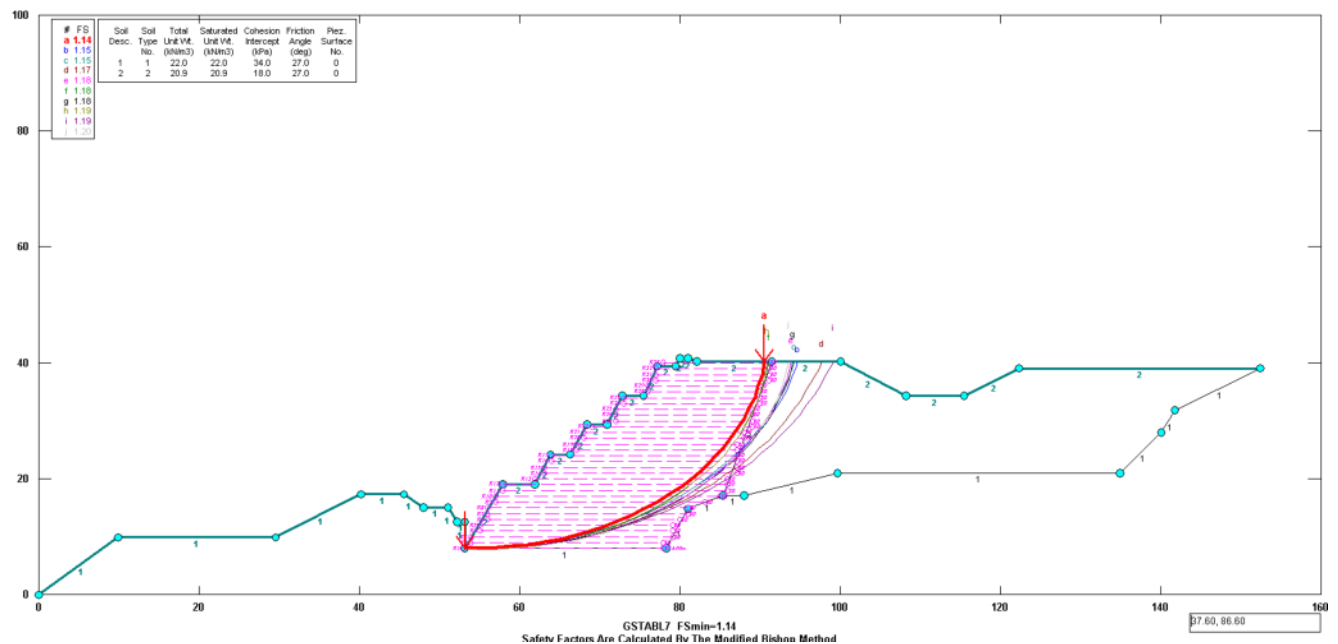
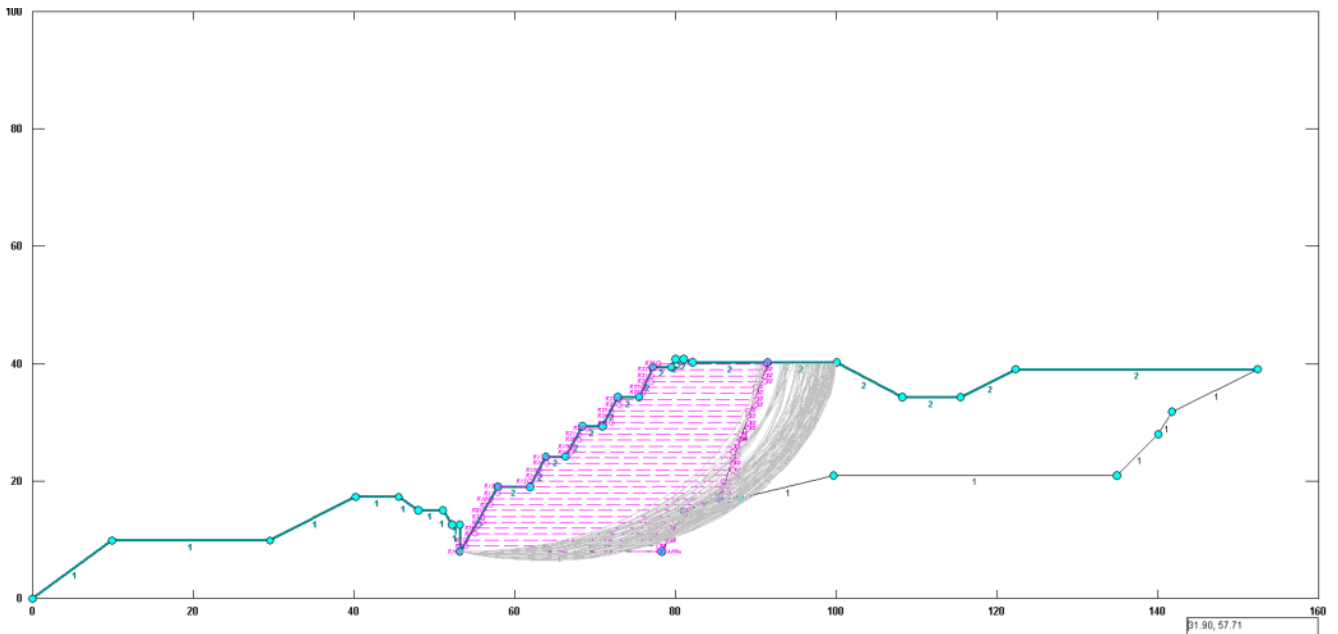


Figura 25: Risultati Sezione 36 (D.M. 17/01/2018-analisi statica)

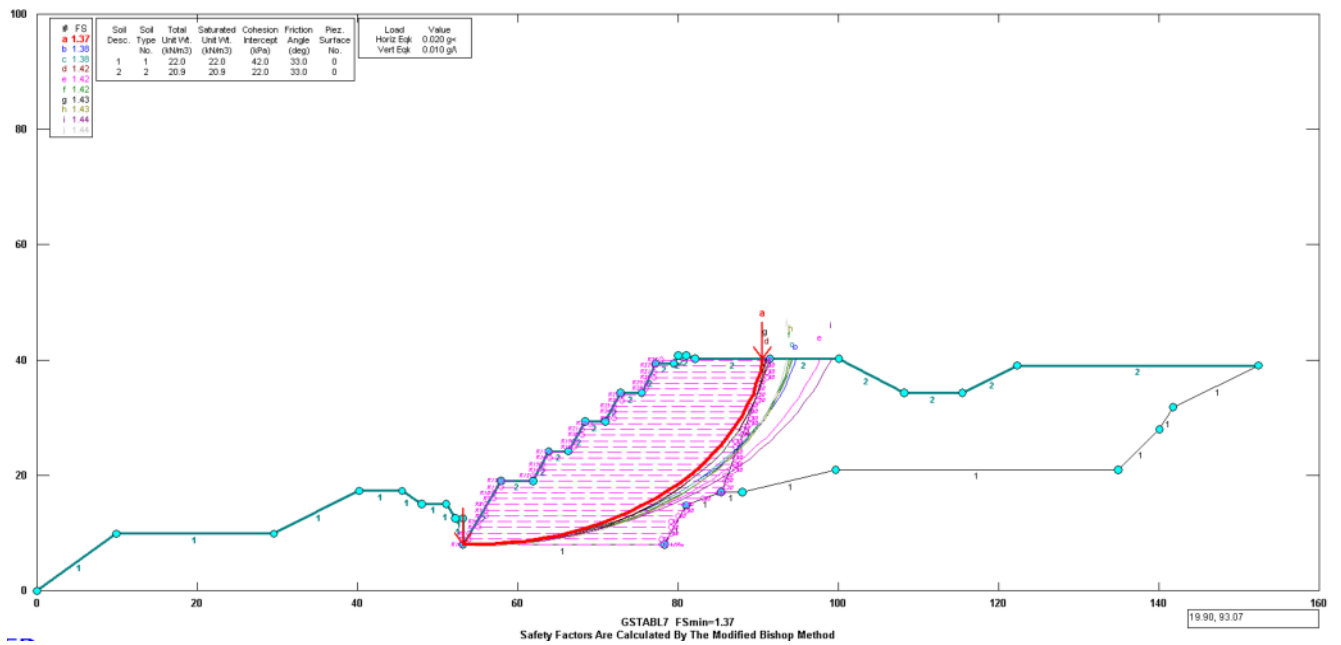
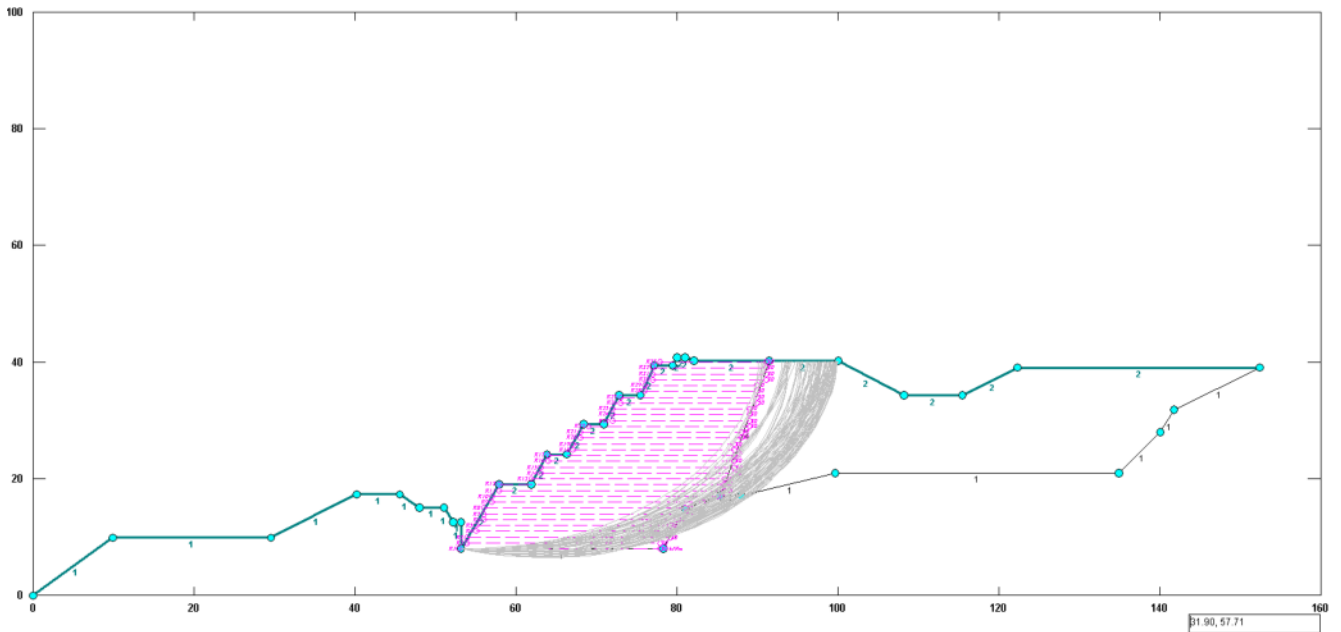


Figura 26: Risultati Sezione 36 (D.M. 17/01/2018-analisi sismica)

La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 36 risultano tutte soddisfatte.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021 <span style="float: right;">Foglio 51 di 70</span>

Normativa	FS	Verifica
NTC2018	Statica FS = 1,14/1,1=1,04 > 1	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,37/1,2=1,14 > 1	Soddisfatta

## 6.5 Risultati analisi Sezione 24 – Dicembre 2020

### 6.5.1 Analisi secondo D.M. 16/01/1996

Le verifiche di stabilità globale sono state condotte in accordo al D.M. 16/01/1996 e secondo quanto prescritto dal D.M. 11/03/1988. In particolare, il D.M. 11/03/1988 al punto E.3 (*Manufatti di materiali sciolti - Criteri di progetto*) prescrive che per i rilevati in condizioni statiche il coefficiente di sicurezza, riferito alla stabilità del sistema manufatto-terreno di fondazione, non deve risultare inferiore a 1.3.

Analogamente, per le verifiche di stabilità dei fronti di scavo (punto G.3.2 – *Fronti di scavo - Criteri di progetto e calcolo di stabilità*), nel caso di terreni omogenei e nei quali le pressioni neutre siano note con sufficiente attendibilità, il coefficiente di sicurezza non deve essere minore di 1.3.

Pertanto, le verifiche di stabilità del pendio sono state condotte in condizioni statiche, considerando un coefficiente di sicurezza di 1.3.

Per quanto riguarda la condizione sismica la normativa indica che il valore del coefficiente di sicurezza sarà assunto dal progettista e giustificato sulla base delle considerazioni relative al livello di conoscenze raggiunto ed al grado di affidabilità dei dati disponibili, alla complessità della situazione geologica e geotecnica, alla esperienza locale su pendii naturali in situazioni simili, nonché alle conseguenze di un'eventuale frana.

Si ritiene opportuno, in base a quanto sopra, assumere un fattore di sicurezza in condizione sismica pari ad 1.1.

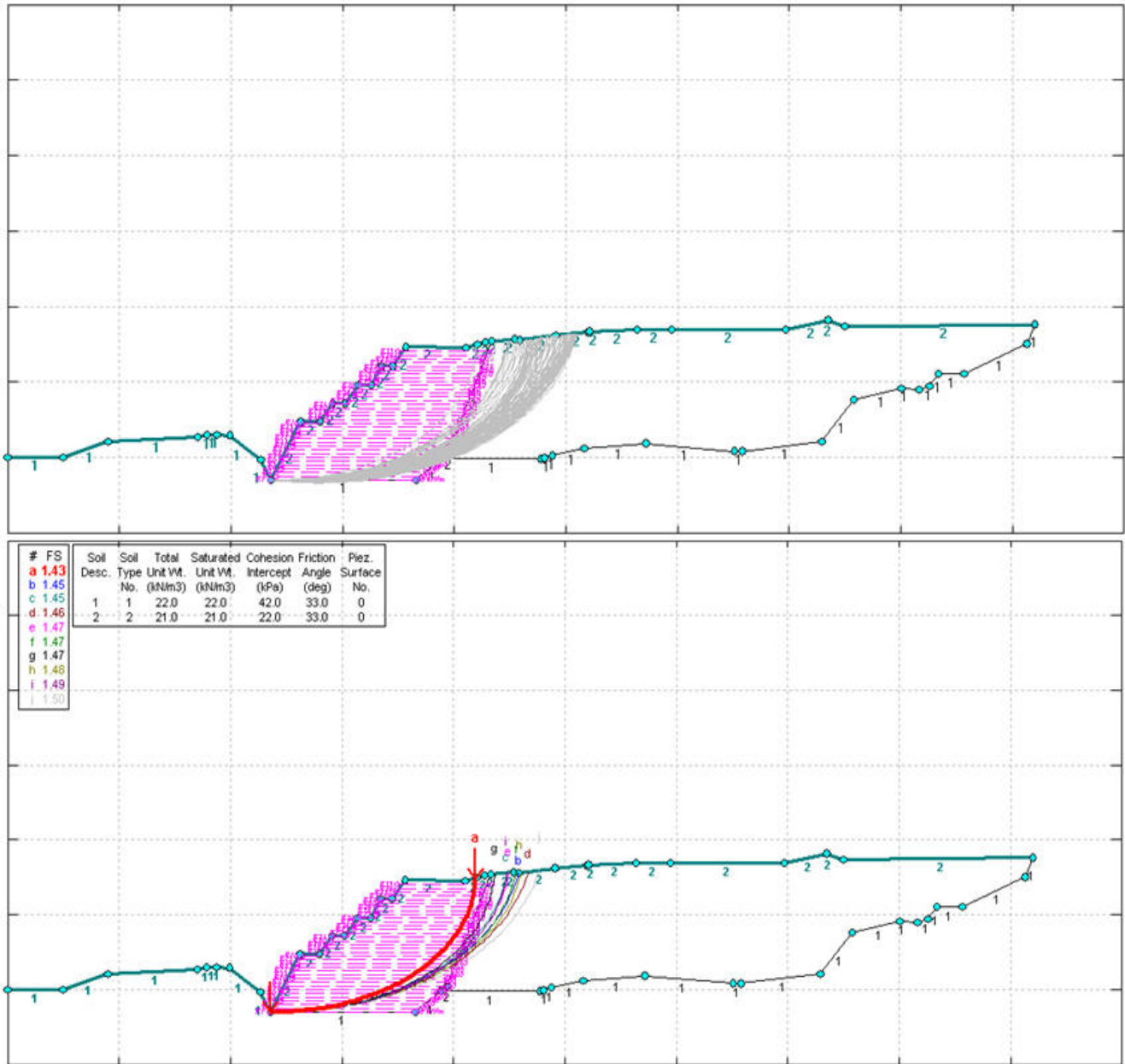


Figura 27: Risultati Sezione 24 (D.M. 16/01/1996 – analisi statica)

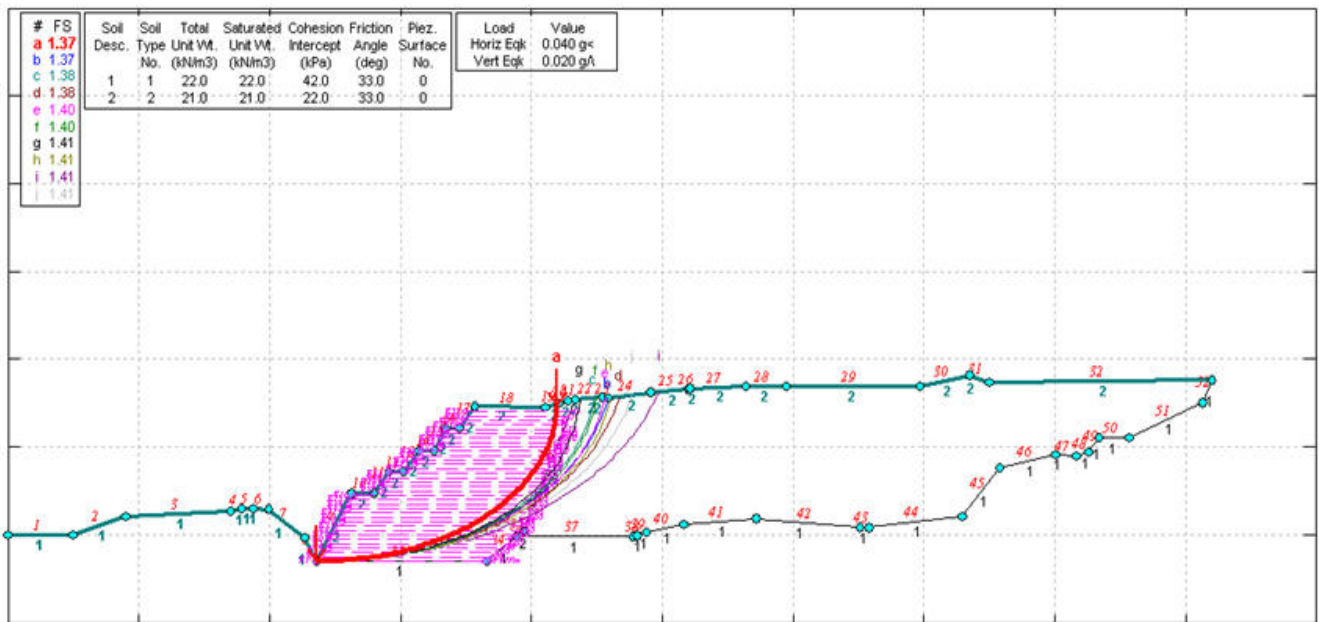
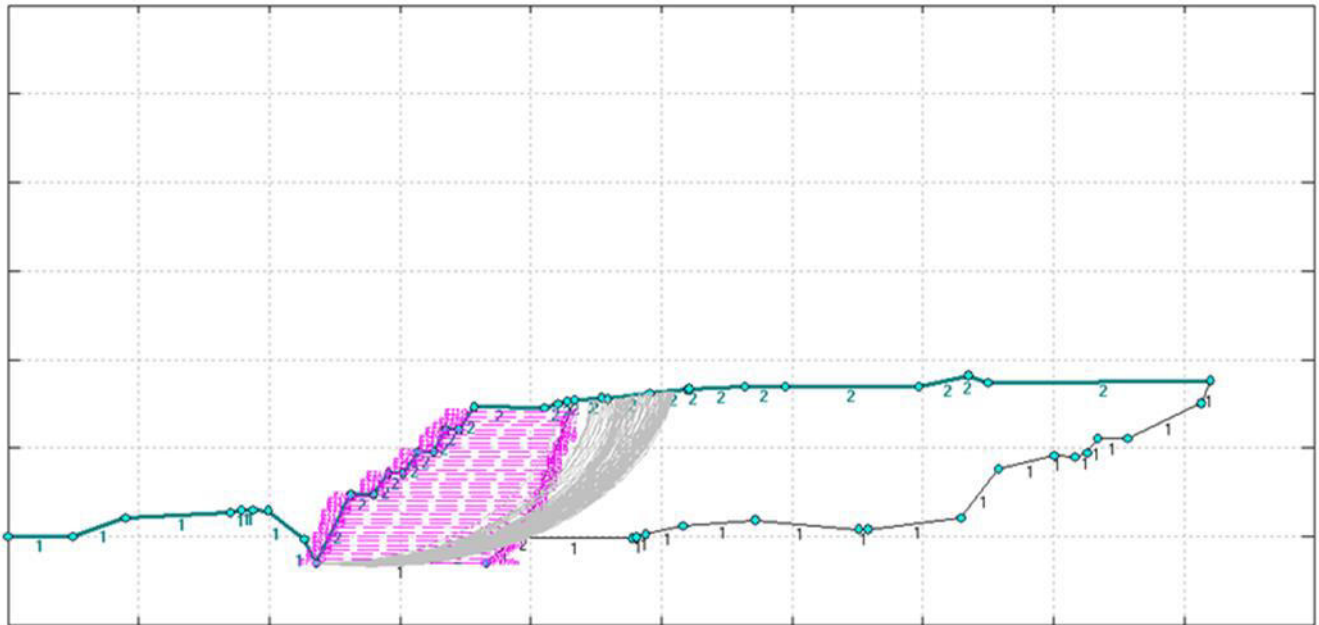


Figura 28: Risultati Sezione 24 (D.M. 16/01/1996 – analisi sismica)

Normativa	FS	Verifica
D.M. 16/01/1996	Statica FS = 1,43 > 1,3	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,37 > 1,1	Soddisfatta

### 6.5.2 Analisi secondo NTC 2018

In base a quanto previsto dalla normativa NTC18, le verifiche devono essere effettuate secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2).

Per la verifica statica i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno sono riportati nella tabella seguente:

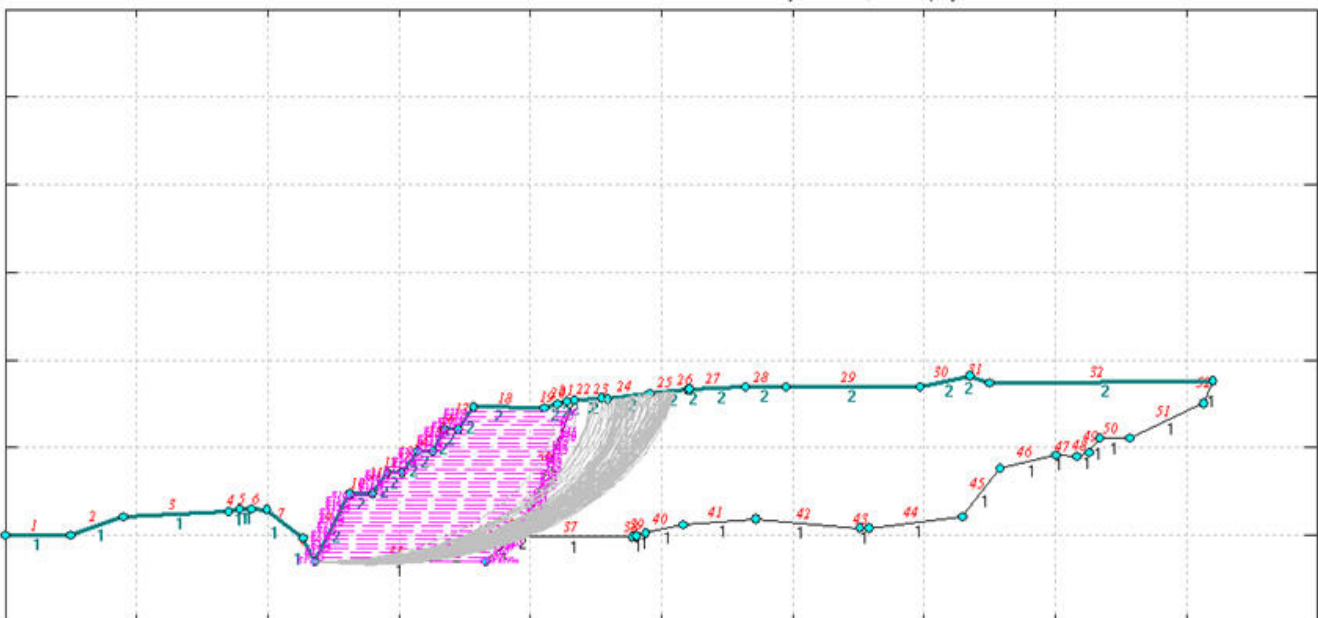
Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25

Tabella 17: tab 6.2 II “Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno” - D.M. 17.01.18

Le resistenze invece, sono calcolate con un coefficiente parziale pari a 1,1.

Per le analisi sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri caratteristici vengono posti pari all'unità come da riferimento normativo. Il coefficiente sulle resistenze invece, è pari a 1,2.

Il fattore di sicurezza che viene così calcolato deve risultare superiore all'unità.



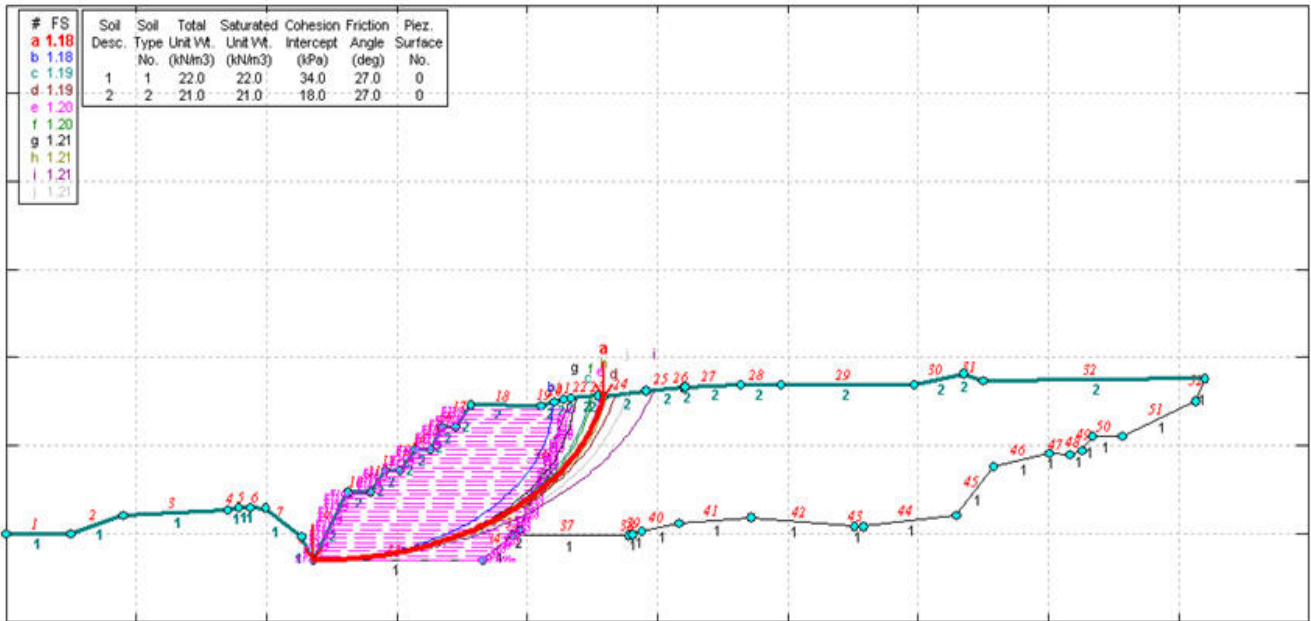
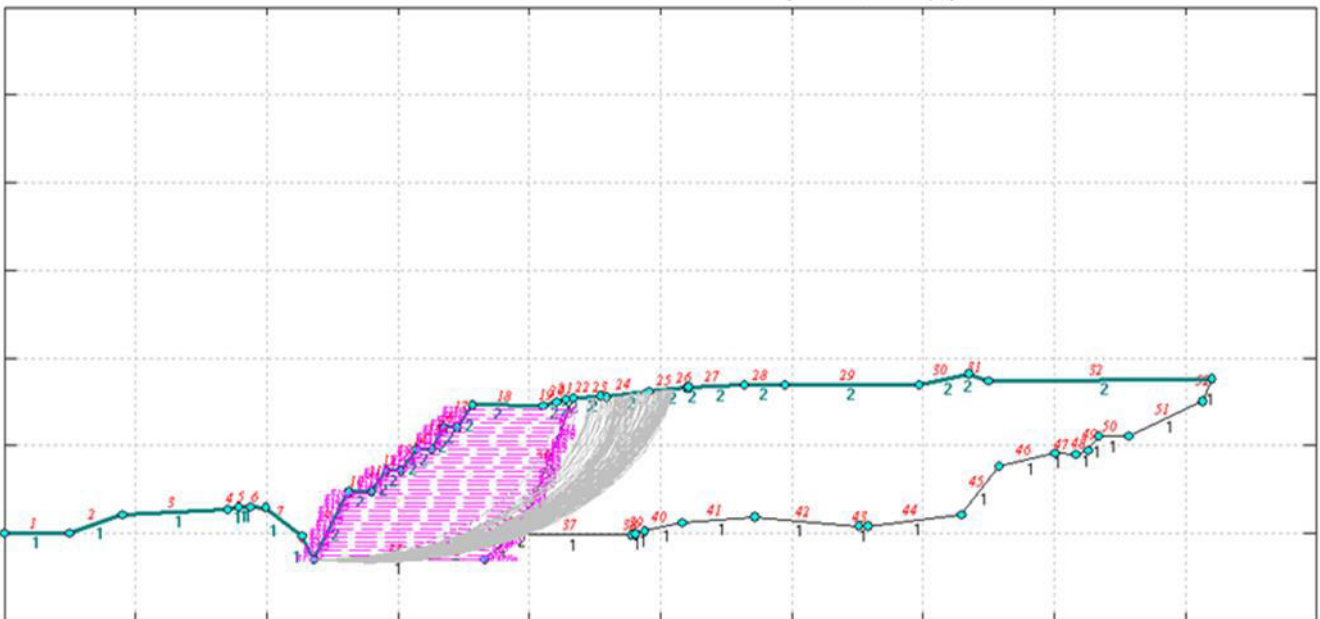


Figura 29: Risultati Sezione 24 (D.M. 17/01/2018-analisi statica)



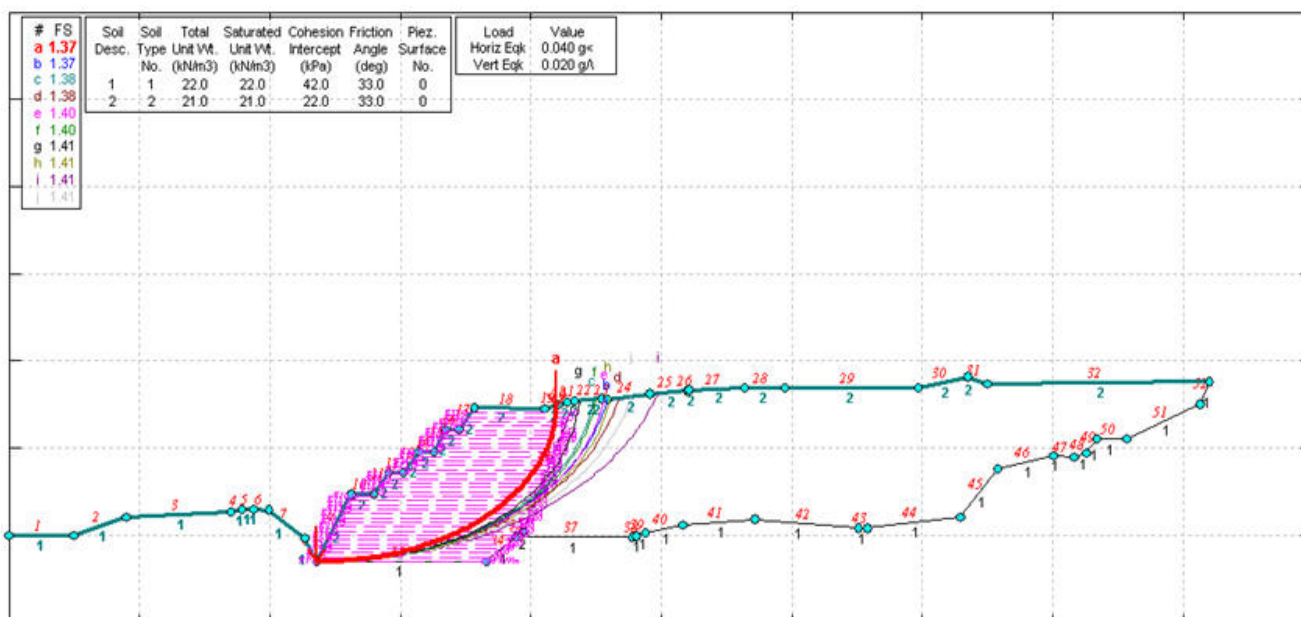


Figura 30: Risultati Sezione 24 (D.M. 17/01/2018-analisi sismica)

La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 24 risultano tutte soddisfatte.

Normativa	FS	Verifica
NTC2018	Statica FS = 1,18/1,1=1,08 > 1	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,37/1,2=1,14 > 1	Soddisfatta

## 6.6 Risultati analisi Sezione 36 – Dicembre 2020

### 6.6.1 Analisi secondo D.M. 16/01/1996

Le verifiche di stabilità globale sono state condotte in accordo al D.M. 16/01/1996 e secondo quanto prescritto dal D.M. 11/03/1988. In particolare, il D.M. 11/03/1988 al punto E.3 (*Manufatti di materiali sciolti - Criteri di progetto*) prescrive che per i rilevati in condizioni statiche il coefficiente di sicurezza, riferito alla stabilità del sistema manufatto-terreno di fondazione, non deve risultare inferiore a 1.3.

Analogamente, per le verifiche di stabilità dei fronti di scavo (punto G.3.2 – *Fronti di scavo - Criteri di progetto e calcolo di stabilità*), nel caso di terreni omogenei e nei quali le pressioni neutre siano note con sufficiente attendibilità, il coefficiente di sicurezza non deve essere minore di 1.3.

Pertanto, le verifiche di stabilità del pendio sono state condotte in condizioni statiche, considerando un coefficiente di sicurezza di 1.3.



Per quanto riguarda la condizione sismica la normativa indica che il valore del coefficiente di sicurezza sarà assunto dal progettista e giustificato sulla base delle considerazioni relative al livello di conoscenze raggiunto ed al grado di affidabilità dei dati disponibili, alla complessità della situazione geologica e geotecnica, alla esperienza locale su pendii naturali in situazioni simili, nonché alle conseguenze di un'eventuale frana.

Si ritiene opportuno, in base a quanto sopra, assumere un fattore di sicurezza in condizione sismica pari ad 1.1.

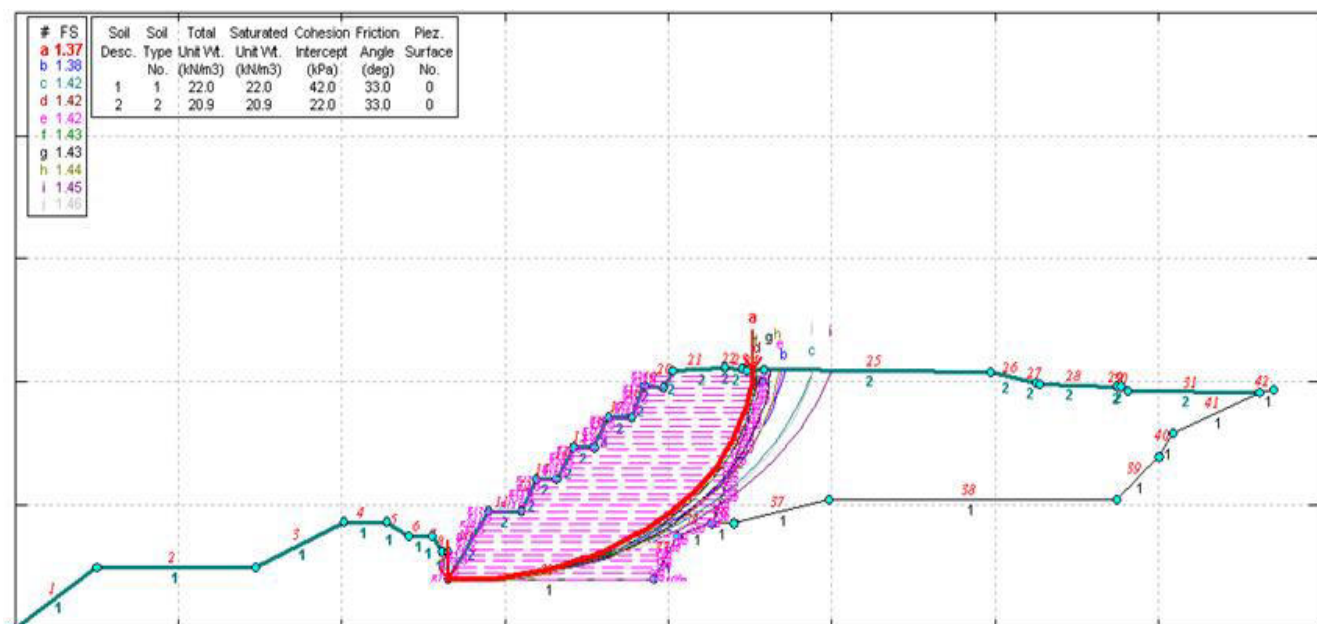
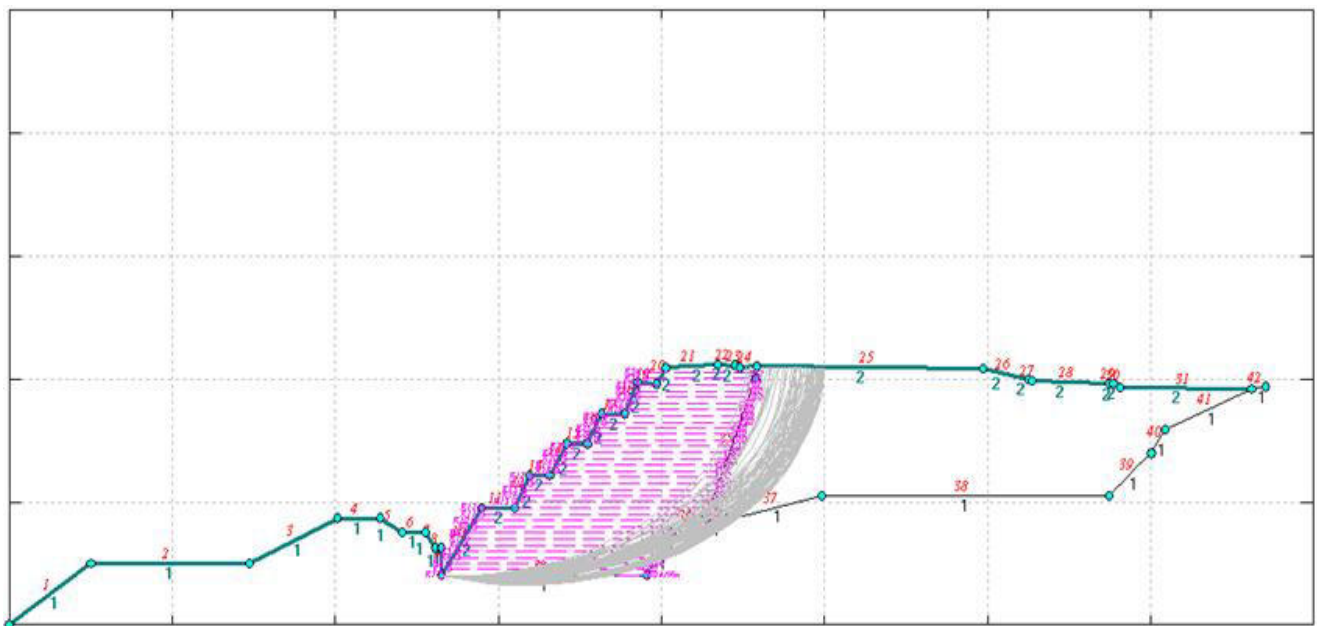


Figura 31: Risultati Sezione 36 (D.M. 16/01/1996 – analisi statica)

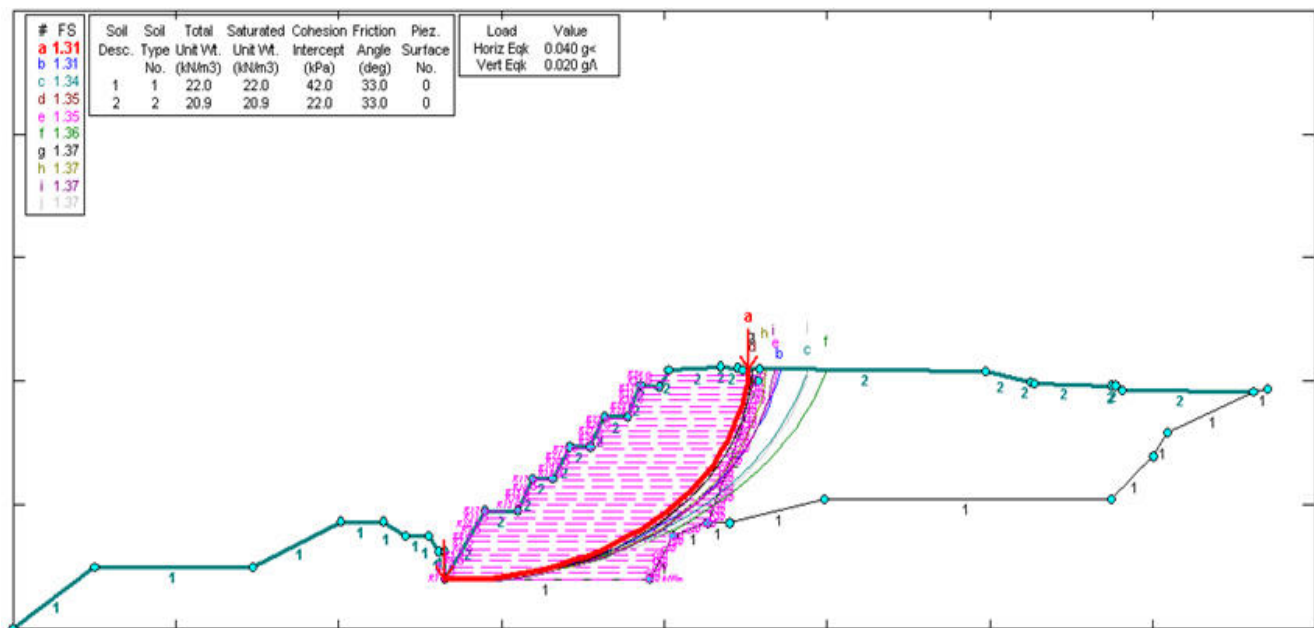
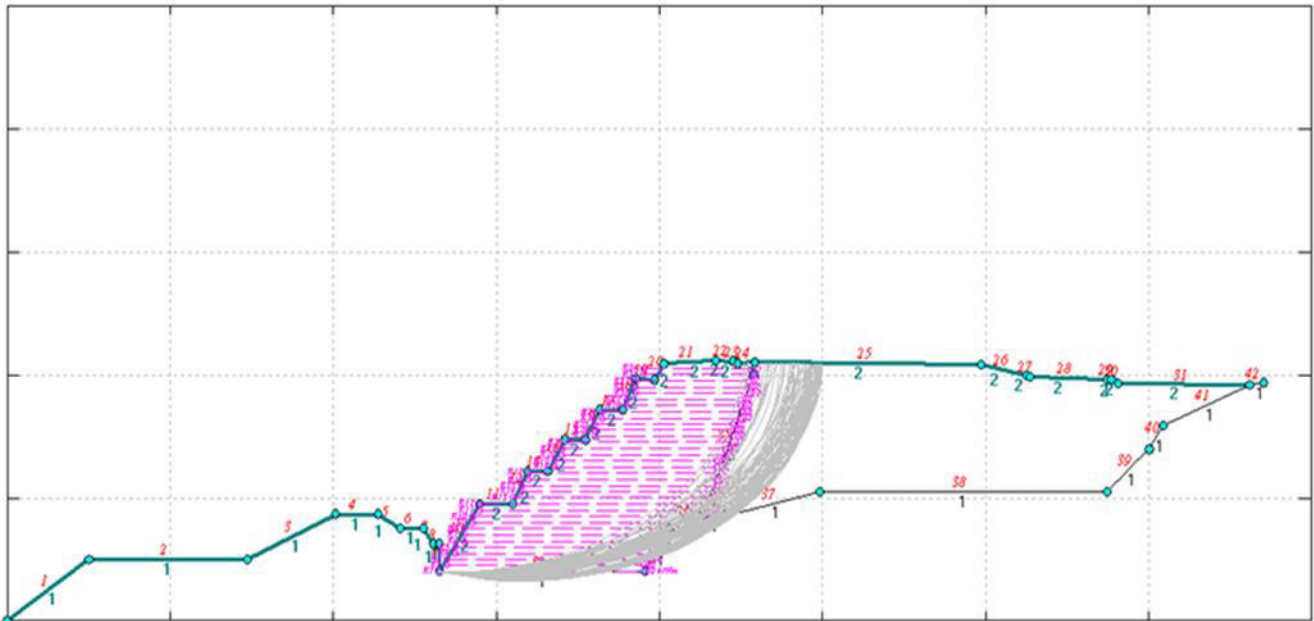


Figura 32: Risultati Sezione 36 (D.M. 16/01/1996 – analisi sismica)

Normativa	FS	Verifica
D.M. 16/01/1996	Statica FS = 1,37 > 1,3	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,31 > 1,1	Soddisfatta

La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 36 risultano tutte soddisfatte.

### 6.6.2 Analisi secondo NTC 2018

In base a quanto previsto dalla normativa NTC18, le verifiche devono essere effettuate secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2).

Per la verifica statica i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno sono riportati nella tabella seguente:

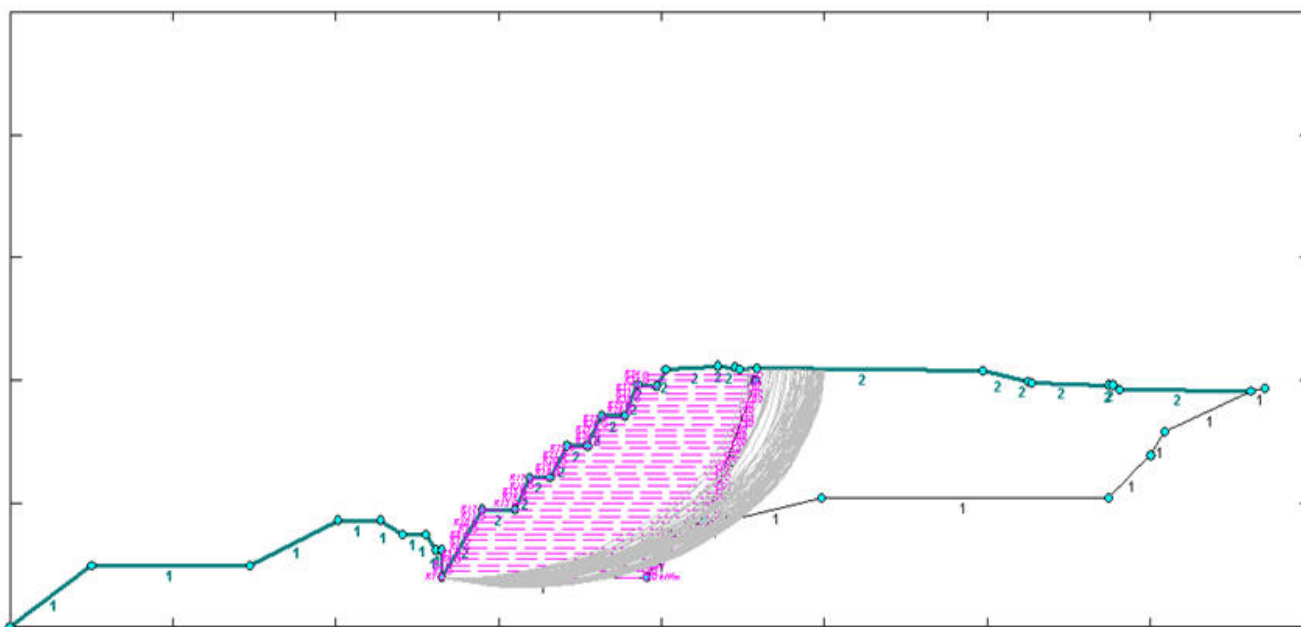
Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25

Tabella 18: tab 6.2 II “Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno” - D.M. 17.01.18

Le resistenze invece, sono calcolate con un coefficiente parziale pari a 1,1.

Per le analisi sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri caratteristici vengono posti pari all'unità come da riferimento normativo. Il coefficiente sulle resistenze invece, è pari a 1,2.

Il fattore di sicurezza che viene così calcolato deve risultare superiore all'unità.



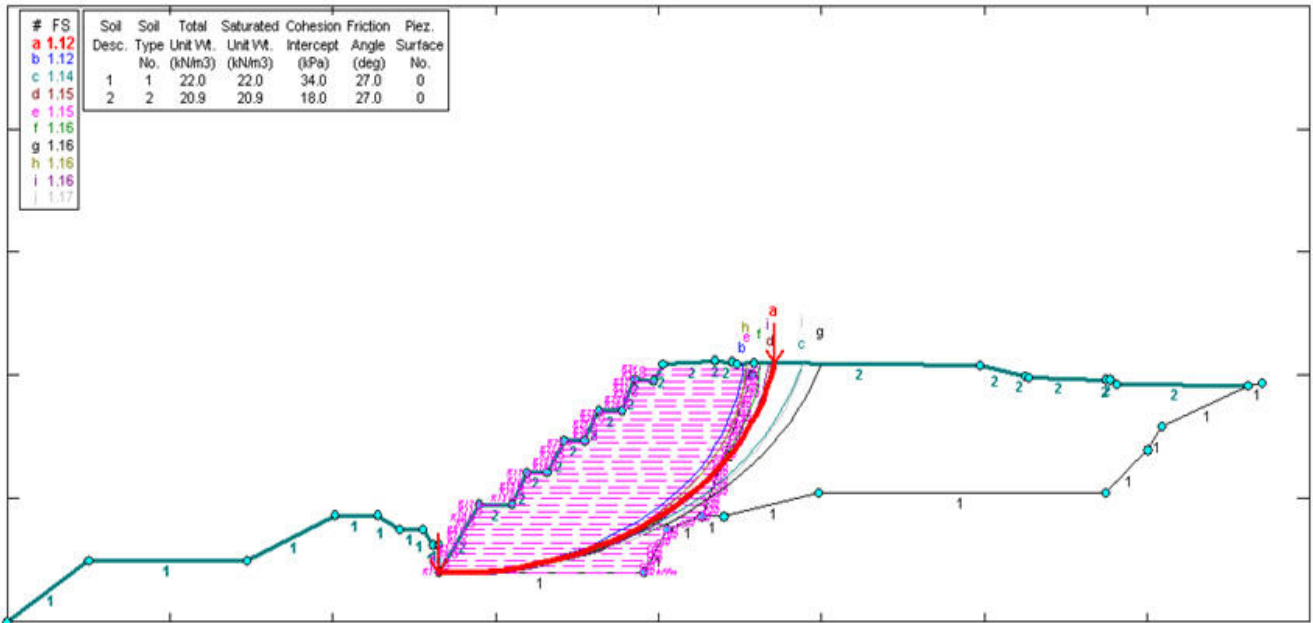
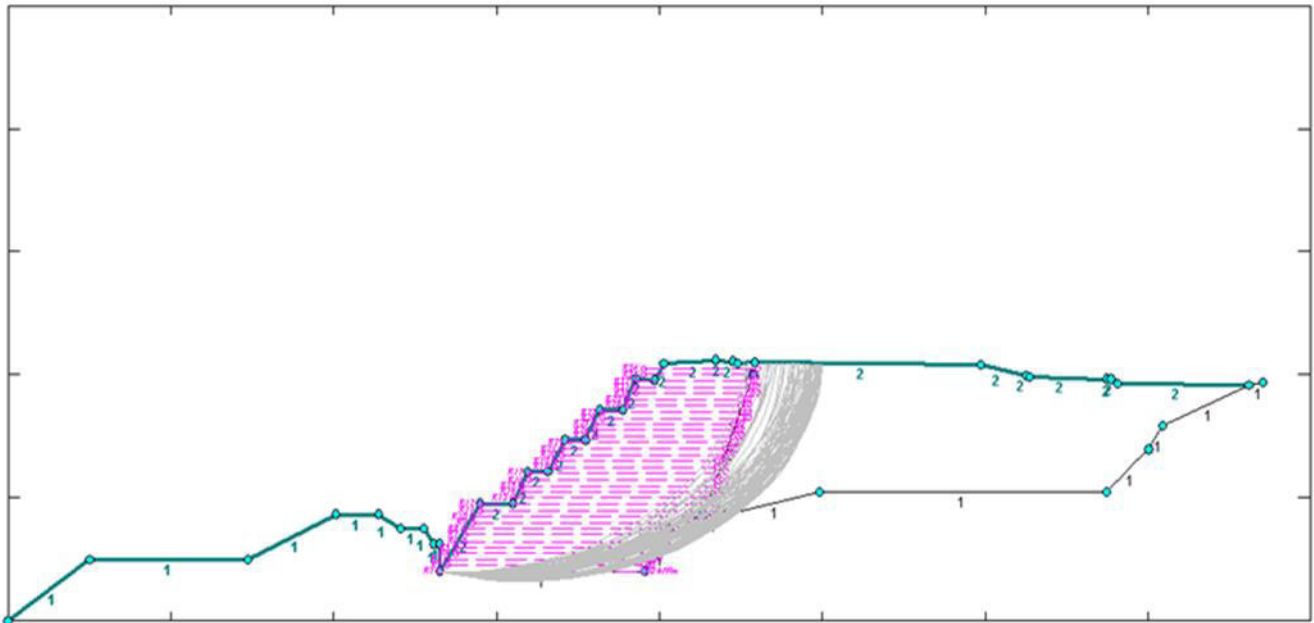


Figura 33: Risultati Sezione 36 (D.M. 17/01/2018-analisi statica)



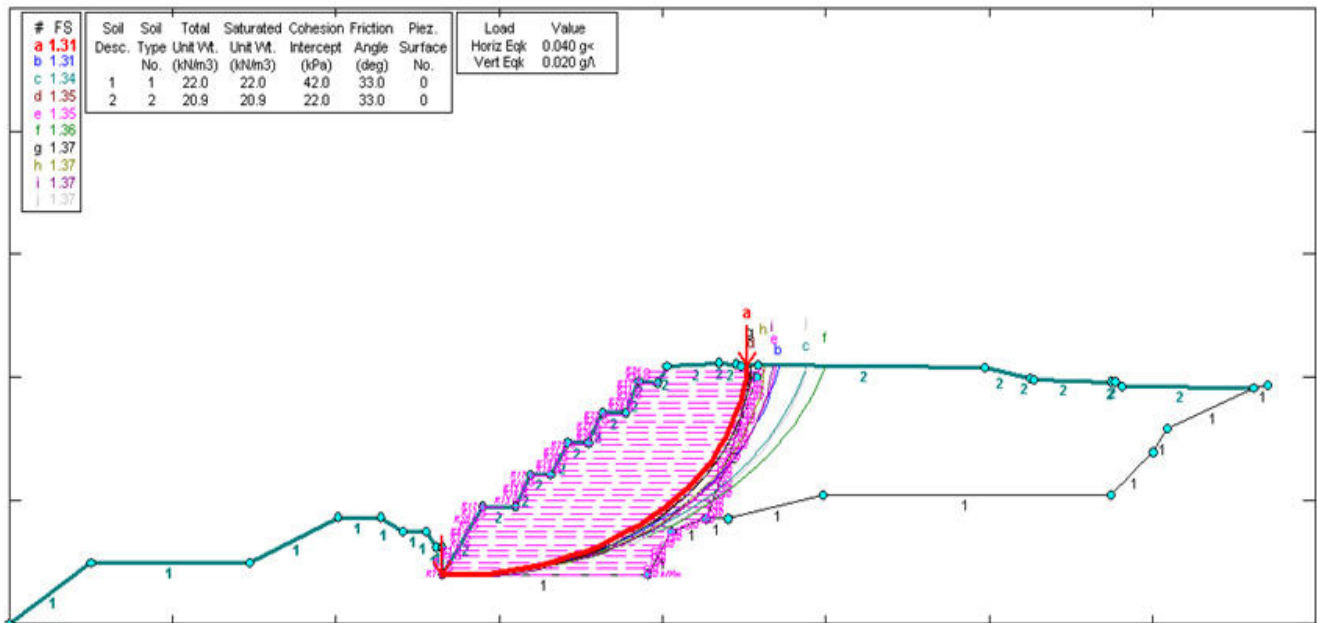


Figura 34: Risultati Sezione 36 (D.M. 17/01/2018-analisi sismica)

La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 36 risultano tutte soddisfatte.

Normativa	FS	Verifica
NTC2018	Statica FS = 1,12/1,1=1,02 > 1	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,31/1,2=1,09 > 1	Soddisfatta

## 6.7 Risultati analisi Sezione 24 – Novembre 2021

### 6.7.1 Analisi secondo D.M. 16/01/1996

Si riporta i grafici dei risultati ottenuti:

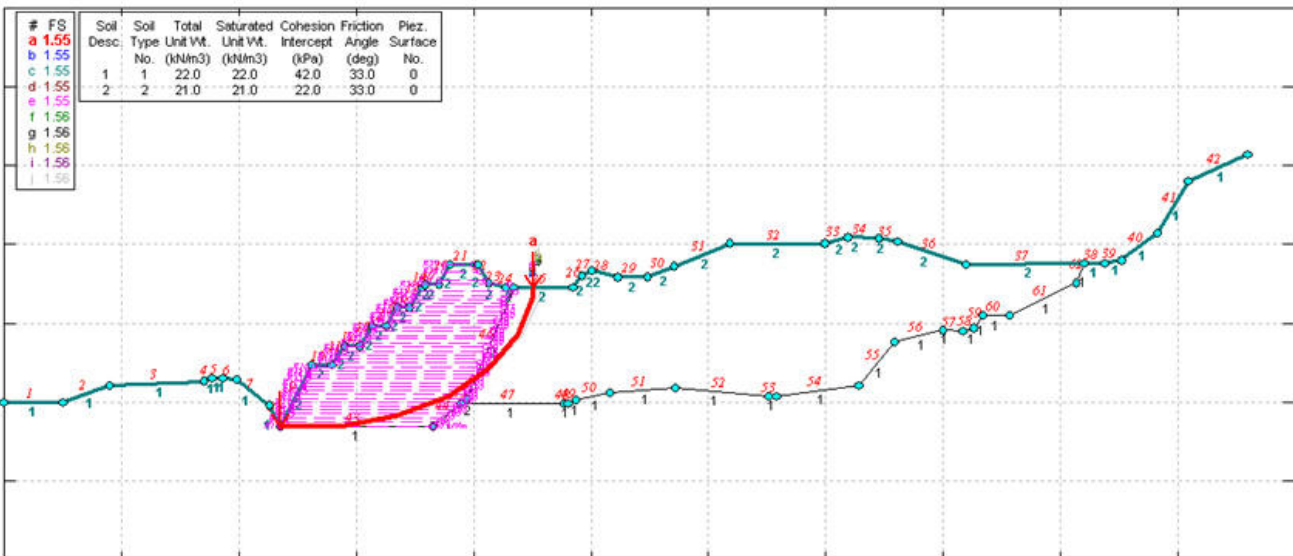
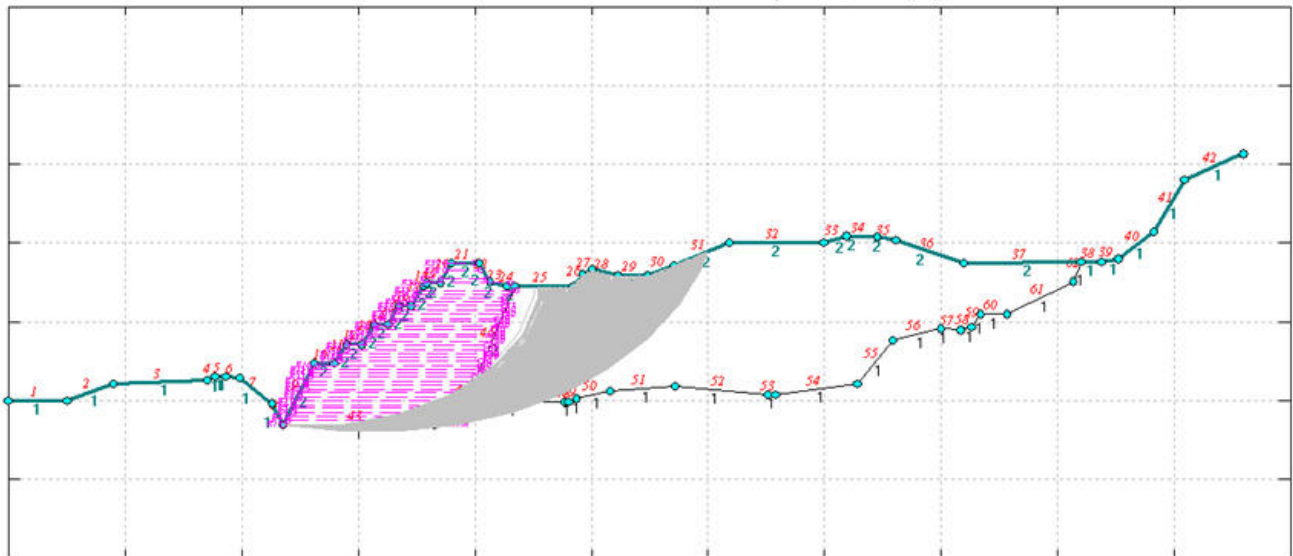


Figura 35: Risultati Sezione 24 (D.M. 16/01/1996 – analisi statica)

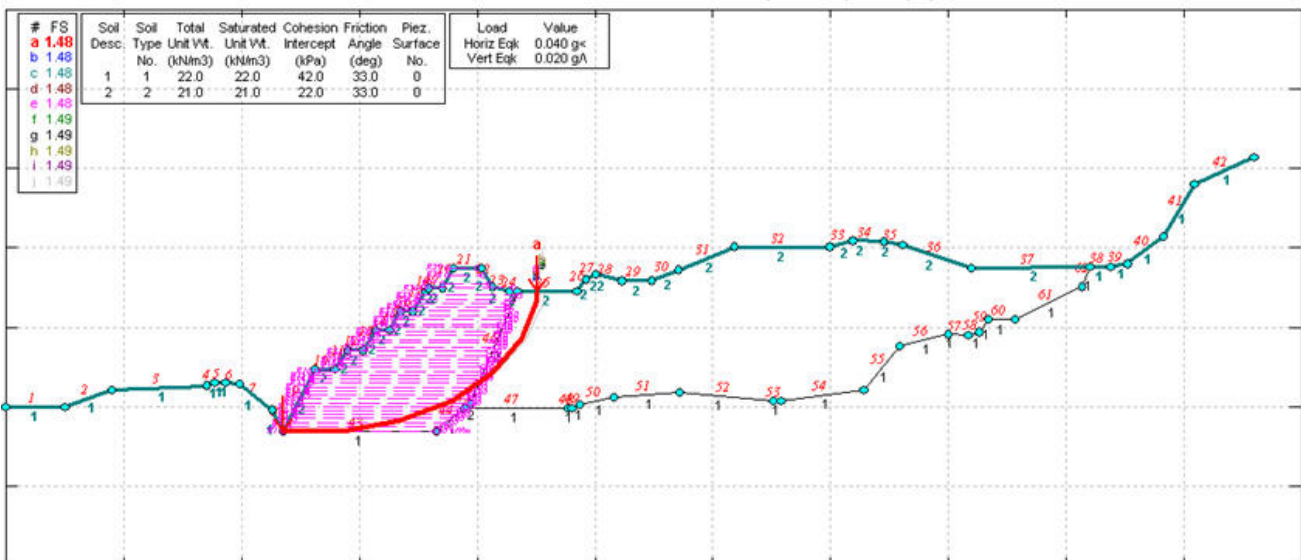
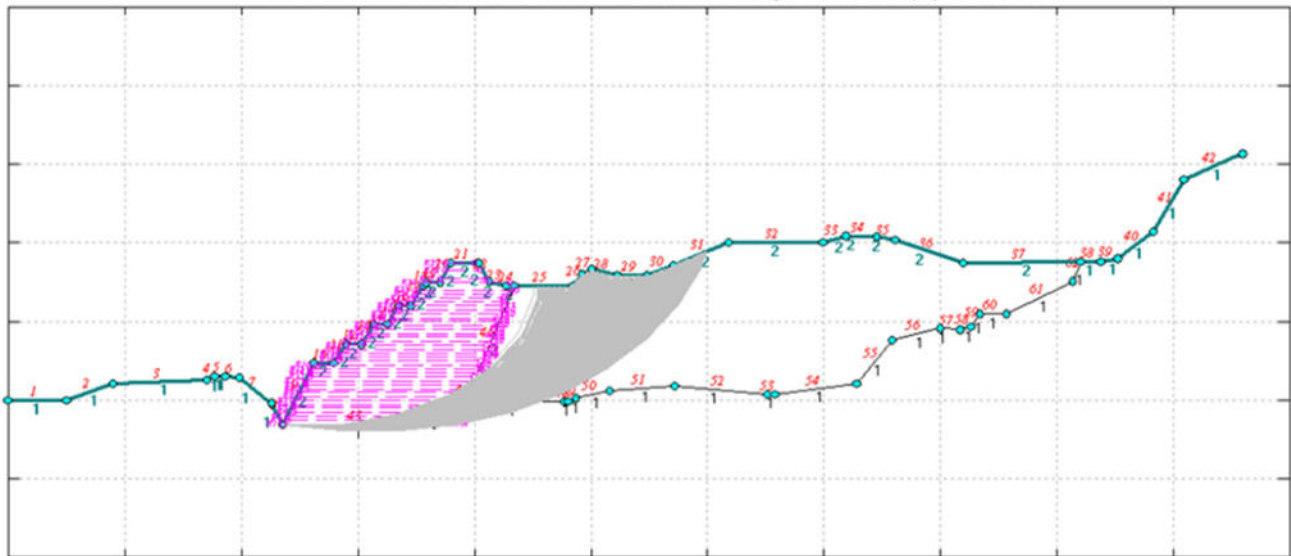


Figura 36: Risultati Sezione 24 (D.M. 16/01/1996 – analisi sismica)

La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 24 risultano tutte soddisfatte secondo la D.M. 16/01/1996.

Normativa	FS	Verifica
D.M. 16/01/1996	Statica FS = 1,55 > 1,3	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,48 > 1,1	Soddisfatta

### 6.7.2 Analisi secondo NTC 2018

Si riporta i grafici dei risultati ottenuti:

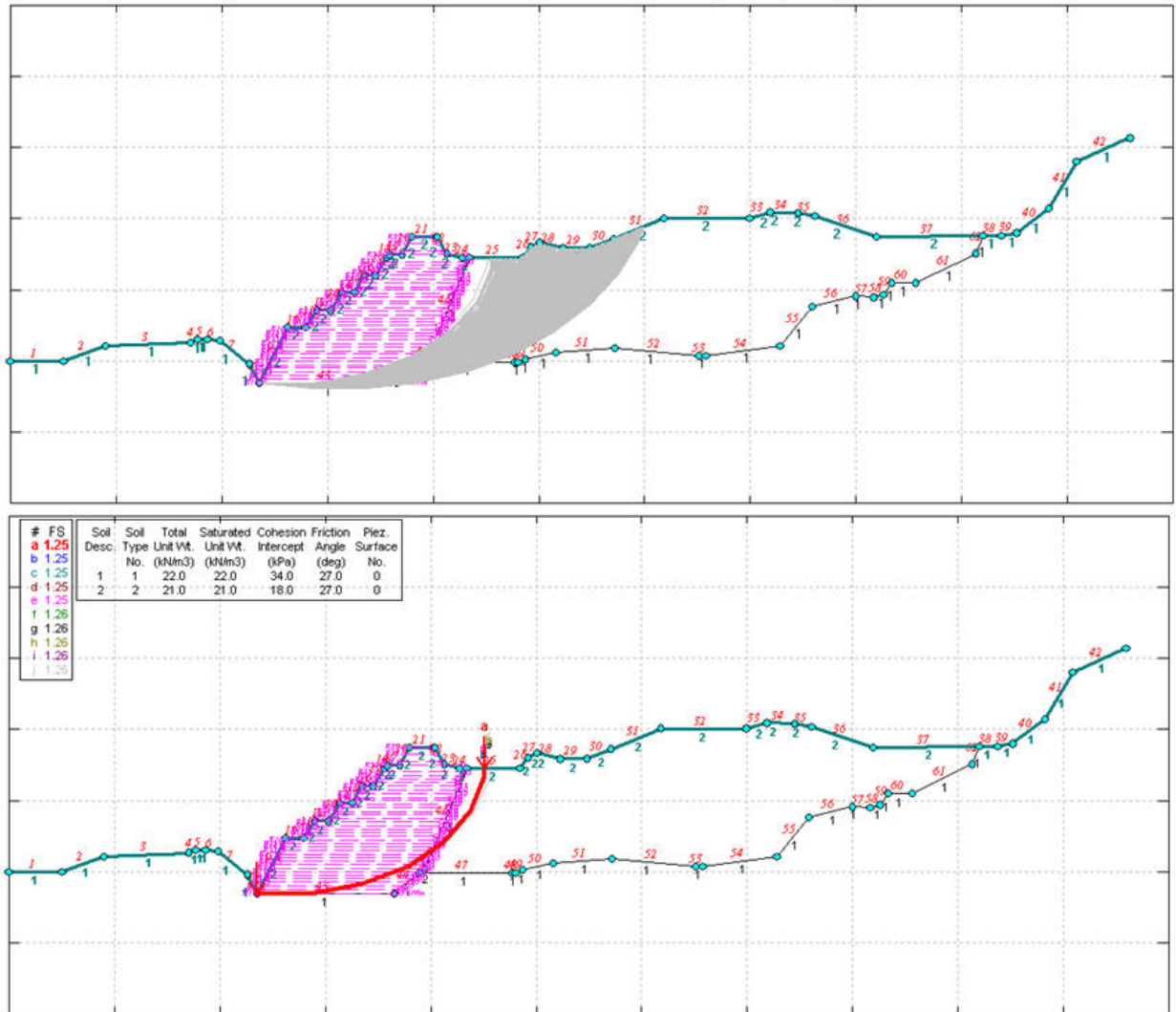


Figura 37: Risultati Sezione 24 (D.M. 17/01/2018– analisi statica)



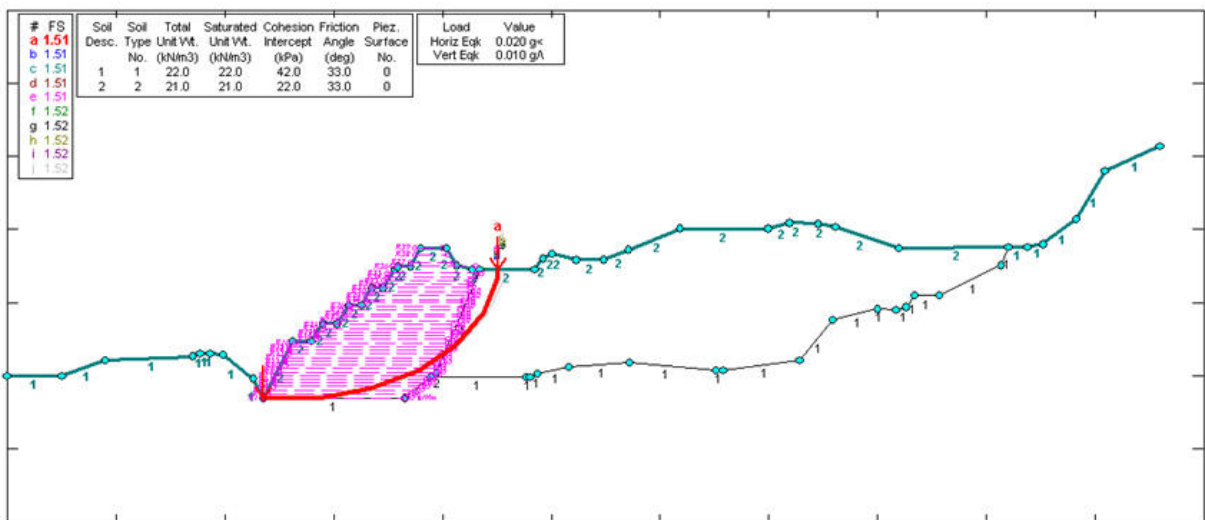
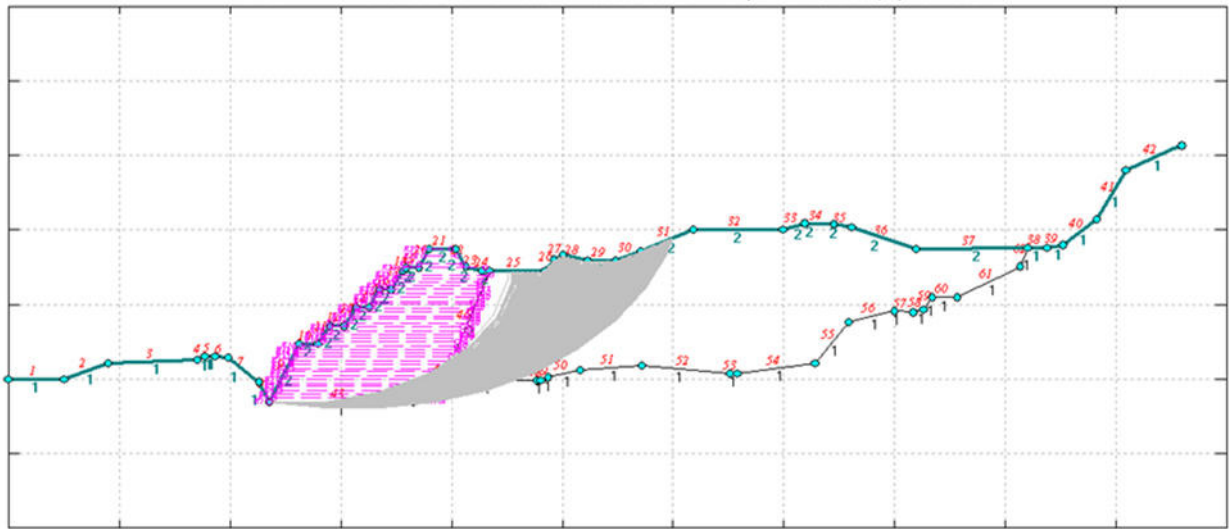


Figura 38: Risultati Sezione 24 (D.M. 17/01/2018-analisi sismica)

Normativa	FS	Verifica
NTC2018	Statica FS = 1,25 > 1,1	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,51 > 1,2	Soddisfatta

La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 24 risultano tutte soddisfatte secondo la D.M. 17/01/2018.

## 6.8 Risultati analisi Sezione 36 – Novembre 2021

### 6.8.1 Analisi secondo D.M. 16/01/1996

Si riporta i grafici dei risultati ottenuti:

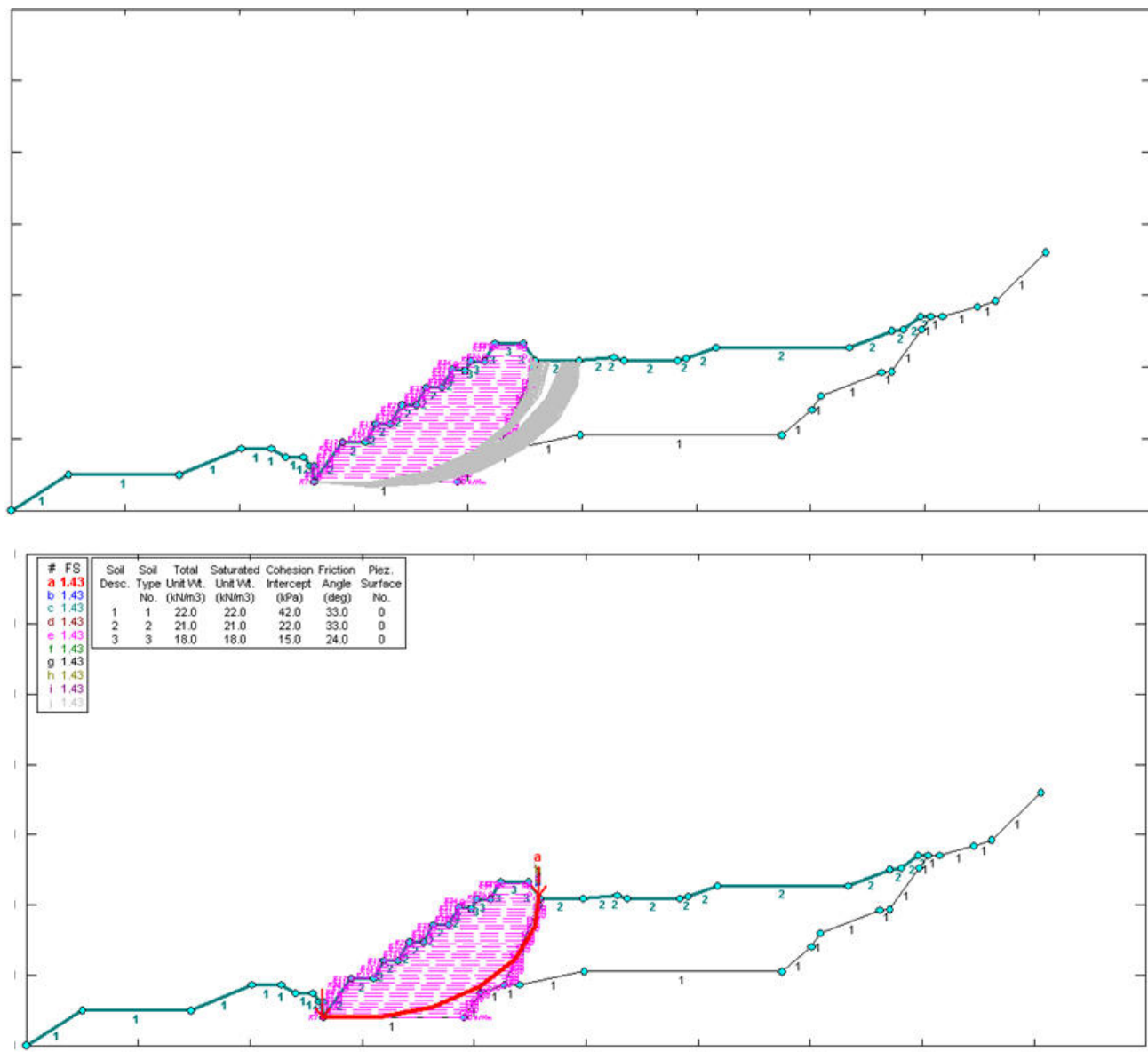


Figura 39: Risultati Sezione 36 (D.M. 16/01/1996 – analisi statica)

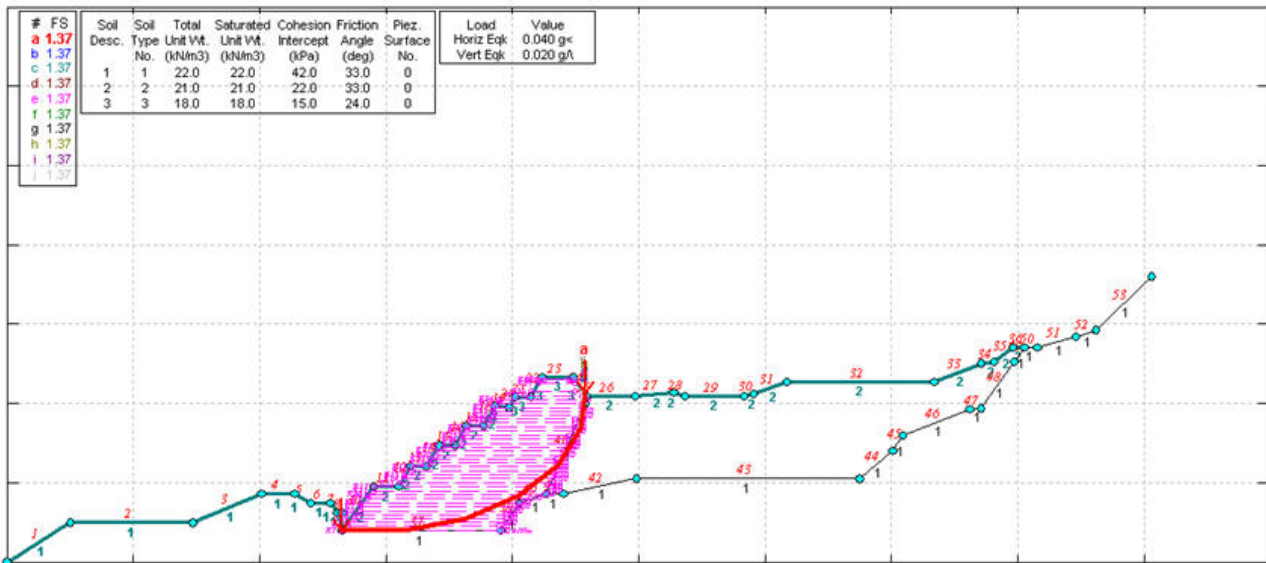
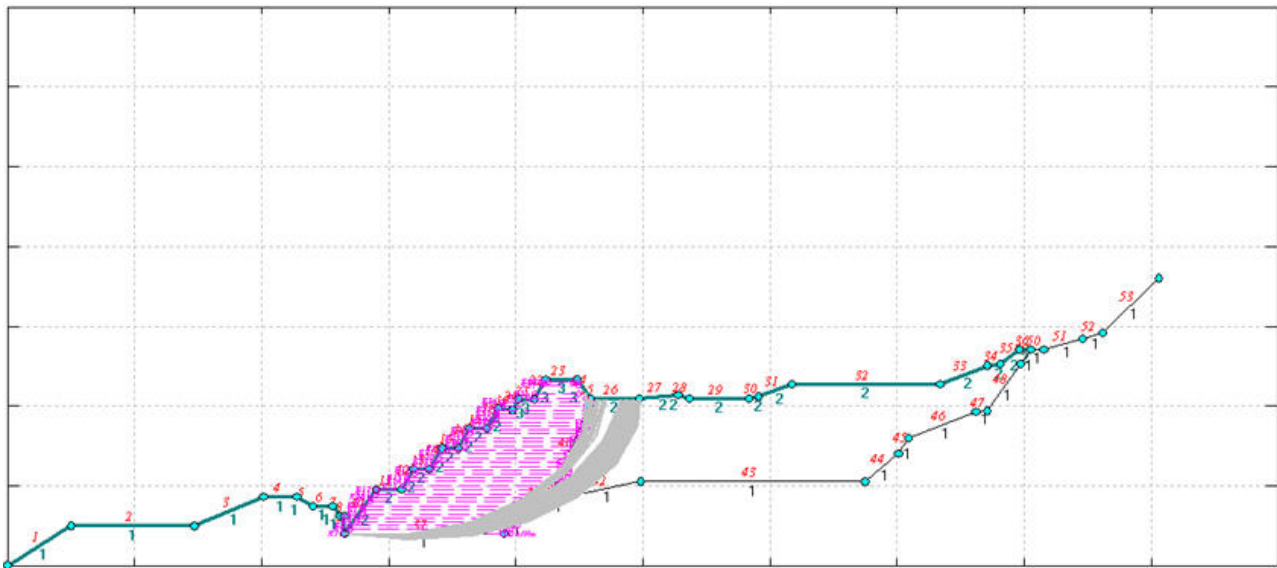


Figura 40: Risultati Sezione 36 (D.M. 16/01/1996 – analisi sismica)

Normativa	FS	Verifica
D.M. 16/01/1996	Statica FS = 1,43 > 1,3	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,37 > 1,1	Soddisfatta

La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 36 risultano tutte soddisfatte secondo la D.M 16/01/1996.

### 6.8.2 Analisi secondo NTC 2018

Si riporta i grafici dei risultati ottenuti:

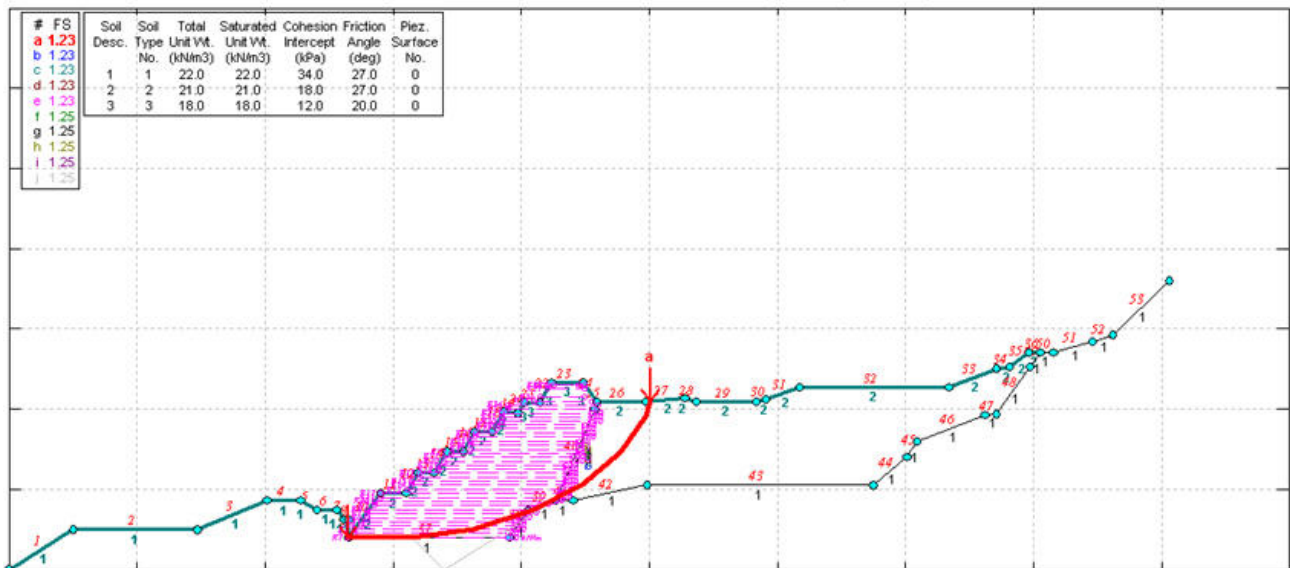
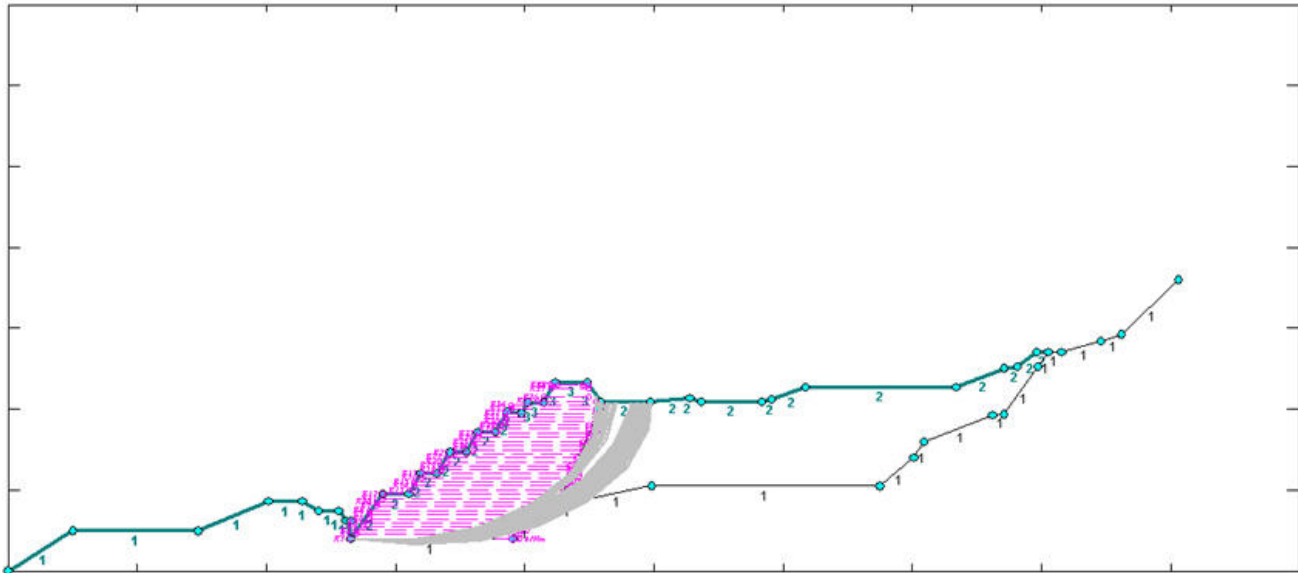


Figura 41: Risultati Sezione 36 (D.M. 17/01/2018-analisi statica)

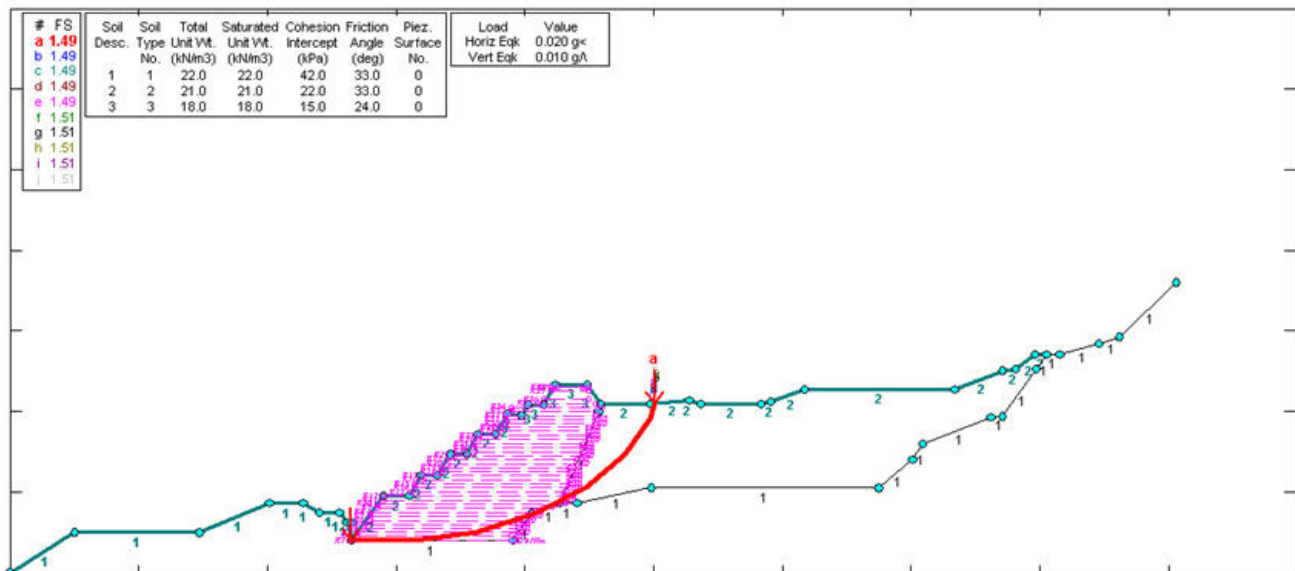
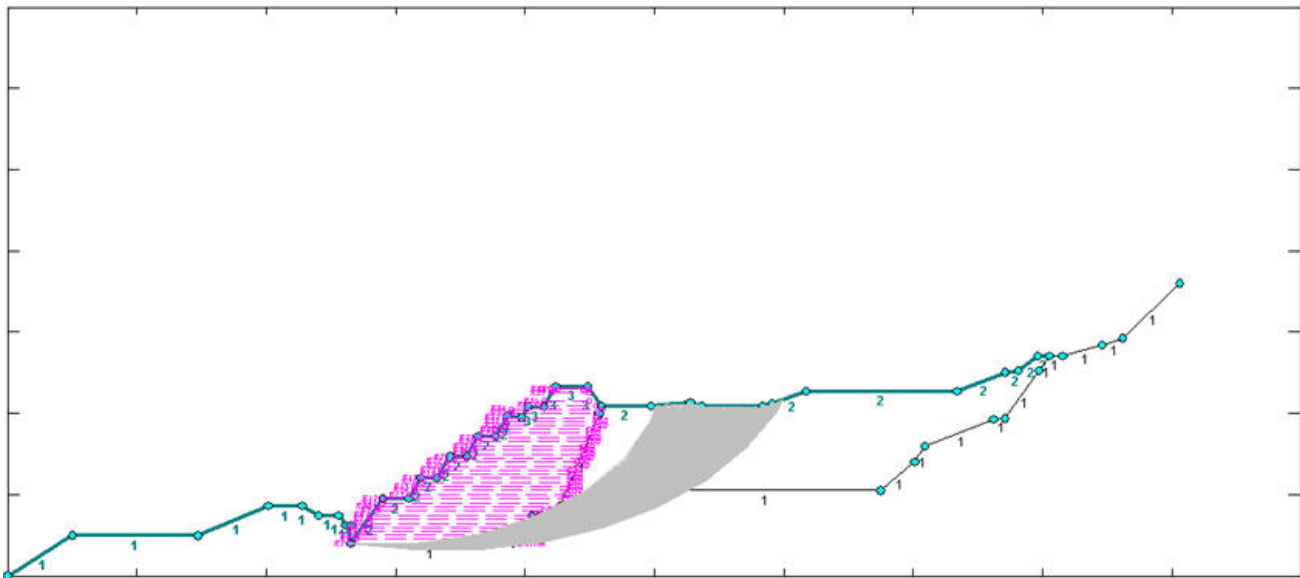


Figura 42: Risultati Sezione 36 (D.M. 17/01/2018-analisi sismica)

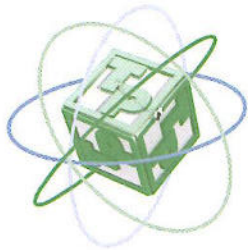
La tabella riassume i risultati delle verifiche, che per la Sezione 36 risultano tutte soddisfatte secondo la D.M 17/01/2018.

Normativa	FS	Verifica
NTC2018	Statica FS = 1,23 > 1,1	Soddisfatta
	Sismica FS = 1,49 > 1,2	Soddisfatta

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-01-X-CV-CL-DP04-00-005-A00.DOCX Verifiche di stabilità deposito – Avanzamento Novembre 2021</p>	<p>Foglio 70 di 70</p>

## 7 CONCLUSIONI

Le verifiche sono tutte soddisfatte da normative considerate.



# TECNO PIEMONTE S.p.A.

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE - SERVIZI PER INGEGNERIA  
AUT. MIN.: INTERNO - SALUTE - SVILUPPO ECONOMICO - ISTRUZIONE UNIVERSITA' E RICERCA  
INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 - DPR. 380/01  
INDAGINI - GEOTECNICA TERRENI E ROCCE - MARCATURA CE ORGANISMO NOTIFICATO N° 1372



Committente:

**POLISTRAD COSTRUZIONI GENERALI S.p.A.**  
Via Pantano 11/5  
50013 CAMPI BISENZIO (FI)

<b>RAPPORTO DI PROVA</b>	<b>09933/V</b>	<b>DEL</b>	<b>20/10/2021</b>	<b>Pagina 1 di 9</b>
Verbale di accettazione n°	1135/GT	del	13/10/2021	Vs. rif. : -

<b>SETTORE</b>	<b>GEOTECNICA - PROVE IN SITO</b>		
<b>CANTIERE</b>	Opera: Tratta AV/AC - Terzo Valico dei Giovi - Commessa: IG51 - Cantiere di riferimento: Tronco Piemonte		
<b>GENERAL CONTRACTOR</b>	Consorzio COCIV	<b>IMPRESA ESECUTRICE:</b>	Polistrade
<b>DESCRIZIONE MATERIALE</b>	<i>Contrassegno/cod. prova:</i>	DS1 + DS8	
	<i>Opera/WBS/Ubicazione:</i>	Verb. Prel. : DP04_TER 1013	
	<i>Terreno in prova:</i>	WBS: DP04 - Riqualificazione ambientale Val Lemme abbancamento deposito Val Lemme	
<b>PROVE ESEGUITE</b>	<b>Determinazione della massa volumica apparente di una terra in sito</b>	<b>NORMA DI RIFERIMENTO</b>	<b>CNR B.U. n° 22</b>
<b>DATA PROVE</b>	<b>13/10/2021</b>	<b>ARRIVO AL LABORATORIO</b>	<b>13/10/2021</b>

I risultati si riferiscono esclusivamente ai campioni sottoposti a prova (UNI CEI EN ISO/IEC 17025)

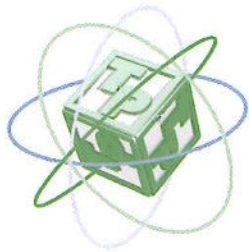
<b>LO SPERIMENTATORE</b>	Geom. Daniele BOSCARI 
<b>IL DIRETTORE DEL LABORATORIO GEOTECNICO</b>	Dott. Geol. Marco BETTIO 

Sede Amministrativa  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 1  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 2  
Via Ponte Romano, 228-230  
11027 Saint-Vincent (Ao)  
Tel. +39-0166.537.780  
Fax +39-0166.510.914

Unità locali uffici  
Via Corridoni, 54  
13836 Cossato (Bi)  
tecnopiemonte@tecnopiemonte.com  
www.tecnopiemonte.com



Committente:	POLISTRAD S.p.A.		
Rapporto di prova n.:	09933/V	del	20/10/2021
Verbale di accettazione n.:	1135/GT	del	13/10/2021
Vs. rif.:	-		

Oggetto:	Determinazione della massa volumica apparente di una terra in sito - Metodo del volumometro a sabbia		
Normativa di riferimento:	CNR B.U. n° 22		
Cantiere:	Opera: Tratta AV/AC - Terzo Valico dei Giovi - Commessa: IG51 - Cantiere di riferimento: Tronco Piemonte		
General Contractor:	Consorzio COCIV	Impresa Esecutrice:	Polistrade

Contrassegno/Cod. prova:	DS1	Verb. Prel. : DP04_TER 1013	Data prova:	13/10/2021
Terreno in prova/Strato:	abbancamento		Ø volumometro:	165 mm
WBS/Opera/Ubicazione:	WBS: DP04 - Riqualificazione ambientale Val Lemme		Quota/Profondità:	-
Sezione/Progressiva:	sez. 3	p.k. 0+077		
Osservazioni:				

Massa secca dell'unità di volume della sabbia [g/cm <sup>3</sup> ]	1,387
Volume del cono [cm <sup>3</sup> ]	1056

Massa iniziale contenitore	[g]	7000
Massa finale contenitore	[g]	1825
Volume del foro	[cm <sup>3</sup> ]	2675
Massa materiale umido	[g]	5952
Contenuto d'acqua naturale	%	6,7
<b>Massa secca dell'unità di volume</b>	<b>[g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>2,085</b>
Massa secca max. dell'unità di volume (*)	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,170
Contenuto d'acqua ottimo (*)	%	7,0

<b>Grado di costipamento</b>	<b>96,1%</b>
------------------------------	--------------

(\*) vd. rapporto di prova n. 04142/V del 07/05/2021

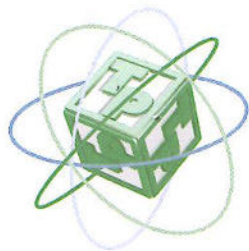
Sede Amministrativa  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 1  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 2  
Via Ponte Romano, 228-230  
11027 Saint-Vincent (Ao)  
Tel. +39-0166.537.780  
Fax +39-0166.510.914

Unità locali uffici  
Via Corridoni, 54  
13836 Cossato (Bi)  
tecnopiemonte@tecnopiemonte.com  
www.tecnopiemonte.com





Committente:	POLISTRAD S.p.A.		
Rapporto di prova n.:	09933/IV	del	20/10/2021
Verbale di accettazione n.:	1135/GT	del	13/10/2021
Vs. rif.:	-		

Oggetto:	<b>Determinazione della massa volumica apparente di una terra in sito - Metodo del volumometro a sabbia</b>		
Normativa di riferimento:	CNR B.U. n° 22		
Cantiere:	Opera: Tratta AV/AC - Terzo Valico dei Giovi - Commessa: IG51 - Cantiere di riferimento: Tronco Piemonte		
General Contractor:	Consorzio COCIV	Impresa Esecutrice:	Polistrade

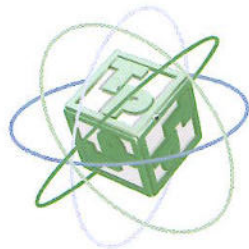
Contrassegno/Cod. prova:	DS2	Verb. Prel. : DP04_TER 1013	Data prova:	13/10/2021
Terreno in prova/Strato:	abbancamento		Ø volumometro:	165 mm
WBS/Opera/Ubicazione:	WBS: DP04 - Riqualificazione ambientale Val Lemme		Quota/Profondità:	-
Sezione/Progressiva:	sez. 5	p.k. 0+182		
Osservazioni:				

Massa secca dell'unità di volume della sabbia [g/cm <sup>3</sup> ]	1,387
Volume del cono [cm <sup>3</sup> ]	1056

Massa iniziale contenitore [g]	7000
Massa finale contenitore [g]	1940
Volume del foro [cm <sup>3</sup> ]	2592
Massa materiale umido [g]	5761
Contenuto d'acqua naturale %	6,8
<b>Massa secca dell'unità di volume [g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>2,081</b>
Massa secca max. dell'unità di volume (*) [g/cm <sup>3</sup> ]	2,170
Contenuto d'acqua ottimo (*) %	7,0

<b>Grado di costipamento</b>	<b>95,9%</b>
------------------------------	--------------

(\*) vd. rapporto di prova n. 04142/IV del 07/05/2021



Committente:	POLISTRAD S.p.A.		
Rapporto di prova n.:	09933/V	del	20/10/2021
Verbale di accettazione n.:	1135/GT	del	13/10/2021
Vs. rif.:	-		

Oggetto:	<b>Determinazione della massa volumica apparente di una terra in sito - Metodo del volumometro a sabbia</b>		
Normativa di riferimento:	CNR B.U. n° 22		
Cantiere:	Opera: Tratta AV/AC - Terzo Valico dei Giovi - Commessa: IG51 - Cantiere di riferimento: Tronco Piemonte		
General Contractor:	Consorzio COCIV	Impresa Esecutrice:	Polistrade

Contrassegno/Cod. prova:	DS3	Verb. Prel. : DP04_TER 1013	Data prova:	13/10/2021
Terreno in prova/Strato:	abbancamento		Ø volumometro:	165 mm
WBS/Opera/Ubicazione:	WBS: DP04 - Riqualificazione ambientale Val Lemme		Quota/Profondità:	-
Sezione/Progressiva:	sez. 6	p.k. 0+229		
Osservazioni:				

Massa secca dell'unità di volume della sabbia	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,387
Volume del cono	[cm <sup>3</sup> ]	1056

Massa iniziale contenitore	[g]	7000
Massa finale contenitore	[g]	2959
Volume del foro	[cm <sup>3</sup> ]	1857
Massa materiale umido	[g]	4187
Contenuto d'acqua naturale	%	7,1
<b>Massa secca dell'unità di volume</b>	[g/cm <sup>3</sup> ]	<b>2,105</b>
Massa secca max. dell'unità di volume (*)	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,170
Contenuto d'acqua ottimo (*)	%	7,0

<b>Grado di costipamento</b>	<b>97,0%</b>
------------------------------	--------------

(\*) vd. rapporto di prova n. 04142/V del 07/05/2021

Sede Amministrativa  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 1  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 2  
Via Ponte Romano, 228-230  
11027 Saint-Vincent (Ao)  
Tel. +39-0166.537.780  
Fax +39-0166.510.914

Unità locali uffici  
Via Corridoni, 54  
13836 Cossato (Bi)  
tecnopiemonte@tecnopiemonte.com  
www.tecnopiemonte.com



Committente:	POLISTRAD S.p.A.		
Rapporto di prova n.:	09933/V	del	20/10/2021
Verbale di accettazione n.:	1135/GT	del	13/10/2021
Vs. rif.:	-		

Oggetto:	Determinazione della massa volumica apparente di una terra in sito - Metodo del volumometro a sabbia		
Normativa di riferimento:	CNR B.U. n° 22		
Cantiere:	Opera: Tratta AV/AC - Terzo Valico dei Giovi - Commessa: IG51 - Cantiere di riferimento: Tronco Piemonte		
General Contractor:	Consorzio COCIV	Impresa Esecutrice:	Polistrade

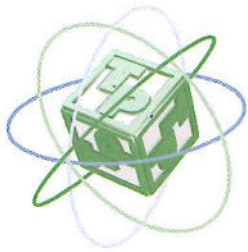
Contrassegno/Cod. prova:	DS4	Verb. Prel. : DP04_TER 1013	Data prova:	13/10/2021
Terreno in prova/Strato:	abbancamento		Ø volumometro:	165 mm
WBS/Opera/Ubicazione:	WBS: DP04 - Riqualificazione ambientale Val Lemme		Quota/Profondità:	-
Sezione/Progressiva:	sez. 7	p.k. 0+258		
Osservazioni:				

Massa secca dell'unità di volume della sabbia	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,387
Volume del cono	[cm <sup>3</sup> ]	1056

Massa iniziale contenitore	[g]	7000
Massa finale contenitore	[g]	1903
Volume del foro	[cm <sup>3</sup> ]	2619
Massa materiale umido	[g]	5851
Contenuto d'acqua naturale	%	6,8
<b>Massa secca dell'unità di volume</b>	<b>[g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>2,092</b>
Massa secca max. dell'unità di volume (*)	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,170
Contenuto d'acqua ottimo (*)	%	7,0

<b>Grado di costipamento</b>	<b>96,4%</b>
------------------------------	--------------

(\*) vd. rapporto di prova n. 04142/V del 07/05/2021



# TECNO PIEMONTE S.p.A.

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE - SERVIZI PER INGEGNERIA  
AUT. MIN.: INTERNO - SALUTE - SVILUPPO ECONOMICO - ISTRUZIONE UNIVERSITA' E RICERCA  
INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 - DPR. 380/01  
INDAGINI - GEOTECNICA TERRENI E ROCCE - MARCATURA €€ ORGANISMO NOTIFICATO N° 1372



pag. 6 di 9

Committente:	POLISTRAD S.p.A.		
Rapporto di prova n.:	09933/V	del	20/10/2021
Verbale di accettazione n.:	1135/GT	del	13/10/2021
Vs. rif.:	-		

Oggetto:	Determinazione della massa volumica apparente di una terra in sito - Metodo del volumometro a sabbia		
Normativa di riferimento:	CNR B.U. n° 22		
Cantiere:	Opera: Tratta AV/AC - Terzo Valico dei Giovi - Commessa: IG51 - Cantiere di riferimento: Tronco Piemonte		
General Contractor:	Consorzio COCIV	Impresa Esecutrice:	Polistrade

Contrassegno/Cod. prova:	DS5	Verb. Prel. : DP04_TER 1013	Data prova:	13/10/2021
Terreno in prova/Strato:	abbancamento		Ø volumometro:	165 mm
WBS/Opera/Ubicazione:	WBS: DP04 - Riqualificazione ambientale Val Lemme		Quota/Profondità:	-
Sezione/Progressiva:	sez. 7	p.k. 0+270		
Osservazioni:				

Massa secca dell'unità di volume della sabbia	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,387
Volume del cono	[cm <sup>3</sup> ]	1056

Massa iniziale contenitore	[g]	7000
Massa finale contenitore	[g]	977
Volume del foro	[cm <sup>3</sup> ]	3286
Massa materiale umido	[g]	7342
Contenuto d'acqua naturale	%	6,9
<b>Massa secca dell'unità di volume</b>	<b>[g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>2,090</b>
Massa secca max. dell'unità di volume (*)	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,170
Contenuto d'acqua ottimo (*)	%	7,0

<b>Grado di costipamento</b>	<b>96,3%</b>
------------------------------	--------------

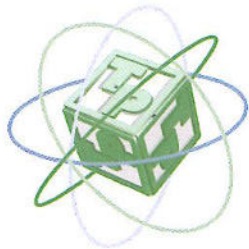
(\*) vd. rapporto di prova n. 04142/V del 07/05/2021

Sede Amministrativa  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 1  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 2  
Via Ponte Romano, 228-230  
11027 Saint-Vincent (Ao)  
Tel. +39-0166.537.780  
Fax +39-0166.510.914

Unità locali uffici  
Via Corridoni, 54  
13836 Cossato (Bi)  
tecnopiemonte@tecnopiemonte.com  
www.tecnopiemonte.com



Committente:	POLISTRAD S.p.A.		
Rapporto di prova n.:	09933/IV	del	20/10/2021
Verbale di accettazione n.:	1135/GT	del	13/10/2021
Vs. rif.:	-		

Oggetto:	Determinazione della massa volumica apparente di una terra in sito - Metodo del volumometro a sabbia		
Normativa di riferimento:	CNR B.U. n° 22		
Cantiere:	Opera: Tratta AV/AC - Terzo Valico dei Giovi - Commessa: IG51 - Cantiere di riferimento: Tronco Piemonte		
General Contractor:	Consorzio COCIV	Impresa Esecutrice:	Polistrade

Contrassegno/Cod. prova:	DS6	Verb. Prel. : DP04_TER 1013	Data prova:	13/10/2021
Terreno in prova/Strato:	abbancamento		Ø volumometro:	165 mm
WBS/Opera/Ubicazione:	WBS: DP04 - Riqualificazione ambientale Val Lemme		Quota/Profondità:	-
Sezione/Progressiva:	sez. 9	p.k. 0+350		
Osservazioni:				

Massa secca dell'unità di volume della sabbia	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,387
Volume del cono	[cm <sup>3</sup> ]	1056

Massa iniziale contenitore	[g]	7000
Massa finale contenitore	[g]	2244
Volume del foro	[cm <sup>3</sup> ]	2373
Massa materiale umido	[g]	5291
Contenuto d'acqua naturale	%	6,8
<b>Massa secca dell'unità di volume</b>	<b>[g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>2,088</b>
Massa secca max. dell'unità di volume (*)	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,170
Contenuto d'acqua ottimo (*)	%	7,0

<b>Grado di costipamento</b>	<b>96,2%</b>
------------------------------	--------------

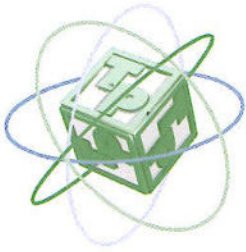
(\*) vd. rapporto di prova n. 04142/IV del 07/05/2021

Sede Amministrativa  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 1  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 2  
Via Ponte Romano, 228-230  
11027 Saint-Vincent (Ao)  
Tel. +39-0166.537.780  
Fax +39-0166.510.914

Unità locali uffici  
Via Corridoni, 54  
13836 Cossato (Bi)  
tecnopiemonte@tecnopiemonte.com  
www.tecnopiemonte.com



# TECNO PIEMONTE S.p.A.

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE - SERVIZI PER INGEGNERIA  
AUT. MIN.: INTERNO - SALUTE - SVILUPPO ECONOMICO - ISTRUZIONE UNIVERSITA' E RICERCA  
INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 - DPR. 380/01  
INDAGINI - GEOTECNICA TERRENI E ROCCE - MARCATURA CE ORGANISMO NOTIFICATO N° 1372



pag. 8 di 9

Committente:	POLISTRAD S.p.A.		
Rapporto di prova n.:	09933/V	del	20/10/2021
Verbale di accettazione n.:	1135/GT	del	13/10/2021
Vs. rif.:	-		

Oggetto:	Determinazione della massa volumica apparente di una terra in sito - Metodo del volumometro a sabbia		
Normativa di riferimento:	CNR B.U. n° 22		
Cantiere:	Opera: Tratta AV/AC - Terzo Valico dei Giovi - Commessa: IG51 - Cantiere di riferimento: Tronco Piemonte		
General Contractor:	Consorzio COCIV	Impresa Esecutrice:	Polistrade

Contrassegno/Cod. prova:	DS7	Verb. Prel. : DP04_TER 1013	Data prova:	13/10/2021
Terreno in prova/Strato:	abbancamento		Ø volumometro:	165 mm
WBS/Opera/Ubicazione:	WBS: DP04 - Riqualificazione ambientale Val Lemme		Quota/Profondità:	-
Sezione/Progressiva:	sez. 12	p.k. 0+442		
Osservazioni:				

Massa secca dell'unità di volume della sabbia	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,387
Volume del cono	[cm <sup>3</sup> ]	1056

Massa iniziale contenitore	[g]	7000
Massa finale contenitore	[g]	1871
Volume del foro	[cm <sup>3</sup> ]	2642
Massa materiale umido	[g]	5881
Contenuto d'acqua naturale	%	7,2
<b>Massa secca dell'unità di volume</b>	<b>[g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>2,077</b>
Massa secca max. dell'unità di volume (*)	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,170
Contenuto d'acqua ottimo (*)	%	7,0

<b>Grado di costipamento</b>	<b>95,7%</b>
------------------------------	--------------

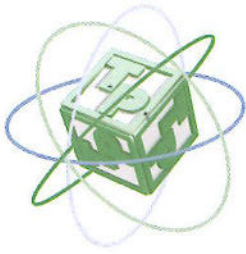
(\*) vd. rapporto di prova n. 04142/V del 07/05/2021

Sede Amministrativa  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 1  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 2  
Via Ponte Romano, 228-230  
11027 Saint-Vincent (Ao)  
Tel. +39-0166.537.780  
Fax +39-0166.510.914

Unità locali uffici  
Via Corridoni, 54  
13836 Cossato (Bi)  
tecnopiemonte@tecnopiemonte.com  
www.tecnopiemonte.com



Committente:	POLISTRAD S.p.A.		
Rapporto di prova n.:	09933/V	del	20/10/2021
Verbale di accettazione n.:	1135/GT	del	13/10/2021
Vs. rif.:	-		

Oggetto:	<b>Determinazione della massa volumica apparente di una terra in sito - Metodo del volumometro a sabbia</b>		
Normativa di riferimento:	CNR B.U. n° 22		
Cantiere:	Opera: Tratta AV/AC - Terzo Valico dei Giovi - Commessa: IG51 - Cantiere di riferimento: Tronco Piemonte		
General Contractor:	Consorzio COCIV	Impresa Esecutrice:	Polistrade

Contrassegno/Cod. prova:	DS8	Verb. Prel. : DP04_TER 1013	Data prova:	13/10/2021
Terreno in prova/Strato:	abbancamento		Ø volumometro:	165 mm
WBS/Opera/Ubicazione:	WBS: DP04 - Riqualificazione ambientale Val Lemme		Quota/Profondità:	-
Sezione/Progressiva:	sez. 13	p.k. 0+471		
Osservazioni:				

Massa secca dell'unità di volume della sabbia [g/cm <sup>3</sup> ]	1,387
Volume del cono [cm <sup>3</sup> ]	1056

Massa iniziale contenitore	[g]	7000
Massa finale contenitore	[g]	2373
Volume del foro	[cm <sup>3</sup> ]	2280
Massa materiale umido	[g]	5082
Contenuto d'acqua naturale	%	7,1
<b>Massa secca dell'unità di volume</b>	<b>[g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>2,081</b>
Massa secca max. dell'unità di volume (*)	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,170
Contenuto d'acqua ottimo (*)	%	7,0

<b>Grado di costipamento</b>	<b>95,9%</b>
------------------------------	--------------

(\*) vd. rapporto di prova n. 04142/V del 07/05/2021

Sede Amministrativa  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 1  
Statale Valsesia, 20  
13035 Lenta (Vc)  
Tel. +39-0163.885.111  
Fax +39-0163.885.028

Unità operativa n. 2  
Via Ponte Romano, 228-230  
11027 Saint-Vincent (Ao)  
Tel. +39-0166.537.780  
Fax +39-0166.510.914

Unità locali uffici  
Via Corridoni, 54  
13836 Cossato (Bi)  
tecnopiemonte@tecnopiemonte.com  
www.tecnopiemonte.com

CONTRAENTE GENERALE	AFFIDATARIO <b>POLISTRAD E</b> COSTRUZIONI GENERALI SPA	DIREZIONE LAVORI
---------------------	---	------------------

VERBALE DI PRELIEVO E CONSEGNA CAMPIONI

Codifica: DP04-TER1012

VERBALE DI PRELIEVO TERRE ARMATE

Organizzazione: COCIV (POLISTRAD E)  
 Opera/WBS: DP04 Parte d'Opera: TERRE ARMATE  
 Data: 13-10-21 Ora prelievo: 09:30  
 Luogo del prelievo: DEPOSITO

CAMPIONI N°	CODICE PRELIEVO	IMBALLO	NOTE
<u>5</u>	<u>DP04-TER-1012</u>	<u>SACCO CHIUSO</u>	<u>φ 165</u>

NOTE: N.5 PIASTRE φ 300 P1 ÷ P5  
N.5 DENSTRA' IN SITO φ 165 D1 ÷ D5

ADDETTO AL PRELIEVO	COCIV	DL x DL	AS	F/S	LAB. QUALIF.	LAB. UFF./AUT.
<input checked="" type="checkbox"/> COCIV	<u>PIA</u>	<u>13-10-2021</u>		<u>M</u>		<u>[Signature]</u>
<input checked="" type="checkbox"/> F/S	<u>[Signature]</u>	<u>[Signature]</u>				
<input checked="" type="checkbox"/> LAB. UFF./AUT.						
<input type="checkbox"/> LAB. QUALIFICATO						

VERBALE CONSEGNA CAMPIONI E RICHIESTA PROVE

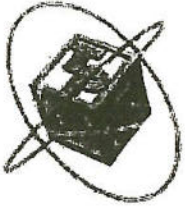
Lab. Qualificato  Lab. Uff./Aut. Data: 13/10/21

- PROVE:
- D1 ÷ D5 DENSTRA' IN SITO
  - D4 Q. Ca 387.80 sez. 11-12
  - D1 5° STRATO sez. 16
  - D5 6° STRATO " 17
  - D2 4° " " 17
  - D3 Q. Ca 386.61 " 13-14
  - 
  -

NOTE:  

LABORATORIO	COCIV	F/S	DL	AS
		<u>[Signature]</u>		





# TECNO PIEMONTE S.p.A.

Sede operativa:  
Strada Statale Valsesia, 20 13035 Lenta (VC)  
Tel. +39-0163.885.111 Fax +39-0163.885.028  
www.tecnopiemonte.com

SETTORE	GEOTECNICA	Scheda di prova
PROCEDURA DI PROVA	PP/GT/43rev4	<b>GT/43</b>
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	<input type="checkbox"/> CNR B.U. N. 146 <input type="checkbox"/> VSS 70 312b - VSS 70 317	
OGGETTO	DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE MEDIANTE PROVA DI CARICO SU PIASTRA	Rev. 4 del 17/09/2020
		Foglio 1 di 1

Verbale n°: \_\_\_\_\_ Del: \_\_\_\_\_ Data prova: \_\_\_\_\_ Codice Attrezzatura: \_\_\_\_\_

Ubicazione: **DPO4** **MURRO TIPO B** Strato: **5° TERZO ARMATE**

Sez.: **16** Progr.: **0+560** Q.ta/prof.: \_\_\_\_\_ Prova n.: **P1/D1**

1° ciclo di carico	cedimenti				
	pressione [N/mm²]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]	h <sub>3</sub> [mm]	media [mm]
0,02					22,73
0,05					22,23
					22,21
					22,20
0,10					21,62
					21,62
0,15					20,95
					20,93

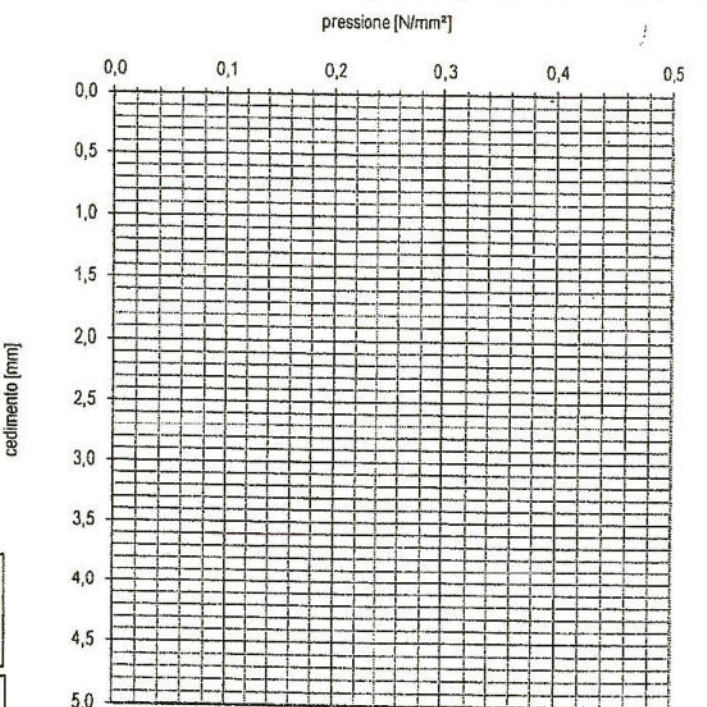
2° ciclo di carico	cedimenti				
	pressione [N/mm²]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]	h <sub>3</sub> [mm]	media [mm]

$\Delta h_{m1} = 1,27$  [mm]      Ø piastra \_\_\_\_\_ [mm]

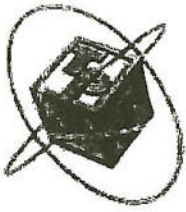
$\Delta h_{m2} =$  \_\_\_\_\_ [mm]      temperatura \_\_\_\_\_ [°C]

M <sub>d</sub> [N/mm²]	M' <sub>d</sub> [N/mm²]	M <sub>d</sub> /M' <sub>d</sub>
<b>23,6</b>		

Note/Osservazioni:  
**DS.**



Lo Sperimentatore



# TECNO PIEMONTE S.p.A.

Sede operativa:  
 Strada Statale Valsesia, 20 13035 Lenta (VC)  
 Tel. +39-0163.885.111 Fax +39-0163.885.028  
 www.tecnopiemonte.com

SETTORE	GEOTECNICA	Scheda di prova
PROCEDURA DI PROVA	PP/GT/43rev4	<b>GT/43</b>
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	<input type="checkbox"/> CNR B.U. N. 146 <input type="checkbox"/> VSS 70 312b - VSS 70 317	
OGGETTO	DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE MEDIANTE PROVA DI CARICO SU PIASTRA	Rev. 4 del 17/09/2020
		Foglio 1 di 1

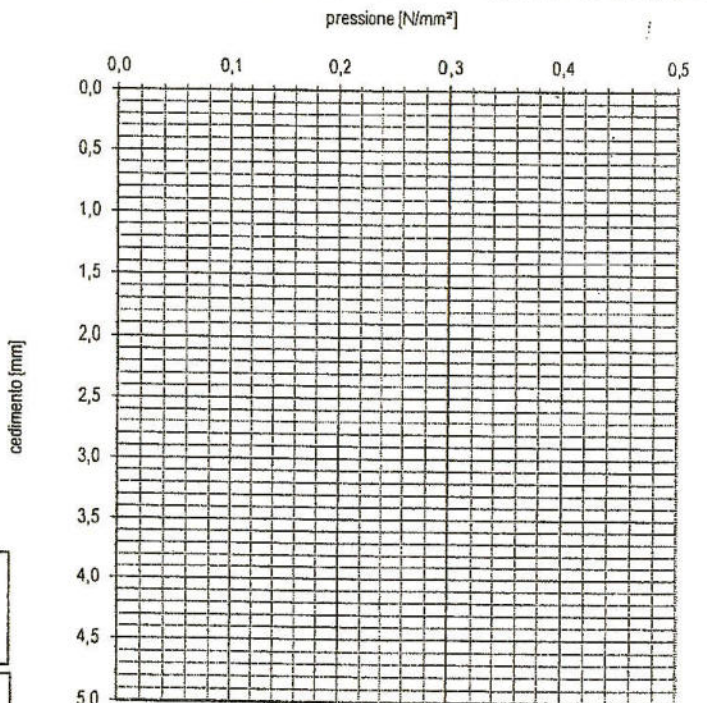
Verbale n°: \_\_\_\_\_ Del: \_\_\_\_\_ Data prova: \_\_\_\_\_ Codice Attrezzatura: \_\_\_\_\_

Ubicazione: **DPOA** **MURO TIPO B** Strato: **4° TEMPERE ARMATE**

Sez.: **1A** Progr.: **04-590** Q.ta/prof.: \_\_\_\_\_ Prova n.: **P2/D2**

1° ciclo di carico	cedimenti				
	pressione [N/mm²]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]	h <sub>3</sub> [mm]	media [mm]
0,02					22,95
0,05					22,76
					22,76
0,10					22,07
					22,07
0,15					21,35
					21,35

2° ciclo di carico	cedimenti				
	pressione [N/mm²]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]	h <sub>3</sub> [mm]	media [mm]



$\Delta h_{m1} = 1,41$  [mm]      Ø piastra \_\_\_\_\_ [mm]

$\Delta h_{m2} =$  \_\_\_\_\_ [mm]      temperatura \_\_\_\_\_ [°C]

M <sub>d</sub> [N/mm²]	M' <sub>d</sub> [N/mm²]	M <sub>d</sub> /M' <sub>d</sub>
<b>21,3</b>		

Note/Osservazioni:

**AS**

Lo Sperimentatore



# TECNO PIEMONTE S.p.A.

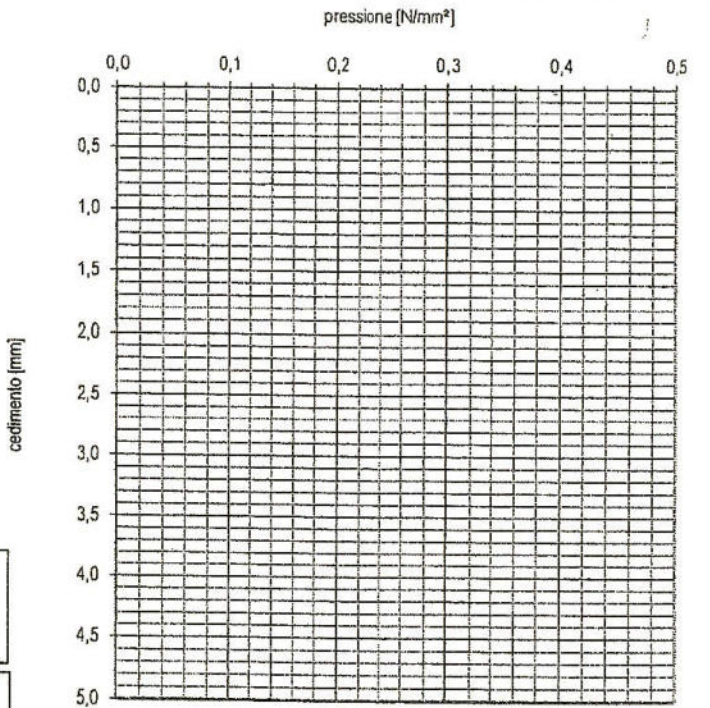
Sede operativa:  
Strada Statale Valsesia, 20 13035 Lenta (VC)  
Tel. +39-0163.885.111 Fax +39-0163.885.028  
www.tecnopiemonte.com

SETTORE	GEOTECNICA	Scheda di prova
PROCEDURA DI PROVA	PP/GT/43rev4	<b>GT/43</b>
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	<input type="checkbox"/> CNR B.U. N. 146 <input type="checkbox"/> VSS 70 312b - VSS 70 317	
OGGETTO	DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE MEDIANTE PROVA DI CARICO SU PIASTRA	Rev. 4 del 17/09/2020
		Foglio 1 di 1

Verbale n°:	Del:	Data prova:	Codice Altezzeria:
Ubicazione: <b>DPOA</b>	<b>MURLO TIPO A</b>	Strato: <b>TERRE ANNATE</b>	
Sez.: <b>13 ÷ 14</b>	Progr.:	Q.ta/prof.: <b>386,61</b>	Prova n.: <b>P3/P3</b>

1° ciclo di carico	cedimenti				
	pressione [N/mm²]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]	h <sub>3</sub> [mm]	media [mm]
0,02					26,69
0,05					26,28
					26,28
0,10					25,70
					25,70
0,15					24,95
					24,95

2° ciclo di carico	cedimenti				
	pressione [N/mm²]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]	h <sub>3</sub> [mm]	media [mm]



$\Delta h_{m1} = 1,33$  [mm]      Ø piastra \_\_\_\_\_ [mm]  
 $\Delta h_{m2} =$  \_\_\_\_\_ [mm]      temperatura \_\_\_\_\_ [°C]

$M_d$ [N/mm²] <b>22,6</b>	$M'_d$ [N/mm²]	$M_d/M'_d$
------------------------------	----------------	------------

Note/Osservazioni:  
**DS**

Lo Sperimentatore



# TECNO PIEMONTE S.p.A.

Sede operativa:  
 Strada Statale Valsesia, 20 13035 Lenta (VC)  
 Tel. +39-0163.885.111 Fax +39-0163.885.028  
 www.tecnopiemonte.com

SETTORE	GEOTECNICA	Scheda di prova
PROCEDURA DI PROVA	PP/GT/43rev4	<b>GT/43</b>
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	<input type="checkbox"/> CNR B.U. N. 146 <input type="checkbox"/> VSS 70 312b - VSS 70 317	
OGGETTO	DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE MEDIANTE PROVA DI CARICO SU PIASTRA	Rev. 4 del 17/09/2020
		Foglio 1 di 1

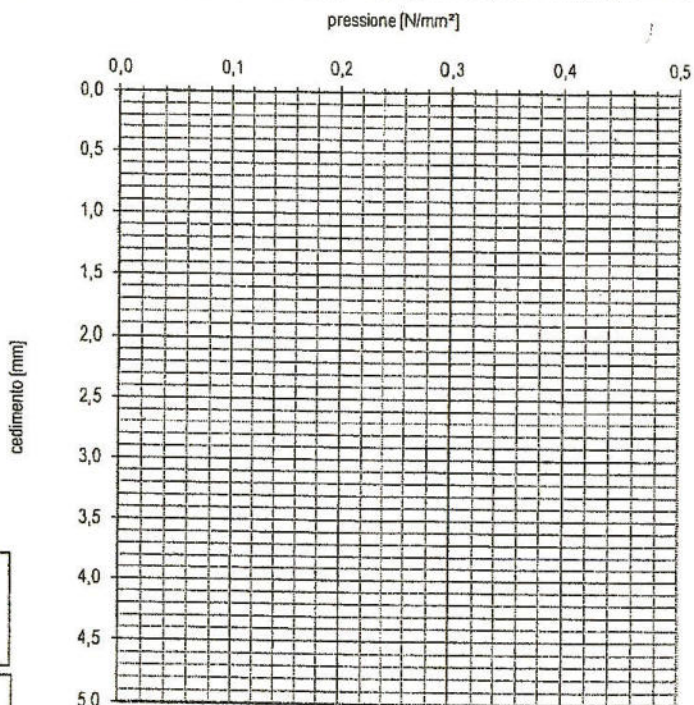
Verbale n°: \_\_\_\_\_ Del: \_\_\_\_\_ Data prova: \_\_\_\_\_ Codice Attrezzatura: \_\_\_\_\_

Ubicazione: \_\_\_\_\_ Strato: **MURO TIPO A** **TERRE ARMATE**

Sez.: **M-12** Progr.: \_\_\_\_\_ Q.ta/prof.: **387,80** Prova n.: **P4/D4**

1° ciclo di carico	cedimenti				
	pressione [N/mm²]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]	h <sub>3</sub> [mm]	media [mm]
0,02					26,85
0,05					26,73
					26,73
0,10					26,39
					26,38
0,15					26,05
					26,05

2° ciclo di carico	cedimenti				
	pressione [N/mm²]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]	h <sub>3</sub> [mm]	media [mm]



$\Delta h_{m1} = 0,68$  [mm]       $\varnothing$  piastra **300** [mm]  
 $\Delta h_{m2} =$  \_\_\_\_\_ [mm]      temperatura \_\_\_\_\_ [°C]

$M_d$ [N/mm²]	$M'_d$ [N/mm²]	$M_d/M'_d$
<b>44,1</b>		

Note/Osservazioni:

Lo Sperimentatore



# TECNO PIEMONTE S.p.A.

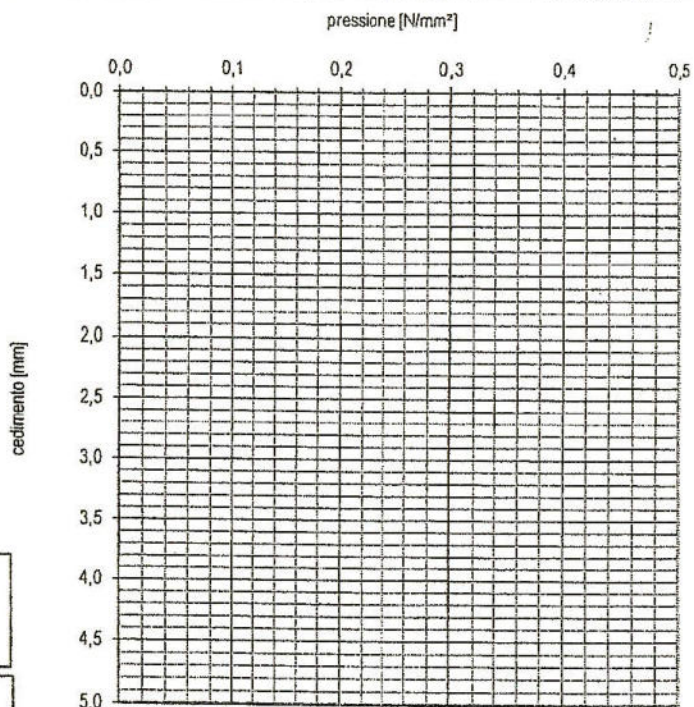
Sede operativa:  
Strada Statale Vaisesia, 20 13035 Lenta (VC)  
Tel. +39-0163.885.111 Fax +39-0163.885.028  
www.tecnopiemonte.com

SETTORE	GEOTECNICA	Scheda di prova
PROCEDURA DI PROVA	PP/GT/43rev4	<b>GT/43</b>
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	<input type="checkbox"/> CNR B.U. N. 146 <input type="checkbox"/> VSS 70 312b - VSS 70 317	
OGGETTO	DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE MEDIANTE PROVA DI CARICO SU PIASTRA	Rev. 4 del 17/09/2020
		Foglio 1 di 1

Verbale n°:	Del:	Data prova:	Codice Altrezzatura:
Ubicazione: <b>AP04</b>		<b>MURO TIPO B</b>	Strato: <b>6° TERRE ANNATE</b>
Sez.: <b>17</b>	Progr.:	Q.ta/prof.:	Prova n.: <b>P5/DS</b>

1° ciclo di carico	cedimenti				
	pressione [N/mm²]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]	h <sub>3</sub> [mm]	media [mm]
0,02					23,80
0,05					23,65
					23,65
0,10					23,30
					23,28
					23,28
0,15					22,91
					22,91

2° ciclo di carico	cedimenti				
	pressione [N/mm²]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]	h <sub>3</sub> [mm]	media [mm]



$\Delta h_{m1} = \underline{0,74}$  [mm]       $\varnothing$  piastra 300 [mm]  
 $\Delta h_{m2} = \underline{\hspace{2cm}}$  [mm]      temperatura      [°C]

$M_d$ [N/mm²]	$M'_d$ [N/mm²]	$M_d/M'_d$
<b>40,5</b>		

Note/Osservazioni:

**DS**

Lo Sperimentatore \_\_\_\_\_