

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA

TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA

ELABORATI GENERALI

GEOTECNICA

Relazione di calcolo stabilità e cedimenti

SCALA:

-

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

I V 0 I 0 0 D 2 6 C L G E 0 0 0 5 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	R. Colombero <i>R. Colombero</i>	Giu. 2024	G. Nitti <i>G. Nitti</i>	Giu. 2024	M. Firpo <i>M. Firpo</i>	Giu. 2024	F. Arduini Giu. 2024
								ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Dott. Ing. Fabrizio Arduini Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n° 18962 del 1/1/19

File: IV0I00D26CLGE0005001A.doc

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	5
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	6
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
3.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	7
3.2	DOCUMENTI CORRELATI	7
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
6	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	10
6.1	UNITÀ TERRENI	10
6.2	UNITÀ ROCCE	12
7	INQUADRAMENTO SISMICO.....	14
7.1	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA SU SUOLO RIGIDO	14
7.2	CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE AI FINI DEL CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA	15
8	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE.....	16
8.1	STATO LIMITE ULTIMO (SLU).....	16
8.2	STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE).....	18
8.3	VERIFICHE IN CONDIZIONI SISMICHE.....	18
9	AZIONI DI PROGETTO	19
9.1	AZIONI PERMANENTI	19
9.2	AZIONI VARIABILI.....	19
9.3	AZIONE SISMICA	19
10	METODOLOGIA DI CALCOLO.....	20
10.1	ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE.....	20
10.2	CALCOLO DEI CEDIMENTI	21

11	RILEVATI E TRINCEE	23
11.1	SEZIONI DI CALCOLO	23
11.2	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA.....	24
11.3	RISULTATI	25
	<i>Sezione tipo T1</i>	25
	<i>Sezione tipo R1</i>	26
	ALLEGATO: OUTPUT DI CALCOLO	31

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1– BORGIO VEREZZI.....	10
TABELLA 2– PIETRA LIGURE.....	10
TABELLA 3– BORGHETTO S. SPIRITO 1 E 2.....	11
TABELLA 4– CERIALE 1, 2, 3.....	11
TABELLA 5– ALBENGA 1, 2.....	11
TABELLA 6 – ALASSIO	11
TABELLA 7 – ANDORA	12
TABELLA 8 – ROCCE	13
TABELLA 9 - VALORI DEI PARAMETRI A_G , F_0 E T_C^* PER SUOLO RIGIDO	14
TABELLA 10. SINTESI DEI RISULTATI DELLE PROVE MASW E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DEFINITA	15
TABELLA 11. COEFFICIENTI PARZIALI PER LE AZIONI O PER L'EFFETTO DELLE AZIONI (TAB. 6.2.I – NTC2018)	17
TABELLA 12. COEFFICIENTI PARZIALI PER I PARAMETRI GEOTECNICI (TAB. 6.2.II – NTC2018)	17
TABELLA 13. COEFFICIENTI PARZIALI PER VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE (TAB. 6.8.I – NTC2018)	18
TABELLA 14. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE SEZIONI DI CALCOLO	23
TABELLA 15. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLE SEZIONI DI CALCOLO.....	24
TABELLA 16. CARATTERISTICHE SISMICHE DELLE SEZIONI DI CALCOLO	24

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1. DISCRETIZZAZIONE PER CONCI ED ESEMPIO DI SCHEMA DELLE FORZE AGENTI	20
FIGURA 2. INCREMENTO DI TENSIONE INDOTTO DAL CARICO SUL TERRENO	21
FIGURA 3. DEFINIZIONE DEL PERCORSO DI DRENAGGIO	22
FIGURA 4. VARIAZIONE DEL GRADO DI CONSOLIDAZIONE MEDIO U_M CON IL FATTORE TEMPO T_v	22
FIGURA 5. SEZIONE DI CALCOLO RILEVATO (PK 86+400)	23

	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Relazione di calcolo stabilità e cedimenti	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IV01	00	D26 CL	GE 00 05 001	A	4 di 31

FIGURA 6. SEZIONE DI CALCOLO TRINCEA (PK 83+000)	24
FIGURA 7 - SEZIONE TIPO T1: RISULTATI DELL'ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE IN CONDIZIONI STATICHE	25
FIGURA 8 - SEZIONE TIPO T1: RISULTATI DELL'ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE IN CONDIZIONI SISMICHE.....	25
FIGURA 9 - SEZIONE TIPO R1: RISULTATI DELL'ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE IN CONDIZIONI STATICHE	26
FIGURA 10 - SEZIONE TIPO R1: RISULTATI DELL'ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE IN CONDIZIONI SISMICHE	26
FIGURA 11 - RISULTATI DELL'ANALISI DEI CEDIMENTI	28



PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA

TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

Relazione di calcolo stabilità e cedimenti

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D26 CL	GE 00 05 001	A	5 di 31

1 PREMESSA

Il presente elaborato costituisce la relazione di calcolo di stabilità e cedimenti dei rilevati e trincee presenti lungo il tracciato del potenziamento infrastrutturale previsto per la linea Genova - Ventimiglia per il raddoppio della tratta Finale Ligure - Andora.

La tratta in esame, della lunghezza totale di circa 33 km, corre prevalentemente all'interno di gallerie naturali, con tratti all'aperto e gallerie artificiali per 9 km circa.

In particolare, vengono di seguito presentate le verifiche di stabilità locale e globale delle scarpate e vengono presentati i cedimenti attesi dalla realizzazione dei rilevati.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del presente documento è quello di illustrare i risultati delle verifiche di stabilità e cedimenti di rilevati e trincee presenti lungo il tracciato in progetto.

Nel seguito, sono sviluppati i seguenti punti:

- documenti e normativa di riferimento;
- inquadramento geologico;
- breve sintesi di caratterizzazione geotecnica dei terreni e geomeccanica degli ammassi rocciosi;
- inquadramento sismico;
- verifiche di stabilità e stima dei cedimenti attesi.

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Documenti Referenziati

Nella presente relazione, si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

- [1] ITALFERR, documento n° IV0I00D69RGGE0001001 intitolato Relazione geologica e geomorfologica, datato dicembre 2021

3.2 Documenti Correlati

I documenti correlati sono:

- [2] ITALFERR, documento n° IV0I00D26RBGE0005001C intitolato “Relazione geotecnica generale”.
- [3] ITALFERR, documenti n° IV0I00D26F6GE0005001A/12A intitolati “Profilo geotecnico”.

	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Relazione di calcolo stabilità e cedimenti	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IV01	00	D26 CL	GE 00 05 001	A	8 di 31

4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Legge 2 Febbraio 1974, n. 64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- Decreto Ministero. LL.PP. 11 Marzo 1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, ed i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circolare Ministero LL.PP. 24 Settembre 1988, n. 30483 “Istruzioni riguardanti “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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione” di cui al D.M. 11 Marzo 1988”.
- D.M. del 16 Gennaio 1996 “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”.
- O.P.C.M. 20 marzo 2003, n.3274 e s.m.i. “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- Linee guida AGI 2005 “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”.
- Decreto Ministeriale 20 febbraio 2021 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Istruzioni RFI n. 44G per infrastrutture ferroviarie nuove non ad alta velocità ($v \leq 250$ km/h).

	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Relazione di calcolo stabilità e cedimenti	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IV01	00	D26 CL	GE 00 05 001	A	9 di 31

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il tracciato ferroviario in progetto si sviluppa lungo la costa ligure occidentale interamente all'interno della provincia di Savona, tra le località di Finale Ligure e Andora.

Le Alpi Liguri sono formate da un insieme di unità tettoniche, trasportate ed accumulate verso la parte esterna dell'arco alpino, successivamente retroflesse e poi coinvolte nelle deformazioni di età e direzione appenninica. In esse sono presenti complessi rocciosi derivati dal continente paleoeuropeo (dall'esterno all'interno: Domini Delfinese-Provenzale; Sub~Brianzonese; Brianzonese Esterno, Intermedio, Interno), dal suo margine s.s. (Dominio Piemontese s.l., la cui parte più esterna è detta Prepiemontese) e dall'Oceano Piemontese~Ligure (rappresentato da due grandi gruppi: Successioni Ofiolitifere Pre~Flysch e successioni dei Flysch); deve ancora essere chiarito se vi siano o meno coinvolti anche elementi di pertinenza insubrica o di un ipotetico microcontinente intraoceanico.

In una visione geologica di insieme dell'area Savonese, è possibile riconoscere due zone distinte sulla base di caratteri geologici e geomorfologici: una ubicata a Sud della Linea Aquila d'Arroscia – Ceriale, morfologicamente più depressa e più uniforme, occupata da terreni "flyschoidi" ed una posta a Nord di detta linea, molto più ampia e dalla morfologia più varia e accidentata, in cui affiorano i terreni della serie del Castellermo, delle serie brianzonesi, delle serie ad affinità brianzonese e della serie di Montenotte.

6 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Come indicato nella Relazione geotecnica generale (Doc. Rif. [2]), nell'ambito dell'intera tratta studiata, si riporta nel seguito la descrizione delle unità geotecniche riscontrate ed i parametri geotecnici, riportati per i terreni suddivisi per tratte omogenee. Per ulteriori dettagli si rimanda alla Relazione geotecnica generale.

6.1 Unità terreni

- UNITÀ 1: terreno di riporto
- UNITÀ 2: depositi alluvionali incoerenti, costituiti prevalentemente da sabbia e ghiaia
- UNITÀ 3: depositi alluvionali coesivi, costituiti prevalentemente da limo e argilla
- ARGILLE DI ORTOVERO (ORV)
- CONGLOMERATI DI MONTE VILLA - FACIES INCOERENTE (CMV-i)
- CONGLOMERATI DI MONTE VILLA - FACIES COESIVA (CMV-c)

-	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]	ν	OCR
Unità 1	19.0	-	0	23÷28	10÷20	0.3	-
Unità 2	20.0	-	0÷10	30÷34	30÷55	0.3	-
Unità 3	19.0	100÷200	0÷4	20÷23	7÷12	0.3 (*)	5÷10

(*) in condizioni non drenate può essere assunto un valore pari a 0.5

Tabella 1– Borgo Verezzi

-	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]	ν	OCR
Unità 1	19.0	-	0	23÷28	10÷20	0.3	-
Unità 2	20.0	-	0÷10	30÷35	30÷60	0.3	-
Unità 3	20.5	50-120	20	26	5÷20	0.3 (*)	2÷5

(*) in condizioni non drenate può essere assunto un valore pari a 0.5

Tabella 2– Pietra Ligure

	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]	ν	OCR
Unità 1	19.0	-	0	23÷28	10÷20	0.3	-
Unità 2	19.5	-	0	30÷33	25÷40	0.3	-
Unità 3	19.0	50÷160	4÷10	25÷28	8÷20	0.3 (*)	2÷8
CMV-i	20.5	-	0÷10	33÷37	35÷60	0.3	-
ORV	19.5	100÷250	5÷20	24÷27	40÷50	0.25	2÷10

(*) in condizioni non drenate può essere assunto un valore pari a 0.5

Tabella 3– Borghetto S. Spirito 1 e 2

	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]	ν	OCR
Unità 1	19.0	-	0	23÷28	10÷20	0.3	-
Unità 2	20.0	-	0÷5	30÷35	30÷45	0.3	-
Unità 3	20.0	50÷160	3÷15	21÷25	4÷15	0.3*	4÷20
CMV-c	20.0	70÷200	3÷15	23÷27	8÷20	0.25	2÷16
CMV-i	20.0	-	-	33÷38	35÷50	0.3	-
ORV	20.0	140÷200	5÷20	23÷25	30-45	0.25	0÷5

(*) in condizioni non drenate può essere assunto un valore pari a 0.5

Tabella 4– Ceriale 1, 2, 3

	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]	ν	OCR
Unità 1	19.0	-	0	23÷28	10÷20	0.3	-
Unità 2	20.0	-	0	30÷35	30÷55	0.3	-
Unità 3	19.5	50÷100	0÷2	22÷28	5÷20	0.3*	2÷7
CMV-i	21.0	-	-	33÷36	30÷40	0.3	-
ORV	20.5	100÷200	5÷10	22÷24	20÷30	0.25	3÷10

(*) in condizioni non drenate può essere assunto un valore pari a 0.5

Tabella 5– Albenga 1, 2

	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]	ν	OCR
Unità 1	19.0	-	0	23÷28	10÷20	0.3	-
Unità 2	20.0	-	-	30÷33	20÷40	0.3	-
Unità 3	20.0	70÷100	10÷20	25÷28	5÷15	0.3*	2÷5

(*) in condizioni non drenate può essere assunto un valore pari a 0.5

Tabella 6 – Alassio

	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]	ν	OCR
Unità 1	19.0	-	0	23÷28	10÷20	0.3	-
Unità 2	20.0	-	-	30÷34	30÷45	0.3	-
Unità 3	20.0	30÷100	10÷20	25÷28	5÷15	0.3*	2÷5
ORV	20.0	100÷200	20	22÷25	20÷30	0.25	3÷5

(*) in condizioni non drenate può essere assunto un valore pari a 0.5

Tabella 7 – Andora

6.2 Unità rocce

- FORMAZIONE DI ALBENGA (ALN) e (ALN alt)
- CONGLOMERATI DI MONTE VILLA (CMV)
- FLYSCH DI S.REMO (ELM) e (ELM alt)
- PELITI DI MOGLIO (MOG) e (MOG alt)
- QUARZITI DI PONTE DI NAVA (PDN) e (PDN alt)
- DOLOMIE DI SAN PIETRO DEI MONTI (SPM)
- FORMAZIONE DI TESTICO (TES)

	Class. di Hoek e Brown				Parametri di ammasso		Parametri equivalenti di Mohr - Coulomb	
	γ [kN/m ³]	σ_c [MPa]	m_i	GSI	E' [MPa]	σ_{cm} [MPa]	c' eq. [kPa]	ϕ' eq. [°]
ALN Formazione di Albenga	24.5	20.0	10	40÷60	2500÷8000	2.5÷4.0	800÷1100	27÷33
ALN alt Formazione alterata di Albenga	24.5	10.0	10	10÷20	300÷550	0.5÷0.8	190÷270	18÷21
CMV Conglomerati di Monte Villa	22.2	15.6	17	60÷70	6700÷9500	4.0÷5.4	1000÷1200	38÷41
ELM Flysch di San Remo	26.4	70	8	25÷35	1900÷3500	6.0÷7.8	2000÷2500	21÷24
SPM Dolomie di San Piero nei Monti	27.8	60	9	40÷50	4700÷9200	9.0÷9.8	2400÷2900	26÷29
MOG Peliti di Moglio	26.8	33	7	15÷20	350÷450	1.8÷2.2	650÷800	17÷18
MOG alt Peliti di Moglio alterate	25	15	7	10÷15	300÷350	0.68÷0.8	200÷300	15÷17
PDN Quarziti di Ponte Nava	24.5	50	17	40÷45	3500÷4900	9.0÷10.0	2500÷2700	32÷33

	γ [kN/m ³]	Class. di Hoek e Brown			Parametri di ammasso		Parametri equivalenti di Mohr - Coulomb	
		σ_c [MPa]	m_i	GSI	E' [MPa]	σ_{cm} [MPa]	c' eq. [kPa]	ϕ' eq. [°]
PDN alt Quarziti di Ponte Nava alterate	24.5	50	17	15÷20	800÷1000	4.0÷5.0	1400÷1700	24÷26
TES Formazione di Testico	24.0	8	8	20÷25	500÷670	0.5÷0.6	190÷220	19÷21

Tabella 8 – Rocce

7 INQUADRAMENTO SISMICO

L'inquadramento sismico del territorio d'intervento è discusso in dettaglio nella Relazione geotecnica generale (Doc. rif. [2]).

Il terremoto storico più significativo, in termini di magnitudo ed intensità, è quello con area epicentrale Liguria occidentale nel 1887, con intensità al sito (MCS) Is pari a 7-8 e magnitudo $M_w = 6,29$.

7.1 Valutazione dell'azione sismica su suolo rigido

Nel seguito si definiscono le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite, definite sulla base della "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, secondo quanto previsto dalle NTC2018.

La vita nominale è stata assunta pari a 75 anni, in accordo alle istruzioni RFI n. 44G per infrastrutture ferroviarie nuove non ad alta velocità ($v \leq 250$ km/h) e la classe d'uso è la III, cui corrisponde un valore di C_u pari a 1.5 (par.2.4.2 NTC2018). Il periodo di riferimento, pertanto, risulta $V_R = C_u * V_N = 112.5$ anni.

Con riferimento ai comuni interessati dal tracciato ferroviario, sono stati ricavati i valori di accelerazione su suolo rigido a_g ed i parametri F_0 e T_c^* , che si riportano nella tabella seguente per il periodo di ritorno dello stato limite ultimo SLV.

Questi valori sono stati determinati tramite interpolazione dei valori della griglia, impiegando il foglio di calcolo "Spettri-NTC ver. 1.0.3" fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Comune	STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
Finale Ligure	SLV	1068	0.130	2.499	0.304
Borgio Verezzi	SLV	1068	0.123	2.508	0.306
Pietra Ligure	SLV	1068	0.130	2.499	0.304
Borghetto S. Spirito	SLV	1068	0.154	2.467	0.301
Ceriale	SLV	1068	0.166	2.462	0.300
Albenga	SLV	1068	0.179	2.456	0.300
Alassio	SLV	1068	0.196	2.460	0.300
Andora	SLV	1068	0.197	2.464	0.301

Tabella 9 - Valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per suolo rigido

7.2 Categoria di suolo di fondazione ai fini del calcolo dell'azione sismica

Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ad essa collegata. Il valore di a_{max} può essere valutato con la relazione di seguito riportata, in funzione delle caratteristiche sismiche del sito (a_g) precedentemente definite ed agli effetti locali legati principalmente alla stratigrafia dell'area interessata ed alla sua topografia:

$$a_{max} = S * a_g = S_S * S_T * a_g$$

Il coefficiente stratigrafico S_s viene definito sulla base della categoria di sottosuolo incontrata. Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle prove MASW. Per la definizione della categoria topografica, per l'analisi delle tratte all'aperto si considera una categoria T3, da cui il coefficiente $S_T = 1.2$.

Area	Prova	$V_{s,30}$ [m/s]	Categoria
Andora	MASW1	395	B
Andora	MASW2	348	C
Andora	MASW3	305	E
Alassio	MASW4	446	B
Alassio	MASW5	551	B
Albenga	MASW6	463	B
Albenga	MASW7	346	E
Albenga	MASW8	528	B
Albenga	MASW9	429	B
Albenga	MASW10	337	E
Ceriale	MASW11	404	B
Ceriale	MASW12	478	B
Ceriale	MASW13	474	B
Ceriale	MASW14	573	B
Borghetto S. Spirito	MASW15	333	C
Borghetto S. Spirito	MASW16	512	B
Borghetto S. Spirito	MASW17	427	B
Borghetto S. Spirito	MASW18	-	-
Borghetto S. Spirito	MASW19	626	B
Borghetto S. Spirito	MASW20	-	-
Pietra Ligure	MASW21	620	B
Pietra Ligure	MASW22	412	B
Pietra Ligure	MASW23	398	B
Borgio Verezzi	MASW24	456	B
Finale Ligure	MASW25	411	B

Tabella 10. Sintesi dei risultati delle prove MASW e categoria di sottosuolo definita

	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Relazione di calcolo stabilità e cedimenti	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IV01	00	D26 CL	GE 00 05 001	A	16 di 31

8 CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

Per le opere in esame, la normativa vigente richiede l'esecuzione delle seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese (par. 6.2.3. delle NTC2018):

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

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

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 NTC2018})$$

dove:

- E_d valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;
- R_d valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione $E_d \leq R_d$ deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I coefficienti da adottarsi nelle diverse combinazioni sono definiti in funzione del tipo di verifica da effettuare (si vedano i paragrafi seguenti). Si sottolinea che, per quanto concerne le azioni di progetto E_d , tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali di cui sopra alle azioni caratteristiche, oppure, a posteriori, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche (Par. 6.2.3.1 NTC2018).

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

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 NTC2018})$$

dove:

- E_d valore di progetto dell'effetto dell'azione;
- C_d valore limite prescritto dell'effetto delle azioni (definito Progettista Strutturale).

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

In base a quanto indicato dalle NTC 2018 le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per opere costituite da materiali sciolti sono le seguenti.

8.1 Stato limite ultimo (SLU)

Le verifiche di stabilità in campo statico di opere in materiali sciolti, quali rilevati, devono essere eseguite secondo l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2 + M2 + R2), tenendo conto dei coefficienti parziali sotto definiti.

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

essendo R resistenza globale del sistema (vedasi Par. C.6.8.6.2 NTC2018), calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto $R = R \left[\gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d \right]$

La stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive ed al termine della costruzione. Lo studio si focalizza sulla verifica di stabilità del complesso manufatto-terreno di fondazione e, quindi, dei meccanismi dipendenti dalle caratteristiche di entrambe le componenti e che non riguardano la sola stabilità interna dell'opera.

Facendo riferimento a quanto richiesto dalle NTC, per le verifiche agli stati limite ultimi si sono adottati i valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle che seguono.

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella 11. Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tab. 6.2.I – NTC2018)

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_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
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 12. Coefficienti parziali per i parametri geotecnici (Tab. 6.2.II – NTC2018)

	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Relazione di calcolo stabilità e cedimenti	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IV01	00	D26 CL	GE 00 05 001	A	18 di 31

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Tabella 13. Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale (Tab. 6.8.I – NTC2018)

8.2 Stato limite di Esercizio (SLE)

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali (Par. 6.5.3.2 NTC2018), che gli spostamenti dell'opera in esame e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità della struttura e con la sicurezza e la funzionalità di manufatti adiacenti.

8.3 Verifiche in condizioni sismiche

La stabilità globale in condizioni sismiche e post-sismiche di opere in materiali sciolti, quali rilevati e trincee, è verificata secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2 + M2 + R2), considerano unitari i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici. Inoltre, affinché siano garantite le condizioni di stabilità il coefficiente di sicurezza deve risultare superiore al coefficiente parziale γ_R che in condizioni sismiche risulta essere pari a 1.2.

	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Relazione di calcolo stabilità e cedimenti	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D26 CL	DOCUMENTO GE 00 05 001	REV. A	FOGLIO 19 di 31

9 AZIONI DI PROGETTO

Le azioni di progetto considerate nella analisi sono state definite coerentemente a quanto prescritto nelle NTC2018 e sono di seguito descritte.

9.1 Azioni permanenti

I carichi permanenti sono stati calcolati assumendo:

Peso del rilevato ferroviario 20 kN/m³

9.2 Azioni variabili

Le azioni variabili sono rappresentate dai carichi da traffico ferroviario. Nel caso specifico è stato tenuto conto di un sovraccarico uniformemente distribuito sull'estensione del ballast del valore di 20 kPa.

9.3 Azione sismica

L'azione sismica di progetto è stata definita sulla base della pericolosità sismica di base viene tenuta in conto mediante un approccio pseudo-statico (§7.11.4 NTC2018) considerando un'azione statica equivalente definita dal prodotto tra il peso W del volume di terreno potenzialmente instabile ed i coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v definiti secondo le seguenti relazioni:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g$$

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

dove:

a_{max} l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità;

k_h e k_v coefficienti sismici in direzione orizzontale e verticale;

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima in sito. Nel caso di verifiche dello stato limite ultimo (SLV) di fronti di scavo e rilevati è pari a 0.38 (§7.11.4 delle NTC2018).

I valori di k_h e k_v utilizzati nelle analisi sono riportati nei capitoli seguenti.

10 METODOLOGIA DI CALCOLO

Nei paragrafi che seguono si descrive in maniera sintetica la metodologia di calcolo adottata per le verifiche delle opere in oggetto.

10.1 Analisi di stabilità globale

Le analisi di stabilità sono state condotte adottando il metodo all'equilibrio limite, che consente di determinare un coefficiente di stabilità (FS) in condizioni statiche ed in condizioni sismiche.

I metodi all'equilibrio limite si basano sulla considerazione dell'equilibrio di un blocco (o "cuneo") rigido di terreno soggetto sia all'azione del peso proprio sia a quella di eventuali forze esterne di varia natura (sovraccarichi verticali, azioni dei tiranti, forze di inerzia sismiche, ecc.); inoltre è possibile considerare la presenza della falda all'interno del pendio, trascurando il fenomeno di filtrazione.

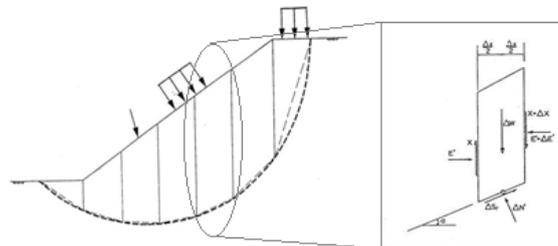


Figura 1. Discretizzazione per concci ed esempio di schema delle forze agenti

Il blocco, dunque, viene dapprima suddiviso in concci e l'equilibrio globale è analizzato come somma dell'equilibrio di ciascuno di essi facendo delle assunzioni semplificative sulle forze reciproche tra i concci. Infine, i diversi metodi consentono di valutare un valore del coefficiente di sicurezza medio della superficie di scivolamento definito come:

$$F_s = \frac{(\tau_{ult})_m}{\tau_m}$$

essendo $(\tau_{ult})_m$ la resistenza al taglio media del terreno lungo la superficie di scivolamento e τ_m la tensione tangenziale media mobilitata lungo la superficie di scivolamento.

Le verifiche di stabilità globale dei rilevati in esame sono state condotte mediante l'ausilio del programma di calcolo SLOPE/W (GeoStudio) e con riferimento al metodo dell'equilibrio limite di Morgenstern-Price. Lo studio è stato eseguito trascurando le superfici più corticali in quanto poco significative per la stabilità globale e dipendenti dalle sole caratteristiche del materiale dal rilevato. Nel caso di materiali con parametri sia drenati sia non drenati si riportano le superfici di rottura solo nelle condizioni più critiche. Gli output di calcolo del programma sono riportati in allegato.

10.2 Calcolo dei cedimenti

In via preliminare, il calcolo dei cedimenti è eseguito per mezzo di metodi analitici e con riferimento alla teoria del semispazio elastico per la definizione dei livelli tensionali indotti nel terreno di fondazione dalla realizzazione dei rilevati.

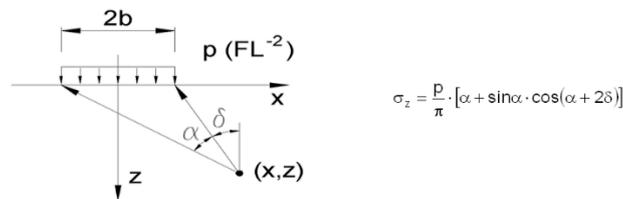


Figura 2. Incremento di tensione indotto dal carico sul terreno

Ai fini applicativi il sottosuolo viene schematizzato con una successione di strati orizzontali di spessore finito ΔH_i . La stima del cedimento immediato in terreni stratificati è valutata mediante la formula seguente:

$$w = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta H_i \cdot \Delta \sigma_{zi}}{E_i}$$

dove:

- n numero degli strati di terreno;
- ΔH_i altezza dello strato i-esimo;
- $\Delta \sigma_{zi}$ incremento medio della pressione verticale indotto dall'area di carico nello strato i-esimo;
- E_i modulo elastico dello strato i-esimo.

Nel caso di sottosuolo formato da terreni permeabili (ghiaie, sabbie), sia in assenza che in presenza di falda idrica, i cedimenti delle fondazioni si verificano subito dopo l'applicazione dei carichi (cedimenti immediati). Nel caso di sottosuolo formato da terreni coesivi saturi, i cedimenti delle fondazioni si verificano in parte subito dopo l'applicazione dei carichi (cedimenti immediati, dovuti a deformazioni del terreno in condizioni non drenate) ed in parte nel tempo (cedimenti dovuti alla consolidazione del terreno di fondazione). Nel caso di questi ultimi cedimenti, oltre al valore finale al termine del processo di consolidazione, viene valutato il "decorso nel tempo", cioè il modo come i cedimenti gradualmente si manifestano, tramite la teoria della consolidazione di Terzaghi.

Il decorso della consolidazione avviene in un tempo più o meno lungo in relazione ai valori del coefficiente di permeabilità (k) e del modulo di deformabilità dello scheletro solido (E_{ed}), da cui si ricava il coefficiente di consolidazione (c_v), nonché al percorso massimo (H) che deve fare l'acqua per raggiungere le superfici drenanti al contorno.

Il valore di H dipende dalle condizioni di drenaggio dello strato di argilla soggetto a consolidazione. Come detto, nel caso di strato con una sola superficie drenante, H coincide con lo spessore dello strato, mentre è pari alla metà dello spessore dello strato se il drenaggio può avvenire verso l'alto e verso il basso (condizione di doppio drenaggio). Il valore di c_v si ricava dai risultati delle prove di laboratorio.

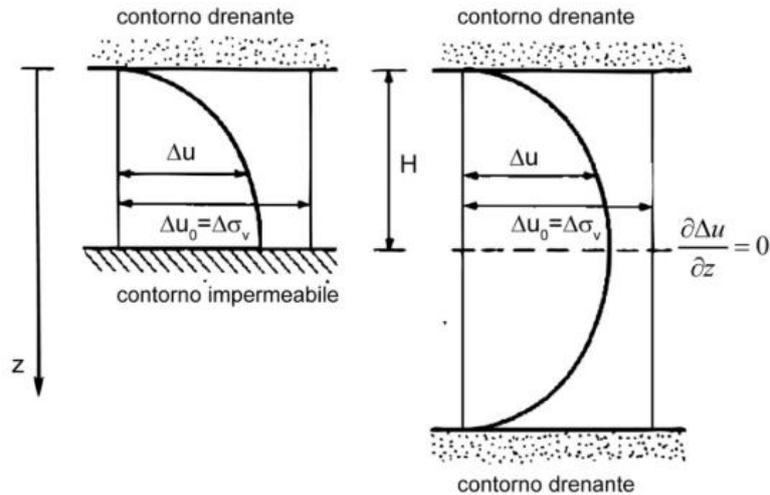


Figura 3. Definizione del percorso di drenaggio

Il fattore tempo \$T_v\$ è valutato come:

$$T_v = c_v \cdot \frac{t}{H^2}$$

Il grado di consolidazione medio \$U_m\$ è valutato in funzione di \$T_v\$ e rappresenta l'evoluzione nel tempo del processo di consolidazione del terreno:

$$U_m = \frac{\left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{0.5}}{\left[1 + \left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{2.8}\right]^{0.179}}$$

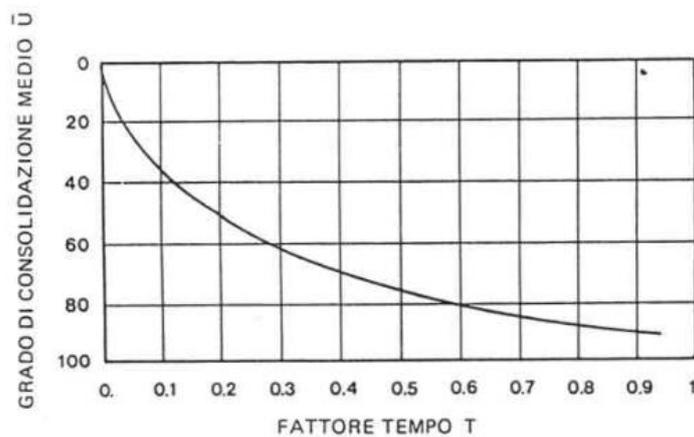


Figura 4. Variazione del grado di consolidazione medio \$U_m\$ con il fattore tempo \$T_v\$

11 RILEVATI E TRINCEE

Le caratteristiche delle opere in terra sono in accordo a quanto indicato in Capitolato. Nel caso di rilevati (o trincee) aventi notevole altezza (profondità), le linee guide impongono la realizzazione di banche di scarpata della larghezza di 2 m a quota idonea e comunque ad una distanza verticale dal ciglio del rilevato non superiore a 6 m. Le scarpate dovranno avere pendenze 2H:3L.

Per la realizzazione dei rilevati è previsto l'utilizzo di materiale i cui parametri di progetto sono:

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3, \varphi' = 38^\circ, c' = 0 \text{ kPa}, E_{op} = 40 \text{ MPa}.$$

11.1 Sezioni di calcolo

Il tracciato di progetto prevede la realizzazione di alcuni rilevati e una zona in trincea, le cui geometrie sono determinate da esigenze stradali e dalla morfologia del contesto d'inserimento. Un inquadramento generale delle aree in rilevato è fornito nei Profili geotecnici (Doc. rif. [3]),

Si riscontra la presenza di rilevati fino a 11 m di altezza e di trincee che superano i 9m di profondità. Ai fini del predimensionamento, sono state selezionate due sezioni trasversali ritenute più critiche in base alle caratteristiche geometriche delle opere (altezza e larghezza) e alle proprietà meccaniche dei terreni presenti nelle aree d'interesse. Le caratteristiche geometriche delle sezioni scelte sono riassunte nella tabella seguente ed illustrate in maniera semplificata nelle figure che seguono.

ID	Zona omogenea	Tipologia	pk di riferimento	Altezza, prof. [m]	Larghezza [m]
T1	Ceriale	Trincea	83+000	9.5	-
R1	Albenga	Rilevato	86+400	6	71

Tabella 14. Caratteristiche geometriche delle sezioni di calcolo

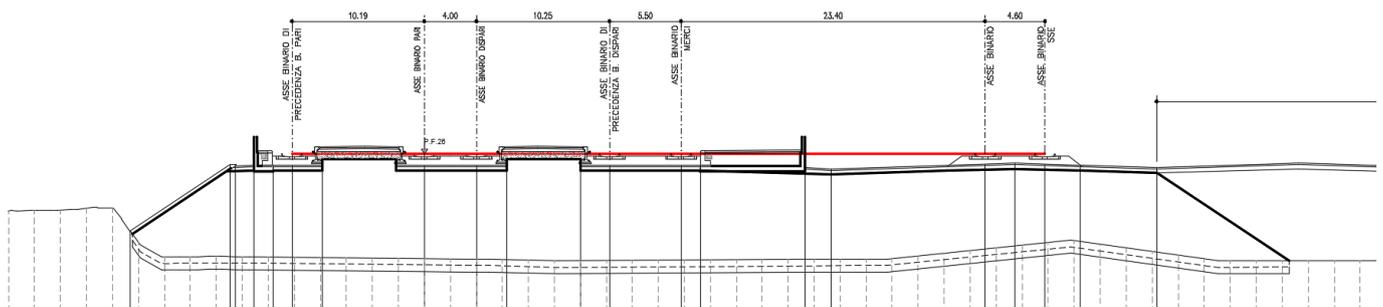
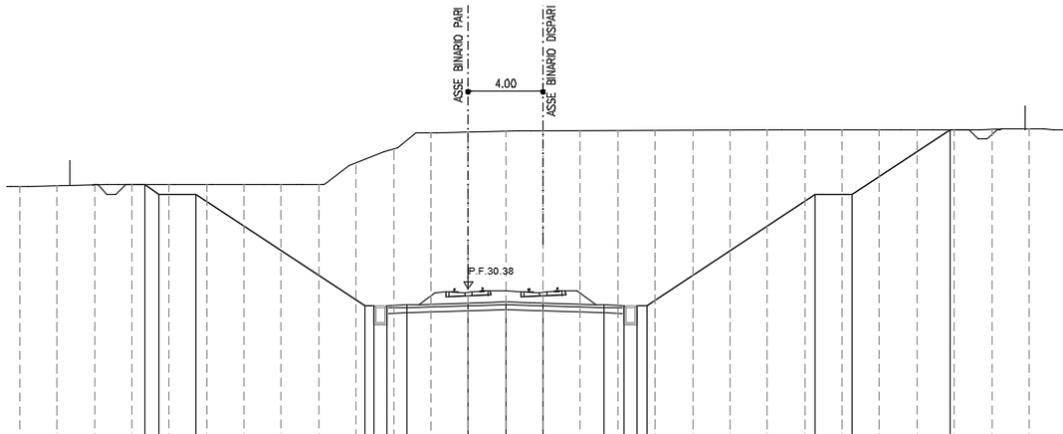


Figura 5. Sezione di calcolo rilevato (pk 86+400)


Figura 6. Sezione di calcolo trincea (pk 83+000)

11.2 Caratterizzazione geotecnica e sismica

Le sezioni in trincea e rilevato analizzate ricadono rispettivamente all'interno delle zone omogenee di Ceriale e Albenga. Si riassumono nelle tabelle seguenti i parametri geotecnici e sismici di progetto.

ID	Zona omogenea	Parametri geotecnici
T1	Ceriale	Tabella 4
R1	Albenga	Tabella 5

Tabella 15. Caratteristiche geotecniche delle sezioni di calcolo

ID	Zona omogenea	Categoria di sottosuolo	a_g [g]	S_s	S_T	a_g [g]	k_h	k_v
T1	Ceriale	B	0.166	1.2	1.2	0.239	0.091	± 0.045
R1	Albenga	B, E	0.179	1.52 (cat.E)	1.2	0.324	0.123	± 0.062

Tabella 16. Caratteristiche sismiche delle sezioni di calcolo

11.3 Risultati

Sezione tipo T1

I risultati delle analisi indicano fattori di sicurezza minimi sufficienti a garantire la stabilità dell'opera in condizioni statiche e sismiche, coerentemente alla normativa vigente.



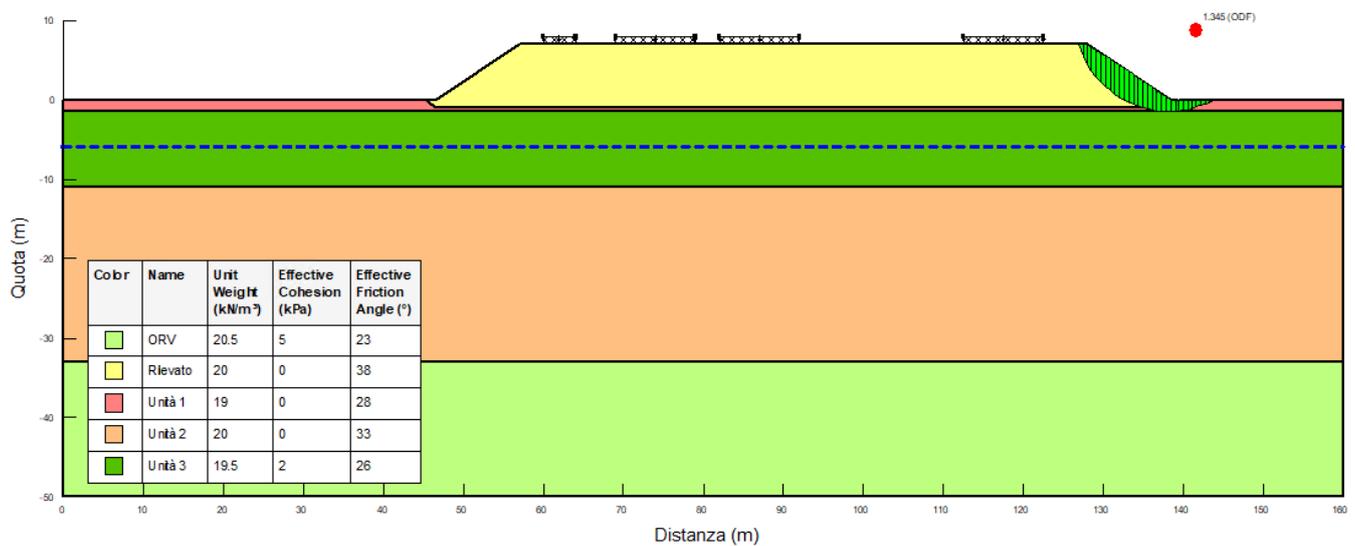
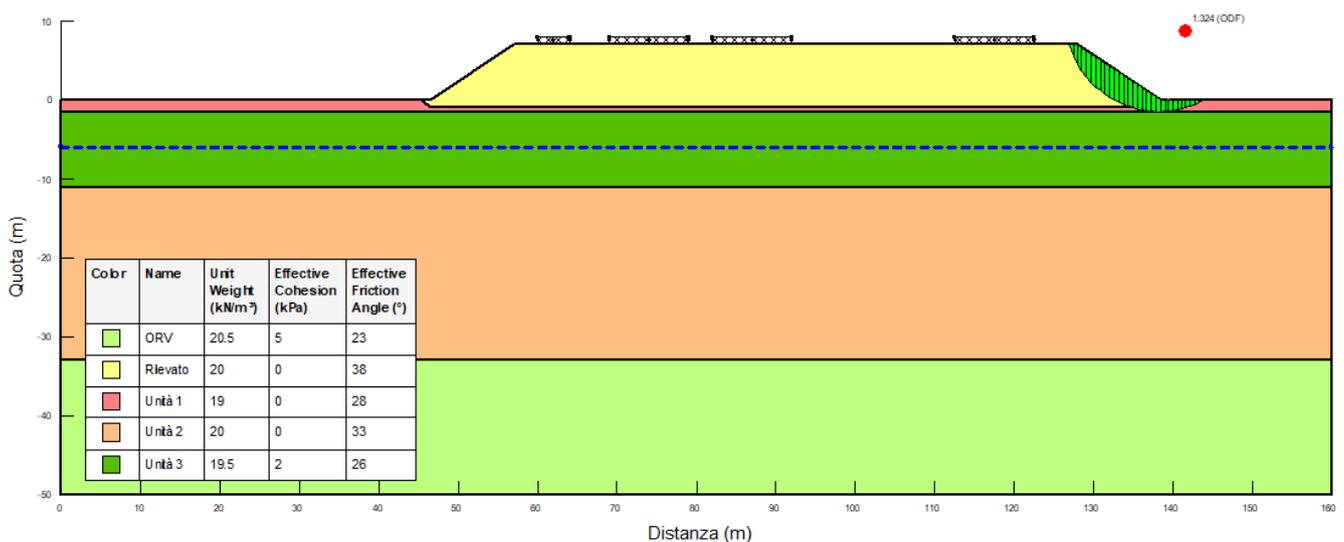
Figura 7 - Sezione tipo T1: risultati dell'analisi di stabilità globale in condizioni statiche



Figura 8 - Sezione tipo T1: risultati dell'analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Sezione tipo R1

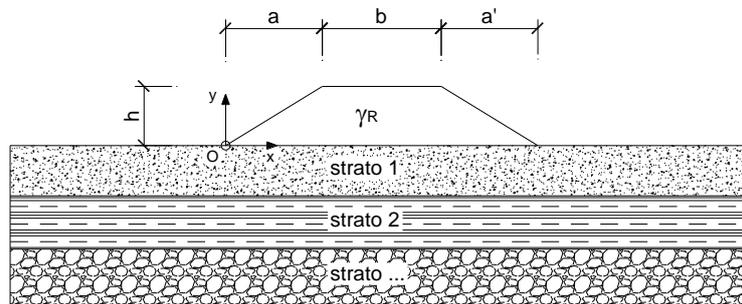
I risultati delle analisi di stabilità eseguite mostrano che in condizioni statiche e sismiche non si sviluppano superfici di scorrimento critiche in quanto il valore minimo del coefficiente di stabilità FS risulta superiore al valore del coefficiente γ_R prescritto dalle NTC2018. Il rilevato risulta, quindi, stabile. Nelle figure seguenti si mostrano le superfici di rottura critiche per la stabilità globale rilevato-terreno, ignorando le superfici interne al solo rilevato.


Figura 9 - Sezione tipo R1: risultati dell'analisi di stabilità globale in condizioni statiche

Figura 10 - Sezione tipo R1: risultati dell'analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Il cedimento massimo stimato è di circa 16 cm. Non si prevedono significativi cedimenti differenziali in fase di esercizio e, pertanto, le verifiche agli SLE sono da ritenersi soddisfatte.

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Andora-Finale Ligure


CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	7.00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	10.50	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	10.50	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	71.00	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

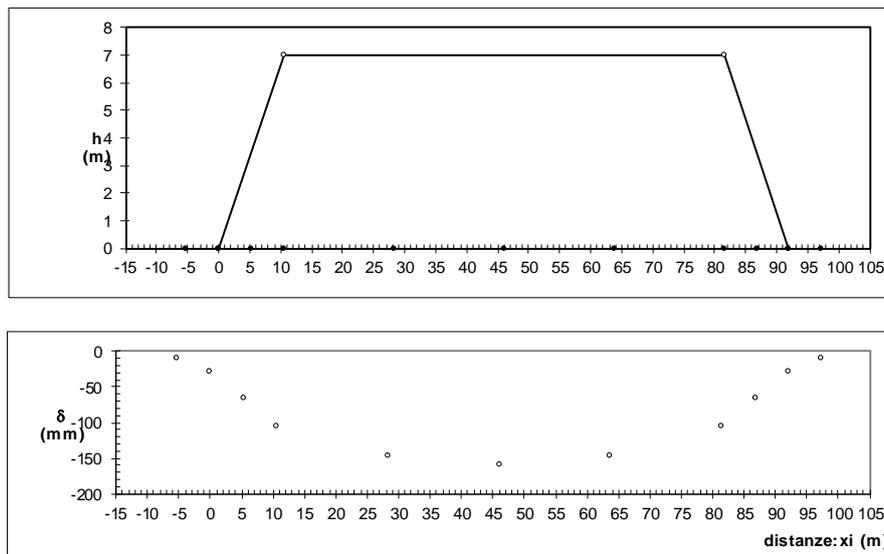
n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	10	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	6.00	(m)

Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	1.50	1.50	0.5	25.0	0.30	28.0	19.00	Unità 1
2	1.50	11.00	9.50	0.5	20.0	0.30	26.0	19.50	Unità 3
3	11.00	33.00	22.00	0.5	50.0	0.30	33.0	20.00	Unità 2
4	33.00	100.00	67.00	0.5	35.0	0.25	23.0	20.50	ORV
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-5.25	0.00	5.25	10.50	28.25	46.00	63.75	81.50	86.75	92.00	97.25

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-5.25	0.00	5.25	10.50	28.25	46.00	63.75	81.50	86.75	92.00	97.25

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
-1.00	-2.82	-6.55	-10.43	-14.72	-15.85	-14.72	-10.43	-6.55	-2.82	-1.00

Figura 11 - Risultati dell'analisi dei cedimenti

Nella sezione considerata, data la natura incoerente del terreno di fondazione, il cedimento si verificherà nel corso della posa del materiale e delle successive fasi costruttive. Nelle altre zone del tracciato dove sono presenti terreni di natura incoerente i cedimenti si esauriranno nel corso della posa del materiale stesso.

La stima del decorso dei cedimenti è stata effettuata considerando un range del coefficiente di consolidazione c_v , tra $0.005 \text{ cm}^2/\text{sec}$ e $0.01 \text{ cm}^2/\text{sec}$. Il percorso di drenaggio viene preso cautelativamente pari all'altezza dell'intero strato dell'Unità 3 coesiva. A favore di sicurezza si assume che l'intero dominio esibisca una risposta perfettamente non drenata nel breve termine e che il cedimento totale sia interamente imputabile ai fenomeni di dissipazione delle sovrappressioni interstiziali che avranno luogo nelle fasi successive alla costruzione. Ci si aspetta che questa sia una condizione limite in quanto lungo il tracciato l'Unità 3 non risulta continua, ma intervallata dall'Unità 2 incoerente.

Con queste assunzioni limite, ci si attende che il cedimento si esaurisca nel caso peggiore in 2.5-5.5 anni.

Formulazione Teorica (Lancellotta; 1987)

$$U_m = (4Tv/\pi)^{0,5} / ((1 + (4Tv/\pi)^{2,8})^{0,179})$$

$$Tv = ((\pi/4)(U_m)^2 / (1 - (U_m)^{5,6})^{0,357})$$

$$Tv = cv \cdot t / h^2$$

$$U_m = \delta_t / \delta_{tmax}$$

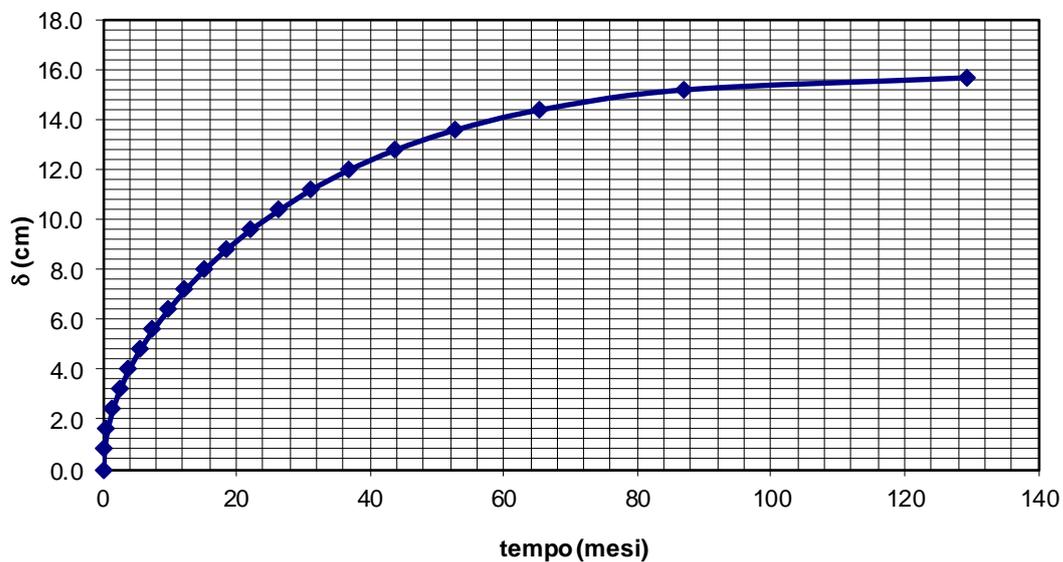
DATI DI INPUT:

$\delta_{tmax} =$ 16.00 (cm) (Cedimento massimo)

$h =$ 10.00 (m) (Massimo Percorso di Drenaggio)

$cv =$ 5.00.E-07 (m²/sec) (Coeff. di Consolidazione)

Andamento del Cedimento nel Tempo



$U_m =$ 90 (%) $t =$ 65.50 (mesi) $\delta_t =$ 14.40 (cm)

Formulazione Teorica (Lancellotta; 1987)

$$U_m = (4Tv/\pi)^{0,5} / ((1 + (4Tv/\pi)^{2,8})^{0,179})$$

$$Tv = ((\pi/4)(U_m)^2 / (1 - (U_m)^{5,6})^{0,357})$$

$$Tv = cv \cdot t / h^2$$

$$U_m = \delta_t / \delta_{tmax}$$

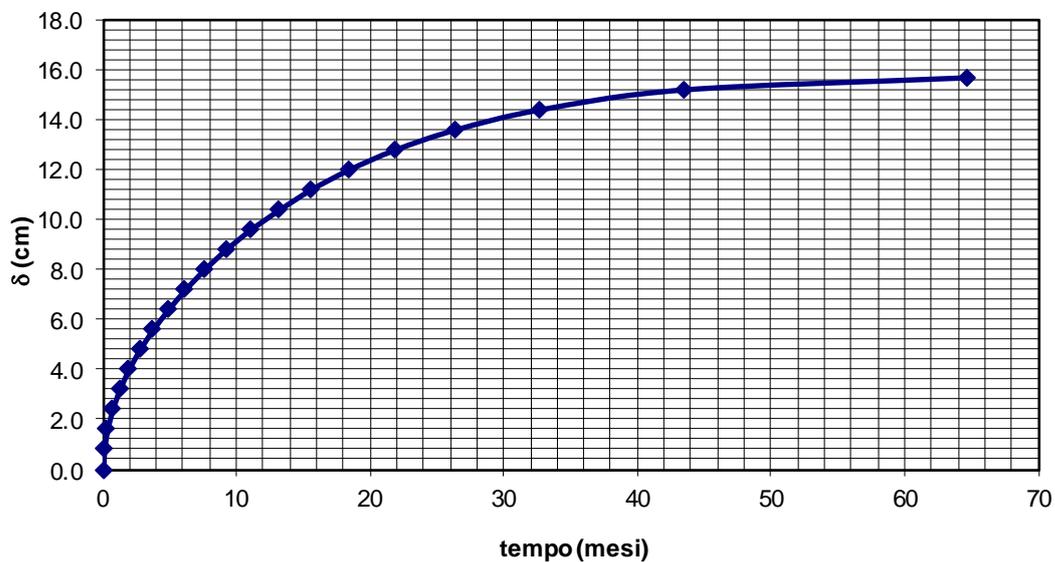
DATI DI INPUT:

$\delta_{tmax} =$ 16.00 (cm) (Cedimento massimo)

$h =$ 10.00 (m) (Massimo Percorso di Drenaggio)

$cv =$ 1.00.E-06 (m²/sec) (Coeff. di Consolidazione)

Andamento del Cedimento nel Tempo



$U_m =$ 90 (%) $t =$ 32.75 (mesi) $\delta_t =$ 14.40 (cm)



PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA

TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

Relazione di calcolo stabilità e cedimenti

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D26 CL	GE 00 05 001	A	31 di 31

ALLEGATO: OUTPUT DI CALCOLO

R1-SISM

Report generated using GeoStudio 2021.4. Copyright © 1991-2022 GEOSLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 11.03
Title: L1
Created By: kronos
Last Edited By: kronos
Revision Number: 106
Date: 05/07/2024
Time: 16:15:15
Tool Version: 11.3.1.23726
File Name: Rilevato pk 86+400.gsz
Directory: K:\Franca CARVELLI\091.10 Andora-Finale Ligure\Rilevati e trincee\Stabilità globale\
Last Solved Date: 05/07/2024
Last Solved Time: 16:15:18

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

R1-SISM

Kind: SLOPE/W
Analysis Type: Morgenstern-Price
Settings
Side Function
Interslice force function option: Half-Sine
PWP Conditions from: Piezometric Line
Apply Phreatic Correction: No
Use Staged Rapid Drawdown: No
Limit State Design Approach: NTC2018_SISM
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³

Slip Surface
Direction of movement: Left to Right
Use Passive Mode: No
Slip Surface Option: Entry and Exit
Critical slip surfaces saved: 1
Optimize Critical Slip Surface Location: No
Tension Crack Option: (none)

Distribution
ODF Calculation Option: Constant

Advanced
Geometry Settings
Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m
Number of Slices: 30
Overdesign Factor Convergence Settings
Maximum Number of Iterations: 100
Tolerable difference in ODF: 0.001
Under-Relaxation Criteria
Initial Rate: 1
Minimum Rate: 0.1

Rate Reduction Factor: 0.65
Reduction Frequency (iterations): 50
Solution Settings
Search Method: Root Finder
Tolerable difference between starting and converged ODF: 3
Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
Max Absolute Lambda: 2

Materials

Rilevato

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Effective Cohesion: 0 kPa
Effective Friction Angle: 38 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Unità 1

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Effective Cohesion: 0 kPa
Effective Friction Angle: 28 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Unità 2

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Effective Cohesion: 0 kPa
Effective Friction Angle: 33 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Unità 3

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m³
Effective Cohesion: 2 kPa
Effective Friction Angle: 26 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

ORV

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20.5 kN/m³
Effective Cohesion: 5 kPa
Effective Friction Angle: 23 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range

Left-Zone Left Coordinate: (111.02617; 7) m

Left-Zone Right Coordinate: (127; 7) m

Left-Zone Increment: 15

Right Type: Range

Right-Zone Left Coordinate: (142; 0) m

Right-Zone Right Coordinate: (160; 0) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m

Right Coordinate: (160; 0) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	-6 m
Coordinate 2	160 m	-6 m

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0.123

Vert Seismic Coef.: 0.062

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 25 kN/m³

Direction: Vertical

Mode: Variable

Coordinates

	X	Y
	60 m	8 m
	64 m	8 m

Surcharge Load 2

Surcharge (Unit Weight): 25 kN/m³

Direction: Vertical

Mode: Variable

Coordinates

	X	Y
	69 m	8 m
	79 m	8 m

Surcharge Load 3

Surcharge (Unit Weight): 25 kN/m³

Direction: Vertical

Mode: Variable

Coordinates

	X	Y
	112.5 m	8 m
	122.5 m	8 m

Surcharge Load 4

Surcharge (Unit Weight): 25 kN/m³

Direction: Vertical

Mode: Variable

Coordinates

	X	Y
	82 m	8 m
	92 m	8 m

Design Factor Set: NTC2018_SISM

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 0

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1

Effective Coefficient of Friction: 1

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

Geometry

Name: R2

Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

Points

	X	Y
Point 1	46.5 m	0 m
Point 2	57 m	7 m
Point 3	128 m	7 m
Point 4	138.5 m	0 m
Point 5	0 m	0 m
Point 6	160 m	0 m
Point 7	160 m	-1.5 m
Point 8	0 m	-1.5 m

Point 9	160 m	-3.4 m
Point 10	0 m	-3.4 m
Point 11	160 m	-7 m
Point 12	0 m	-7 m
Point 13	160 m	-11 m
Point 14	0 m	-11 m
Point 15	160 m	-33 m
Point 16	0 m	-33 m
Point 17	0 m	-50 m
Point 18	160 m	-50 m
Point 19	139.5 m	0 m
Point 20	138.5 m	-1 m
Point 21	45.5 m	0 m
Point 22	46.5 m	-1 m

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	Rilevato	1;2;3;4	570.5 m ²
Region 2	Unità 1	5;21;22;20;19;6;7;8	147 m ²
Region 3	Unità 3	8;7;9;10	304 m ²
Region 4	Unità 3	10;9;11;12	576 m ²
Region 5	Unità 3	12;11;13;14	640 m ²
Region 6	Unità 2	14;13;15;16	3,520 m ²
Region 7	ORV	16;17;18;15	2,720 m ²
Region 8	Rilevato	1;21;22;20;19;4	93 m ²

Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 1246 of 1680 converged

Current Slip Surface

Slip Surface: 1,589

Overdesign Factor: 1.324

Degree of Utilization: 0.755

Volume: 40.634113 m³

Weight: 807.03201 kN

Resisting Moment: 6,296.9803 kN·m

Activating Moment: 4,756.5256 kN·m

Resisting Force: 462.08127 kN

Activating Force: 348.84887 kN

Slip Rank: 12 of 1,680 slip surfaces

Exit: (143.8; 0) m

Entry: (127; 7) m

Radius: 11.61296 m

Center: (138.17486; 10.159655) m

Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	127.25 m	6.2935491 m	-120.56284 kPa	5.3177616 kPa	4.1546907 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato

Slice 2	127.75 m	5.0745764 m	-108.60837 kPa	16.576393 kPa	12.950898 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 3	128.28436 m	4.0980774 m	-99.031845 kPa	24.994903 kPa	19.528159 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 4	128.85307 m	3.2504505 m	-90.719168 kPa	30.775451 kPa	24.044417 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 5	129.42179 m	2.5401398 m	-83.753151 kPa	35.48083 kPa	27.720662 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 6	129.9905 m	1.9306643 m	-77.776024 kPa	39.509102 kPa	30.867894 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 7	130.55921 m	1.4006123 m	-72.577805 kPa	43.119656 kPa	33.688767 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 8	131.12793 m	0.93612168 m	-68.022545 kPa	46.487243 kPa	36.319815 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 9	131.69664 m	0.52761841 m	-64.016354 kPa	49.727178 kPa	38.851129 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 10	132.26536 m	0.16818426 m	-60.491383 kPa	52.90645 kPa	41.335049 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 11	132.85124 m	-0.15561507 m	-57.315883 kPa	56.13173 kPa	43.854914 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 12	133.45429 m	-0.44544623 m	-54.473509 kPa	59.38438 kPa	46.396163 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 13	134.05735 m	-0.69405076 m	-52.035444 kPa	62.457806 kPa	48.797386 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 14	134.6604 m	-0.90421961 m	-49.974318 kPa	65.166157 kPa	50.913382 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 15	135.25676 m	-1.076571 m	-48.284068 kPa	62.376629 kPa	33.166242 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 16	135.84644 m	-1.2135042 m	-46.941164 kPa	62.327288 kPa	33.140007 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 17	136.43612 m	-1.3185291 m	-45.911185 kPa	61.267754 kPa	32.576642 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 18	137.0258 m	-1.3925186 m	-45.18557 kPa	58.861387 kPa	31.297154 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 19	137.61548 m	-1.4360682 m	-44.758479 kPa	54.765203 kPa	29.119175 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 20	138.20516 m	-1.4495216 m	-44.626542 kPa	48.681451 kPa	25.884387 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 21	138.75 m	-1.4363524 m	-44.755692 kPa	45.249835 kPa	24.059764 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 22	139.25 m	-1.4007021 m	-45.105315 kPa	45.156382 kPa	24.010074 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 23	139.76875 m	-1.3402024 m	-45.698635 kPa	44.043854 kPa	23.418533 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 24	140.30625 m	-1.2527613 m	-46.55617 kPa	41.740731 kPa	22.193941 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 25	140.84375 m	-1.1390874 m	-47.670969 kPa	37.906283 kPa	20.155128 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 26	141.38125 m	-0.99837706 m	-49.050916 kPa	32.689845 kPa	17.381499 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 27	141.91875 m	-0.82958889 m	-50.706222 kPa	26.348304 kPa	14.009642 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 28	142.45625 m	-0.63140162 m	-52.649844 kPa	19.205704 kPa	10.211854 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 29	142.99375 m	-0.40215511 m	-54.898065 kPa	11.599072 kPa	6.1673358 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1

Slice 30	143.53125 m	-0.1397681 m	-57.471294 kPa	3.8254356 kPa	2.0340202 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
-------------	----------------	-----------------	-------------------	------------------	------------------	-------	-------	---------

R1-STAT

Report generated using GeoStudio 2021.4. Copyright © 1991-2022 GEOSLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 11.03
Title: L1
Created By: kronos
Last Edited By: kronos
Revision Number: 106
Date: 05/07/2024
Time: 16:15:15
Tool Version: 11.3.1.23726
File Name: Rilevato pk 86+400.gsz
Directory: K:\Franca CARVELLI\091.10 Andora-Finale Ligure\Rilevati e trincee\Stabilità globale\
Last Solved Date: 05/07/2024
Last Solved Time: 16:15:19

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

R1-STAT

Kind: SLOPE/W
Analysis Type: Morgenstern-Price
Settings
Side Function
Interslice force function option: Half-Sine
PWP Conditions from: Piezometric Line
Apply Phreatic Correction: No
Use Staged Rapid Drawdown: No
Limit State Design Approach: NTC2018_STAT
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
Slip Surface
Direction of movement: Left to Right
Use Passive Mode: No
Slip Surface Option: Entry and Exit
Critical slip surfaces saved: 1
Optimize Critical Slip Surface Location: No
Tension Crack Option: (none)
Distribution
ODF Calculation Option: Constant
Advanced
Geometry Settings
Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m
Number of Slices: 30
Overdesign Factor Convergence Settings
Maximum Number of Iterations: 100
Tolerable difference in ODF: 0.001
Under-Relaxation Criteria
Initial Rate: 1
Minimum Rate: 0.1

Rate Reduction Factor: 0.65
Reduction Frequency (iterations): 50
Solution Settings
Search Method: Root Finder
Tolerable difference between starting and converged ODF: 3
Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
Max Absolute Lambda: 2

Materials

Rilevato

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Effective Cohesion: 0 kPa
Effective Friction Angle: 38 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Unità 1

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Effective Cohesion: 0 kPa
Effective Friction Angle: 28 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Unità 2

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Effective Cohesion: 0 kPa
Effective Friction Angle: 33 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Unità 3

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m³
Effective Cohesion: 2 kPa
Effective Friction Angle: 26 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

ORV

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20.5 kN/m³
Effective Cohesion: 5 kPa
Effective Friction Angle: 23 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range

Left-Zone Left Coordinate: (111.02617; 7) m

Left-Zone Right Coordinate: (127; 7) m

Left-Zone Increment: 15

Right Type: Range

Right-Zone Left Coordinate: (142; 0) m

Right-Zone Right Coordinate: (160; 0) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m

Right Coordinate: (160; 0) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	-6 m
Coordinate 2	160 m	-6 m

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 25 kN/m³

Direction: Vertical

Mode: Permanent

Coordinates

	X	Y
	60 m	8 m
	64 m	8 m

Surcharge Load 2

Surcharge (Unit Weight): 25 kN/m³

Direction: Vertical

Mode: Permanent

Coordinates

	X	Y
	69 m	8 m
	79 m	8 m

Surcharge Load 3

Surcharge (Unit Weight): 25 kN/m³

Direction: Vertical

Mode: Permanent

Coordinates

	X	Y
	112.5 m	8 m
	122.5 m	8 m

Surcharge Load 4

Surcharge (Unit Weight): 25 kN/m³

Direction: Vertical

Mode: Permanent

Coordinates

	X	Y
	82 m	8 m
	92 m	8 m

Design Factor Set: NTC2018_STAT

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 1.3

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1.25

Effective Coefficient of Friction: 1.25

Undrained Strength: 1.4

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

Geometry

Name: R2

Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

Points

	X	Y
Point 1	46.5 m	0 m
Point 2	57 m	7 m
Point 3	128 m	7 m
Point 4	138.5 m	0 m
Point 5	0 m	0 m
Point 6	160 m	0 m
Point 7	160 m	-1.5 m
Point 8	0 m	-1.5 m
Point 9	160 m	-3.4 m
Point 10	0 m	-3.4 m
Point 11	160 m	-7 m
Point 12	0 m	-7 m
Point 13	160 m	-11 m

Point 14	0 m	-11 m
Point 15	160 m	-33 m
Point 16	0 m	-33 m
Point 17	0 m	-50 m
Point 18	160 m	-50 m
Point 19	139.5 m	0 m
Point 20	138.5 m	-1 m
Point 21	45.5 m	0 m
Point 22	46.5 m	-1 m

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	Rilevato	1;2;3;4	570.5 m ²
Region 2	Unità 1	5;21;22;20;19;6;7;8	147 m ²
Region 3	Unità 3	8;7;9;10	304 m ²
Region 4	Unità 3	10;9;11;12	576 m ²
Region 5	Unità 3	12;11;13;14	640 m ²
Region 6	Unità 2	14;13;15;16	3,520 m ²
Region 7	ORV	16;17;18;15	2,720 m ²
Region 8	Rilevato	1;21;22;20;19;4	93 m ²

Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 1243 of 1680 converged

Current Slip Surface

Slip Surface: 1,589

Overdesign Factor: 1.345

Degree of Utilization: 0.743

Volume: 40.634113 m³

Weight: 807.03201 kN

Resisting Moment: 4,984.0507 kN·m

Activating Moment: 3,705.2583 kN·m

Resisting Force: 361.05592 kN

Activating Force: 268.38494 kN

Slip Rank: 11 of 1,680 slip surfaces

Exit: (143.8; 0) m

Entry: (127; 7) m

Radius: 11.61296 m

Center: (138.17486; 10.159655) m

Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	127.25 m	6.2935491 m	-120.56284 kPa	5.8210967 kPa	3.6383513 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 2	127.75 m	5.0745764 m	-108.60837 kPa	17.975213 kPa	11.235021 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 3	128.28436 m	4.0980774 m	-99.031845 kPa	27.027105 kPa	16.892711 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 4	128.85307 m	3.2504505 m	-90.719168 kPa	33.254535 kPa	20.785032 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato

Slice 5	129.42179 m	2.5401398 m	-83.753151 kPa	38.314551 kPa	23.947687 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 6	129.9905 m	1.9306643 m	-77.776024 kPa	42.598043 kPa	26.624991 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 7	130.55921 m	1.4006123 m	-72.577805 kPa	46.343244 kPa	28.965849 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 8	131.12793 m	0.93612168 m	-68.022545 kPa	49.696541 kPa	31.061755 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 9	131.69664 m	0.52761841 m	-64.016354 kPa	52.741381 kPa	32.964867 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 10	132.26536 m	0.16818426 m	-60.491383 kPa	55.512531 kPa	34.696914 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 11	132.85124 m	-0.15561507 m	-57.315883 kPa	58.063653 kPa	36.291438 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 12	133.45429 m	-0.44544623 m	-54.473509 kPa	60.332265 kPa	37.709385 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 13	134.05735 m	-0.69405076 m	-52.035444 kPa	62.123063 kPa	38.828685 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 14	134.6604 m	-0.90421961 m	-49.974318 kPa	63.279647 kPa	39.551583 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 15	135.25676 m	-1.076571 m	-48.284068 kPa	61.199253 kPa	26.032176 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 16	135.84644 m	-1.2135042 m	-46.941164 kPa	59.836199 kPa	25.452377 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 17	136.43612 m	-1.3185291 m	-45.911185 kPa	57.443448 kPa	24.434578 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 18	137.0258 m	-1.3925186 m	-45.18557 kPa	53.821499 kPa	22.893919 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 19	137.61548 m	-1.4360682 m	-44.758479 kPa	48.787484 kPa	20.752612 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 20	138.20516 m	-1.4495216 m	-44.626542 kPa	42.203058 kPa	17.951811 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 21	138.75 m	-1.4363524 m	-44.755692 kPa	38.400603 kPa	16.33437 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 22	139.25 m	-1.4007021 m	-45.105315 kPa	37.884612 kPa	16.114884 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 23	139.76875 m	-1.3402024 m	-45.698635 kPa	36.667103 kPa	15.596995 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 24	140.30625 m	-1.2527613 m	-46.55617 kPa	34.636447 kPa	14.73322 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 25	140.84375 m	-1.1390874 m	-47.670969 kPa	31.491158 kPa	13.395316 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 26	141.38125 m	-0.99837706 m	-49.050916 kPa	27.305194 kPa	11.614743 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 27	141.91875 m	-0.82958889 m	-50.706222 kPa	22.212181 kPa	9.4483411 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 28	142.45625 m	-0.63140162 m	-52.649844 kPa	16.389998 kPa	6.9717732 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 29	142.99375 m	-0.40215511 m	-54.898065 kPa	10.038232 kPa	4.2699379 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1
Slice 30	143.53125 m	-0.1397681 m	-57.471294 kPa	3.3530896 kPa	1.4262955 kPa	0 kPa	0 kPa	Unità 1

T1-SISM

Report generated using GeoStudio 2021.4. Copyright © 1991-2022 GEOSLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 11.03
Title: L1
Created By: kronos
Last Edited By: kronos
Revision Number: 143
Date: 05/07/2024
Time: 16:15:59
Tool Version: 11.3.1.23726
File Name: Trincea pk 83+000.gsz
Directory: K:\Franca CARVELLI\091.10 Andora-Finale Ligure\Rilevati e trincee\Stabilità globale\
Last Solved Date: 05/07/2024
Last Solved Time: 16:16:04

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

T1-SISM

Kind: SLOPE/W
Analysis Type: Morgenstern-Price
Settings
Side Function
Interslice force function option: Half-Sine
PWP Conditions from: Piezometric Line
Apply Phreatic Correction: No
Use Staged Rapid Drawdown: No
Limit State Design Approach: NTC2018_SISM
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
Slip Surface
Direction of movement: Right to Left
Use Passive Mode: No
Slip Surface Option: Entry and Exit
Critical slip surfaces saved: 1
Optimize Critical Slip Surface Location: No
Tension Crack Option: (none)
Distribution
ODF Calculation Option: Constant
Advanced
Geometry Settings
Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m
Number of Slices: 30
Overdesign Factor Convergence Settings
Maximum Number of Iterations: 100
Tolerable difference in ODF: 0.001
Under-Relaxation Criteria
Initial Rate: 1
Minimum Rate: 0.1

Rate Reduction Factor: 0.65
Reduction Frequency (iterations): 50
Solution Settings
Search Method: Root Finder
Tolerable difference between starting and converged ODF: 3
Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
Max Absolute Lambda: 2

Materials

CMV-i

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Effective Cohesion: 0 kPa
Effective Friction Angle: 37 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

CMV

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m³
Effective Cohesion: 1,000 kPa
Effective Friction Angle: 39 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range
Left-Zone Left Coordinate: (59; -6) m
Left-Zone Right Coordinate: (74; -6) m
Left-Zone Increment: 10
Right Type: Range
Right-Zone Left Coordinate: (93; 3.5) m
Right-Zone Right Coordinate: (122; 3.5) m
Right-Zone Increment: 20
Radius Increments: 20

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m
Right Coordinate: (160; 3.5) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	-32 m
Coordinate 2	160 m	-32 m

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0.091

Vert Seismic Coef.: 0.045

Design Factor Set: NTC2018_SISM

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 0

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1

Effective Coefficient of Friction: 1

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

Geometry

Name: R2

Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

Points

	X	Y
Point 1	160 m	-31 m
Point 2	0 m	-31 m
Point 3	0 m	-50 m
Point 4	160 m	-50 m
Point 5	0 m	0 m
Point 6	50 m	0 m
Point 7	59 m	-6 m
Point 8	74 m	-6 m
Point 9	83 m	0 m
Point 10	160 m	0 m
Point 11	85 m	0 m
Point 12	90.3 m	3.5 m
Point 13	160 m	3.5 m
Point 14	0 m	-2 m
Point 15	53 m	-2 m
Point 16	160 m	-2 m
Point 17	80 m	-2 m

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	CMV	2;3;4;1	3,040 m ²
Region 2	CMV-i	2;1;16;17;8;7;15;14	4,556 m ²
Region 3	CMV-i	11;12;13;10	253.22 m ²
Region 4	CMV-i	5;14;15;6	103 m ²

Region 5	CMV-i	10;11;9;17;16	157 m ²
----------	-------	---------------	--------------------

Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 4058 of 4851 converged

Current Slip Surface

Slip Surface: 4,411
 Overdesign Factor: 1.220
 Degree of Utilization: 0.820
 Volume: 20.11865 m³
 Weight: 382.25435 kN
 Resisting Moment: 44,244.857 kN·m
 Activating Moment: 36,261.219 kN·m
 Resisting Force: 229.62428 kN
 Activating Force: 188.19378 kN
 Slip Rank: 1 of 4,851 slip surfaces
 Exit: (74; -6) m
 Entry: (93; 3.5) m
 Radius: 172.02072 m
 Center: (6.7167771; 152.31645) m

Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	74.333333 m	-5.8575059 m	-256.37944 kPa	1.2622509 kPa	0.95117428 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 2	75 m	-5.5708516 m	-259.19066 kPa	3.7871349 kPa	2.8538109 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 3	75.666667 m	-5.2808557 m	-262.03465 kPa	6.2925398 kPa	4.7417688 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 4	76.333333 m	-4.9874999 m	-264.91159 kPa	8.7649075 kPa	6.6048316 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 5	77 m	-4.6907652 m	-267.82167 kPa	11.188661 kPa	8.4312609 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 6	77.666667 m	-4.3906325 m	-270.76507 kPa	13.547233 kPa	10.208572 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 7	78.333333 m	-4.0870822 m	-273.74199 kPa	15.824285 kPa	11.924454 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 8	79 m	-3.7800943 m	-276.75261 kPa	18.004987 kPa	13.567731 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 9	79.666667 m	-3.4696487 m	-279.79716 kPa	20.077217 kPa	15.129268 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 10	80.340883 m	-3.1521294 m	-282.91107 kPa	22.053597 kPa	16.618577 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 11	81.022649 m	-2.8274347 m	-286.09535 kPa	23.926635 kPa	18.030012 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 12	81.704415 m	-2.4990568 m	-289.31575 kPa	25.673791 kPa	19.346589 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 13	82.386181 m	-2.166972 m	-292.57251 kPa	27.300658 kPa	20.572521 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 14	82.863532 m	-1.932631 m	-294.87069 kPa	28.380086 kPa	21.385929 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i

Slice 15	83.333333 m	-1.6994423 m	-297.15757 kPa	25.986036 kPa	19.581883 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 16	84 m	-1.3659974 m	-300.42766 kPa	20.633017 kPa	15.548093 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 17	84.666667 m	-1.0289291 m	-303.73329 kPa	15.311701 kPa	11.538194 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 18	85.276573 m	-0.71750745 m	-306.7874 kPa	13.205618 kPa	9.9511469 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 19	85.82972 m	-0.43228352 m	-309.5846 kPa	14.254874 kPa	10.741818 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 20	86.382867 m	-0.14451911 m	-312.4067 kPa	15.270812 kPa	11.507382 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 21	86.96282 m	0.16000007 m	-315.39312 kPa	16.305687 kPa	12.287216 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 22	87.56958 m	0.4815514 m	-318.54657 kPa	17.363515 kPa	13.084347 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 23	88.17634 m	0.80621508 m	-321.73055 kPa	18.401584 kPa	13.866588 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 24	88.7831 m	1.1340112 m	-324.94525 kPa	19.42569 kPa	14.638307 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 25	89.38986 m	1.46496 m	-328.19086 kPa	20.440641 kPa	15.403128 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 26	89.99662 m	1.7990826 m	-331.4676 kPa	21.450121 kPa	16.163826 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 27	90.6375 m	2.1555592 m	-334.96357 kPa	19.274792 kPa	14.524598 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 28	91.3125 m	2.5347963 m	-338.68275 kPa	13.885188 kPa	10.46324 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 29	91.9875 m	2.9180459 m	-342.44128 kPa	8.4137739 kPa	6.3402334 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 30	92.6625 m	3.3053388 m	-346.23946 kPa	2.8300984 kPa	2.1326321 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i

T1-STAT

Report generated using GeoStudio 2021.4. Copyright © 1991-2022 GEOSLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 11.03
Title: L1
Created By: kronos
Last Edited By: kronos
Revision Number: 143
Date: 05/07/2024
Time: 16:15:59
Tool Version: 11.3.1.23726
File Name: Trincea pk 83+000.gsz
Directory: K:\Franca CARVELLI\091.10 Andora-Finale Ligure\Rilevati e trincee\Stabilità globale\
Last Solved Date: 05/07/2024
Last Solved Time: 16:16:06

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

T1-STAT

Kind: SLOPE/W
Analysis Type: Morgenstern-Price
Settings
Side Function
Interslice force function option: Half-Sine
PWP Conditions from: Piezometric Line
Apply Phreatic Correction: No
Use Staged Rapid Drawdown: No
Limit State Design Approach: NTC2018_SISM
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
Slip Surface
Direction of movement: Right to Left
Use Passive Mode: No
Slip Surface Option: Entry and Exit
Critical slip surfaces saved: 1
Optimize Critical Slip Surface Location: No
Tension Crack Option: (none)
Distribution
ODF Calculation Option: Constant
Advanced
Geometry Settings
Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m
Number of Slices: 30
Overdesign Factor Convergence Settings
Maximum Number of Iterations: 100
Tolerable difference in ODF: 0.001
Under-Relaxation Criteria
Initial Rate: 1
Minimum Rate: 0.1

Rate Reduction Factor: 0.65
Reduction Frequency (iterations): 50
Solution Settings
Search Method: Root Finder
Tolerable difference between starting and converged ODF: 3
Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
Max Absolute Lambda: 2

Materials

CMV-i

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Effective Cohesion: 0 kPa
Effective Friction Angle: 37 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

CMV

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m³
Effective Cohesion: 1,000 kPa
Effective Friction Angle: 39 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range
Left-Zone Left Coordinate: (59; -6) m
Left-Zone Right Coordinate: (74; -6) m
Left-Zone Increment: 10
Right Type: Range
Right-Zone Left Coordinate: (93.03102; 3.5) m
Right-Zone Right Coordinate: (122.01759; 3.5) m
Right-Zone Increment: 20
Radius Increments: 20

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m
Right Coordinate: (160; 3.5) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	-32 m
Coordinate 2	160 m	-32 m

Design Factor Set: NTC2018_SISM

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 0

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1

Effective Coefficient of Friction: 1

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

Geometry

Name: R2

Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

Points

	X	Y
Point 1	160 m	-31 m
Point 2	0 m	-31 m
Point 3	0 m	-50 m
Point 4	160 m	-50 m
Point 5	0 m	0 m
Point 6	50 m	0 m
Point 7	59 m	-6 m
Point 8	74 m	-6 m
Point 9	83 m	0 m
Point 10	160 m	0 m
Point 11	85 m	0 m
Point 12	90.3 m	3.5 m
Point 13	160 m	3.5 m
Point 14	0 m	-2 m
Point 15	53 m	-2 m
Point 16	160 m	-2 m
Point 17	80 m	-2 m

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	CMV	2;3;4;1	3,040 m ²
Region 2	CMV-i	2;1;16;17;8;7;15;14	4,556 m ²
Region 3	CMV-i	11;12;13;10	253.22 m ²
Region 4	CMV-i	5;14;15;6	103 m ²
Region 5	CMV-i	10;11;9;17;16	157 m ²

Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 4084 of 4851 converged

Current Slip Surface

Slip Surface: 4,411
 Overdesign Factor: 1.497
 Degree of Utilization: 0.668
 Volume: 20.281518 m³
 Weight: 385.34885 kN
 Resisting Moment: 44,666.024 kN·m
 Activating Moment: 29,831.163 kN·m
 Resisting Force: 231.69309 kN
 Activating Force: 154.75067 kN
 Slip Rank: 1 of 4,851 slip surfaces
 Exit: (74; -6) m
 Entry: (93.03102; 3.5) m
 Radius: 172.12014 m
 Center: (6.7883535; 152.45485) m

Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	74.333333 m	-5.8577814 m	-256.37674 kPa	1.2566593 kPa	0.94696068 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 2	75 m	-5.5716806 m	-259.18253 kPa	3.754778 kPa	2.8294282 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 3	75.666667 m	-5.2822433 m	-262.02104 kPa	6.2128148 kPa	4.6816917 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 4	76.333333 m	-4.9894509 m	-264.89245 kPa	8.6227571 kPa	6.4977135 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 5	77 m	-4.6932849 m	-267.79695 kPa	10.976354 kPa	8.2712757 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 6	77.666667 m	-4.3937261 m	-270.73473 kPa	13.265582 kPa	9.9963328 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 7	78.333333 m	-4.090755 m	-273.70597 kPa	15.483085 kPa	11.667342 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 8	79 m	-3.7843518 m	-276.71086 kPa	17.62256 kPa	13.279551 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 9	79.666667 m	-3.4744961 m	-279.74962 kPa	19.679066 kPa	14.82924 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 10	80.342822 m	-3.1566574 m	-282.86666 kPa	21.676233 kPa	16.334213 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 11	81.028467 m	-2.8307131 m	-286.0632 kPa	23.609482 kPa	17.791021 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 12	81.714111 m	-2.5010493 m	-289.29621 kPa	25.449926 kPa	19.177894 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 13	82.399756 m	-2.1676423 m	-292.56593 kPa	27.199697 kPa	20.496442 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 14	82.871289 m	-1.9365722 m	-294.83204 kPa	28.358952 kPa	21.370003 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 15	83.333333 m	-1.7076372 m	-297.0772 kPa	26.054957 kPa	19.633818 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 16	84 m	-1.3748202 m	-300.34114 kPa	20.837117 kPa	15.701894 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 17	84.666667 m	-1.038386 m	-303.64055 kPa	15.614592 kPa	11.766439 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 18	85.280197 m	-0.72568512 m	-306.70721 kPa	13.591699 kPa	10.24208 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i

Slice 19	85.84059 m	-0.43723402 m	-309.53605 kPa	14.734151 kPa	11.102979 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 20	86.400983 m	-0.14617977 m	-312.39042 kPa	15.83616 kPa	11.933402 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 21	86.982748 m	0.1587966 m	-315.38132 kPa	16.939859 kPa	12.765099 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 22	87.585884 m	0.47792006 m	-318.51096 kPa	18.045726 kPa	13.59843 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 23	88.189021 m	0.80011373 m	-321.67072 kPa	19.115393 kPa	14.404482 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 24	88.792158 m	1.1253972 m	-324.86077 kPa	20.15234 kPa	15.185878 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 25	89.395295 m	1.4537905 m	-328.08132 kPa	21.159738 kPa	15.945006 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 26	89.998432 m	1.7853139 m	-331.33257 kPa	22.140336 kPa	16.68394 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 27	90.641378 m	2.1423009 m	-334.83354 kPa	19.840967 kPa	14.951241 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 28	91.324132 m	2.525222 m	-338.58885 kPa	14.254038 kPa	10.741188 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 29	92.006888 m	2.9122409 m	-342.38435 kPa	8.6081905 kPa	6.4867368 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i
Slice 30	92.689642 m	3.3033893 m	-346.22034 kPa	2.8852846 kPa	2.1742179 kPa	0 kPa	0 kPa	CMV-i