



ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

PA17/08

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 - Svincolo Manganaro incluso) compresi raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121

Bolognetta S.c.p.a.

- PERIZIA DI VARIANTE N.3 -

Il Responsabile Ambientale:
Dott. Maurizio D'Angelo

MAURIZIO
N. 7607

Titolo elaborato:

OPERE D'ARTE - NUOVI VIADOTTI

VIADOTTO SAN LEONARDO

Relazione Geotecnica e di Calcolo

Codice Unico Progetto (CUP) : F41B03000230001

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	PV	V9	RT03	6	0

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:	
	PV_V9_RT03_60_4137	1=1	4 1 3 7	-	
5					
4					
3					
2					
1					
0	PRIMA EMISSIONE		Dicembre 2019	Q. Napoleoni S. Fortino D. Tironi	
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Progettisti :

F.A.C.E. S.r.l. - Società di ingegneria

FACTORY OF ARCHITECTURE CIVIL ENGINEERING
 via Flaminia 71 - 00196 Roma
 tel: 06 32609519
 e-mail: info@facesrl.com
 pec: pec.facesrl@pec.com

Direttore Tecnico: ing. Antonio Ambrosi

Consulenti:



E&G s.r.l.
 ENVIRONMENT & GEOTECHNIC
 STUDIO DI INGEGNERIA GEOTECNICA E AMBIENTALE

Direttore Tecnico: ing. Quintilio Napoleoni

ACS ingegneri

Via Catania, 28/c - 59100 Prato
 tel 0574.527864 fax 0574.568066
 E-mail acs@acsingegneri.it

ing. Alberto Antonelli

Il Progettista Responsabile
Ing. Antonio Ambrosi

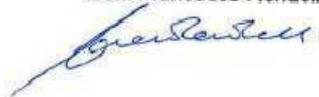


Il Geologo
Dott. Geol. Gualtiero Bellomo



Il Coordinatore per la Sicurezza
in fase di Esecuzione:
Arch. Francesco Rondelli

Il Coordinatore per la
Esecuzione dei Lavori
arch. Francesco Rondelli



Il Direttore dei Lavori:
Ing. Sandro Favero



ANAS S.p.A.

DATA: _____ PROTOCOLLO: _____

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

CODICE PROGETTO **L O 4 1 0 C E 1 1 0 1**

Dott. Ing. Luigi Mupo

INDICE

INDICE	1
1 PREMESSA.....	3
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
4 SOFTWARE UTILIZZATI.....	5
5 DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	6
5.1 FONDAZIONI.....	6
5.2 RILEVATO DI APPROCCIO.....	7
CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA.....	8
5.3 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA.....	8
5.4 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	8
6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	9
6.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	9
6.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFIA.....	10
7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	12
7.1 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE IN SITO-CPT.....	12
7.2 RISULTATI DELLE PROVE IN SITO-CPT.....	13
7.3 RISULTATI DELLE PROVE DI LABORATORIO.....	15
7.4 RISULTATI DELLE PROVE SISMICHE.....	17
7.5 MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO.....	20
7.6 FALDA.....	21
8 AZIONI DI CALCOLO.....	22
9 RESISTENZE DI PROGETTO.....	28
9.1 RESISTENZA ASSIALE.....	28
9.2 RESISTENZA TRASVERSALE.....	34
10 RIGIDEZZA ASSIALE E TRASVERSALE DEI PALI.....	41
11 VERIFICHE AGLI SLU.....	44
11.1 VERIFICA GEO.....	44
11.2 VERIFICA SLE.....	45
12 VERIFICA DI STABILITÀ.....	46
12.1 GENERALITÀ SUI METODI DI CALCOLO.....	46
12.2 VERIFICHE DI STABILITÀ DELL'INTERVENTO.....	48
12.3 APPROCCIO NORMATIVO.....	49
12.4 RISULTATI DI CALCOLO ANALISI DI STABILITÀ RILEVATI DI APPROCCIO.....	50

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

12.5 RISULTATI DI CALCOLO ANALISI DI STABILITA' GABBIONATURA DI PROTEZIONE
OS145 54

13	CEDIMENTI DEI RILEVATI DI APPROCCIO.....	57
14	ALLEGATI FILE DI INPUT OUTPUT DEI MODELLI DI CALCOLO.....	59

1 PREMESSA

La presente relazione si riferisce alla caratterizzazione geotecnica ed alle verifiche geotecniche dei manufatti interagenti con il Nuovo Viadotto San Leonardo, situato lungo la Palermo-Lercara Friddi, ubicato tra le progressive pk 23+957.87 e pk.24+190.54 .

Si provvederà a commentare dal punto di vista stratigrafico, fisico e meccanico i risultati delle prove di laboratorio geotecniche, delle prove in sito e dei sondaggi effettuati durante le campagne di indagine.

Si sottolinea a questo proposito che le uniche verticali di sondaggio considerate sono quelle ubicate esattamente in corrispondenza dei sistemi fondazionali esaminati in questa relazione.

A valle del recepimento delle azioni sui pali, fornite dallo studio strutturale dell'opera, discusse e commentate nella specifica relazione, si provvederà a dar conto di tutte le verifiche di carattere geotecnico previste in normativa.

Si provvederà altresì alle verifiche geotecniche dei rilevati di approccio al nuovo viadotto, effettuate secondo la vigente normativa.

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Nel presente studio, si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- D.M. 27/01/2018 - “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare Consiglio Superiore dei LL.PP. n. 7 del 21 Gennaio 2019 - “Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle Norme Tecniche”.

4 SOFTWARE UTILIZZATI

Per le verifiche geotecniche delle opere sono stati utilizzati fogli di calcolo che implementano le più affidabili formulazioni chiuse disponibili nella letteratura scientifica, di provata attendibilità.

Per quanto concerne le verifiche di stabilità del rilevato di approccio, è stato utilizzato il codice di calcolo GEOSlope della SLOPE/W International. Si rimanda al paragrafo 12 della presente relazione per la descrizione di dettaglio del codice in esame.

5 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera in esame è un viadotto in calcestruzzo armato di lunghezza complessiva pari a 230 m, costituito da 4 campate aventi luce 50 m- 65m- 65m- 50 m.

Per i dettagli geometrici e costruttivi si rimanda agli specifici elaborati grafici dell'opera in esame.

5.1 FONDAZIONI

Le fondazioni delle pile sono ubicate su plinti di dimensioni

B= 11 m

L = 8.0 m

I singoli plinti sono sostenuti da pali trivellati in c.a. aventi le seguenti caratteristiche:

PILA 1

D = 1000 mm

L = 29 m

PILA 2

D = 1000 mm

L = 32 m

PILA 3

D = 1000 mm

L = 29 m

Le fondazioni delle spalle hanno le seguenti dimensioni

B= 11 m

L = 8.0 m

e sono sostenute da pali trivellati in c.a. aventi le seguenti caratteristiche:

D = 1000 mm

L = 28 m

5.2 RILEVATO DI APPROCCIO

Il rilevato di approccio al Nuovo Viadotto San Leonardo presenta, in adiacenza alle spalle, un'altezza massima di 7 m, ad inclinazione 2:3, con una banca intermedia di larghezza pari a 2 m. Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche del materiale costituente il rilevato si rimanda a quanto segue:

- $\gamma = 20 \text{ kN/mc}$;
- $\varphi = 38^\circ$;
- $c = 0 \text{ kPa}$.

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

5.3 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

La progettazione delle strutture farà riferimento a:

- vita nominale: $V_N = 50$ anni
- classe d'uso: IV

da cui risulta:

- coefficiente d'uso: $C_U = 2.0$
- periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_R = V_N \times C_U = 100$ anni

5.4 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Il calcolo delle azioni sismiche, viene condotto nel rispetto della normativa vigente.

Le coordinate geografiche di riferimento (secondo sistema ED50) per l'opera in esame sono:

Longitudine: $13^{\circ}.560$
Latitudine: $37^{\circ}.842$

Per le analisi in condizioni sismiche, concordemente alle indicazioni della normativa vigente, è stato preso come riferimento lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e, dunque, i seguenti parametri:

- categoria di suolo C
- Coefficiente topografico T1
- fattore di sito $S = 1.479$
- accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido: $a_g = 0.143g$
- massima accelerazione su sottosuolo tipo C $a_{max} = 0.211 g$
- coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa $\beta_s = 0.38$
- coefficienti sismici orizzontale $k_H = 0.0804$
- coefficienti sismici verticale $k_V = \pm 0.0402$

6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO ED I DROGEOLOGICO

6.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le prove in sito ed i sondaggi effettuati nei pressi dell'opera sono riepilogati nella seguente tabella e nella seguente figura.

VIADOTTO SAN LEONARDO						
sondaggi	SD13PZ	S01_15b_30M	CPTE08_2012	S pila 2	S pila 8	S1 (2020)
	S2 (2020)	S3 (2020)	M1	M2	T1	T2

Tabella 1- INDAGINI IN CORRISPONDENZA DELL'OPERA

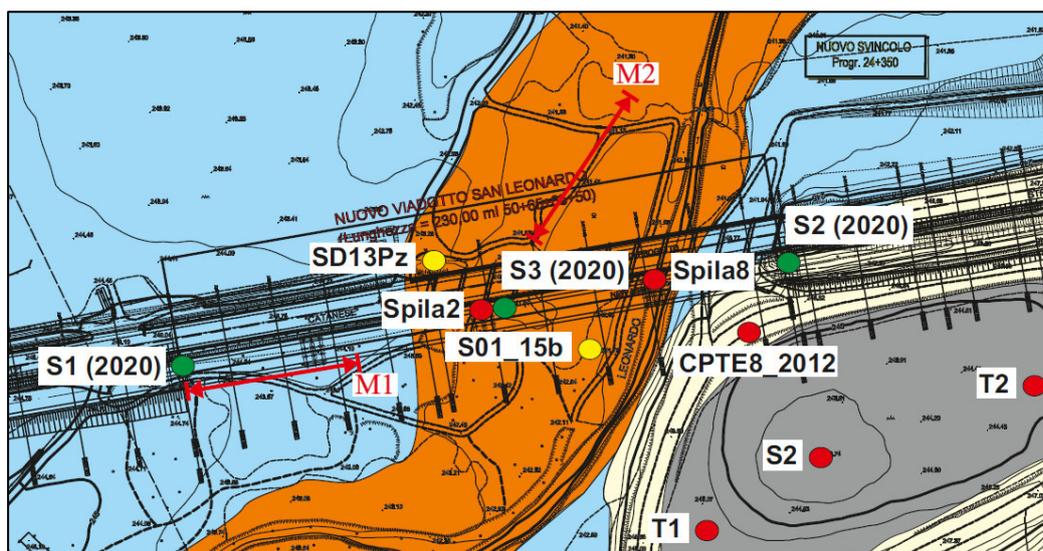


Figura 1 UBICAZIONE SONDAGGI DI RIFERIMENTO

In totale sono stati eseguiti:

- n.7 sondaggi a carotaggio continuo
- n.1 prove penetrometriche CPT
- n.2 profili sismici MASW
- n.2 prove sismiche tomografiche

6.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFIA

Per l’analisi e la verifica del comportamento delle fondazioni del viadotto ci si riferirà al profilo geologico, fornito anche in specifico elaborato, che viene riportato di seguito.

Come è possibile notare, al di sotto delle pile centrali i pali sono collocati nella parte superiore nelle sabbie ghiaiose (**SG**) che costituiscono i depositi alluvionali recenti mentre, all’incirca da 2÷3 m di profondità dalla loro testa, sono collocati all’interno dell’unità di Argille consistenti denominata “**AG**”.

I pali delle pile più esterne, invece sono interamente realizzati all’interno dell’unità “AG”.

I pali delle pile infine, sono realizzati per i primi 2 m all’interno dei depositi alluvionali meno recenti (**LSA**) e poi all’interno dell’unità **AG**.

La stratigrafia di riferimento è sintetizzata nella prossima figura

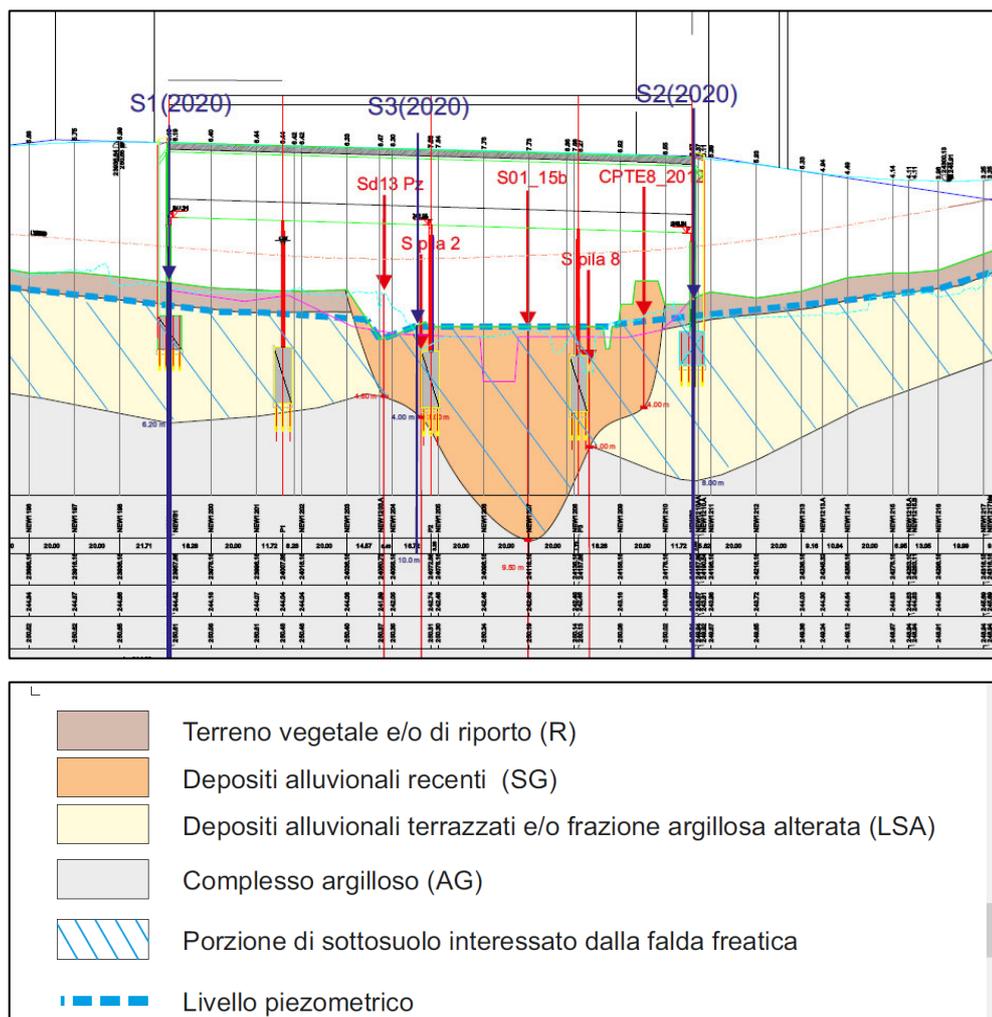


Figura 2. Profilo stratigrafico

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Pertanto si adotteranno nei calcoli presentati in questa relazione le seguenti stratigrafie di progetto

Pali pile centrali (2-3)		
Profondità m. da p.c.	Litologia	Formazione
0.0-1.0	Sabbie Ghiaiose	SG
>1.0	Argille limose grigie consistenti	AG

Pali pila esterna (1)		
Profondità m. da p.c.	Litologia	Formazione
>0.0	Argille limose grigie consistenti	AG

Pali Spalle		
Profondità m. da p.c.	Litologia	Formazione
0.0-4.8	Limi sabbiosi argillosi	LSA
>4.8	Argille limose grigie consistenti	AG

7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

7.1 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE IN SITO-CPT

L'elaborazione delle prove penetrometriche statiche con punta meccanica permette sia di effettuare una classificazione dei terreni attraversati sia di ricavarne i principali parametri meccanici di resistenza e deformabilità.

La classificazione del terreno attraversato può essere infatti condotta, durante il movimento continuo di spinta, in base ai valori registrati della resistenza alla punta q_c e del cosiddetto "friction ratio" (rapporto di frizione) F_r , ovvero il rapporto percentuale tra resistenza laterale f_s ed alla punta q_c .

I risultati delle prove CPT possono essere interpretati per derivare molti parametri geotecnici, utili sia per la caratterizzazione generale del terreno, sia nello specifico per ottimizzare il dimensionamento dei pali di fondazione.

In primo luogo è possibile individuare la tipologia di terreni sottoposti a prova utilizzando il parametro I_C^* definito da Jefferies e Davies (1993) che può essere determinato come:

$$I_C^* = \sqrt{\{3 - \log[Q \cdot (1 - B_q)]\}^2 + [1.5 + 1.3(\log F)]^2}$$

in cui B_q rappresenta la sovra pressione neutra normalizzata

$$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma_{v0}}$$

Il parametro Q rappresenta invece la resistenza alla punta normalizzata

$$Q = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

Ed infine il parametro F rappresenta il rapporto d'attrito

$$F = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{v0}} \times 100$$

Il riconoscimento del terreno può essere fatto riferendosi ai valori riportati nella seguente tabella:

Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index * I_c Values
Organic Clay Soils	2	$I_c > 3.22$
Clays	3	$2.82 < I_c < 3.22$
Silt Mixtures	4	$2.54 < I_c < 2.82$
Sand Mixtures	5	$1.90 < I_c < 2.54$
Sands	6	$1.25 < I_c < 1.90$
Gravelly Sands	7	$I_c < 1.25$

After Jefferies and Davies (1993).
 *Notes: Zone number per Robertson SBT (1990). Zone 1 is for soft sensitive soils having similar I_c values to Zones 2 or 3, as well as low friction $F < 1\%$.

TABELLA 2 Costanti empiriche di Skempton (1986) Valori di I_C^* per riconoscimento terreni da CPT

Le prove CPT vengono di norma utilizzate per determinare le caratteristiche sia di rigidità sia di resistenza del terreno e per ottenere valutazioni dirette della capacità portante di un palo.

Per i terreni incoerenti è possibile dedurre la densità relativa, proprietà fisica utile per dedurre l'angolo di attrito.

Kulhawi e Mayne (1990) propongono di valutare la densità relativa dall'espressione:

$$Dr = \left[\frac{q_{c1}}{\frac{\sigma_{atm}}{305}} \right]^{0.5}$$

in cui σ_{atm} è la pressione atmosferica e q_{c1} è la resistenza alla punta normalizzata rispetto alla tensione in sito, valutabile come:

$$q_{c1} = q_c \left(\frac{\sigma_{atm}}{\sigma'_v} \right)$$

L'angolo di resistenza al taglio (φ') può essere poi stimato in base alla correlazione proposta da Schmertmann (1977) in funzione della densità relativa e della granulometria:

$$\varphi' = 28 + 0.14 \cdot D_R \quad \text{valida per sabbia fine uniforme}$$

$$\varphi' = 31.5 + 0.115 \cdot D_R \quad \text{valida per sabbia fine ben gradata e sabbia media uniforme}$$

$$\varphi' = 34.5 + 0.10 \cdot D_R \quad \text{valida per sabbia media ben gradata e sabbia grossa uniforme}$$

$$\varphi' = 38 + 0.08 \cdot D_R \quad \text{valida per sabbia e ghiaia poco limosa e ghiaietto uniforme}$$

7.2 RISULTATI DELLE PROVE IN SITO-CPT

Si riportano nel seguito in forma grafica i risultati della prova CPT effettuata in sito, svolta (prima dell'arresto) interamente nell'unità SG, e protratta fino a 4.0 m di profondità.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

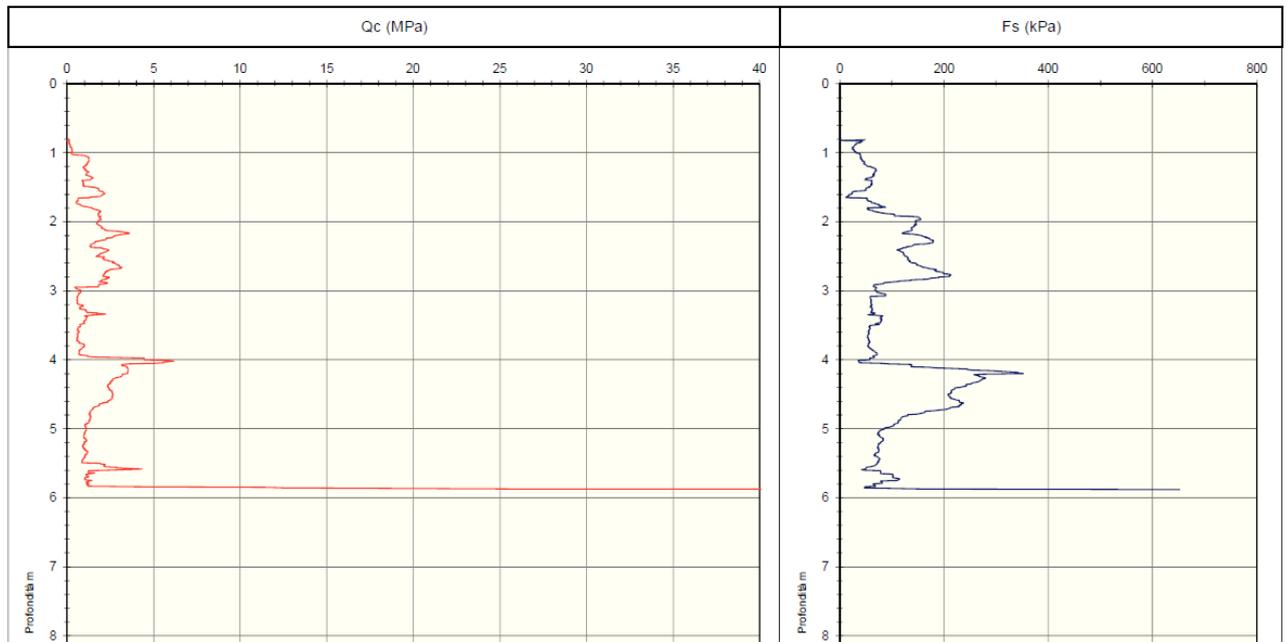


Figura 3. Risultati Prova CPT E 8

Si riporta nel seguito l'elaborazione in termini di angolo di resistenza al taglio

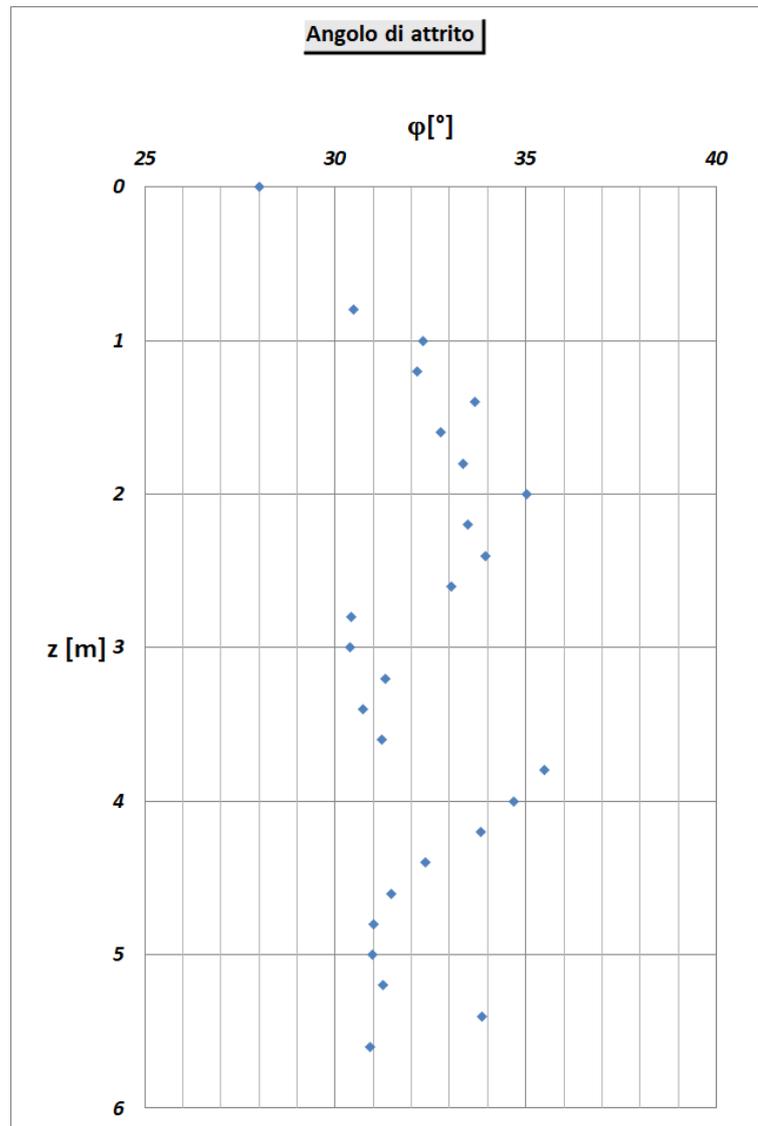


Figura 4. Elaborazioni Prova CPTE 8

7.3 RISULTATI DELLE PROVE DI LABORATORIO

Le prove di laboratorio sono state eseguite su campioni prelevati lungo le seguenti verticali di sondaggio:

- SD13
- S01_15b
- S1 (2020)
- S2 (2020)

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

I risultati sono sintetizzati nella seguente tabella

Tabella 3. Riepilogo prove di laboratorio- caratteristiche fisiche

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' DI PRELIEVO	UNITA'	γ (kN/m^3)	G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	LL	LP	IP
									-	-	-
SD13PZ	CI1	5.70	AG	20.7	0.00	13.80	60.50	26.43	29.2	16.9	11.8
SD13PZ	CI2	14.00	AG	20.6	0.00	10.01	39.03	50.97	33.1	19.8	14.4
SD13PZ	CR1	4.00	GS	22.7	60.20	27.00	8.00	4.80			
SD13PZ	CR2	7.60	AG	20.0	0.00	28.75	43.76	27.49	27.7	17.5	6.7
S01_15B	CI1	2.00	LSA	19.6	0.33	4.5	56.3	38.8	33	21	12
S01_15B	CI2	5.00	LSA	19.6	0.35	5.5	44.8	49.3	44	21	23
S1	C1	7.80	AG	20.5	0.00	56.6	31.0	12.5	25.6	16.6	9
S1	R	20.00	AG	21.6	0.00	49.4	31.4	19.2			
S2	C1	3.50	SG	18.9	0.30	37.9	31.8	30.0	29.8	16.3	13.5
S2	R	10.00	AG	21.8	0.00	48.1	40.8	11.1			

Tabella 4. . Riepilogo prove di laboratorio- caratteristiche meccaniche.

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' DI PRELIEVO (m da p.c.)	UNITA'	c kPa	ϕ °
SD13PZ	CI1	5.70	AG	28	34
SD13PZ	CI2	14.00	AG	35	24
S1	C1	7.80	AG	39	26.3
S01_15B	CI1	2.00	LSA	2	23
S01_15B	CI2	5.00	LSA	8	21.8

7.4 RISULTATI DELLE PROVE SISMICHE

Si riportano nel seguito i risultati delle prove sismiche effettuate, in termini di velocità delle onde di taglio misurate e di rigidezza a piccole deformazioni desunta dalle misure registrate nelle prove. Si ricorda che dalla velocità delle onde di taglio, come è noto, si può risalire direttamente alla valutazione della rigidezza al taglio dei terreni a piccole deformazioni G_0 secondo la relazione:

$$G_0 = \rho V_s^2$$

in cui ρ è la densità del materiale e V_s la velocità delle onde di taglio.

Il modulo di Young a piccole deformazioni può essere derivato mediante le relazioni elastiche, dal momento che l'ipotesi di comportamento linearmente elastico del materiale è sicuramente verificato per i livelli deformativi in questione.

$$E_0 = 2 (1 + \nu) G_0$$

in cui ν è il modulo di Poisson del materiale.

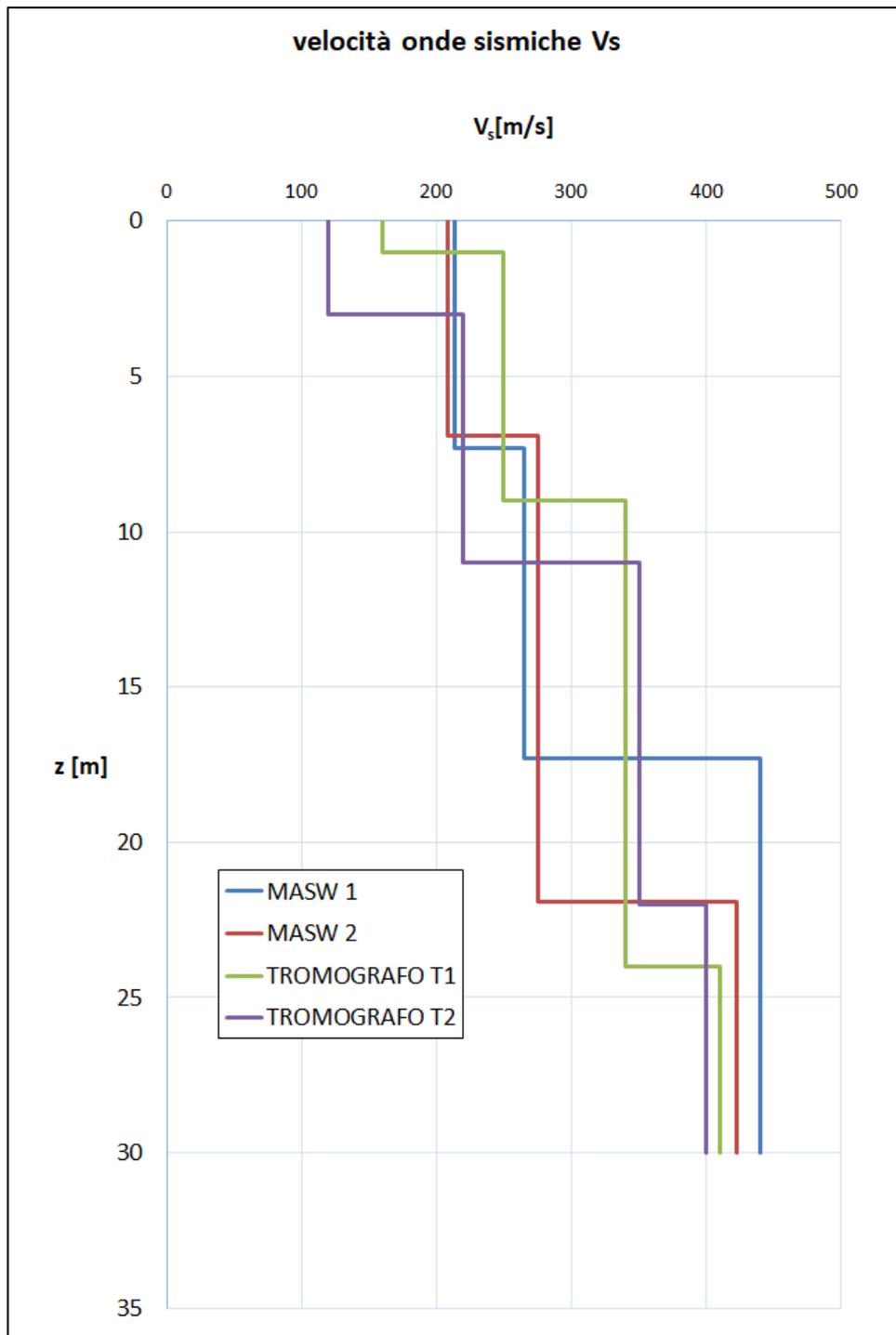


Figura 5. velocità delle onde di taglio da prove sismiche

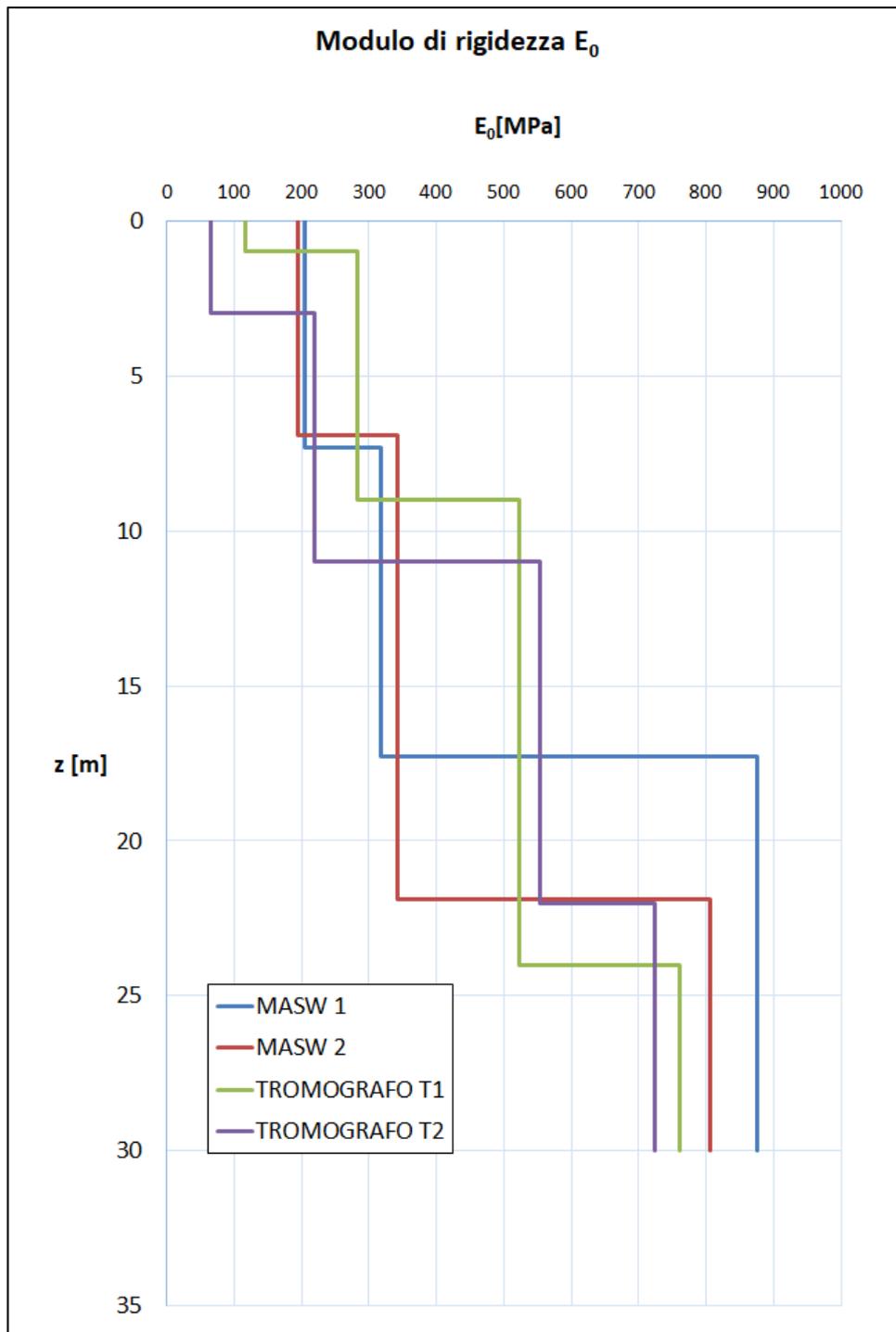


Figura 6. Modulo di rigidezza a piccole deformazioni da prove sismiche.

7.5 MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Dall'elaborazione delle prove presentate nei paragrafi precedenti e con riferimento alle unità enumerate al precedente capitolo si individuano le seguenti proprietà dei terreni interagenti con le opere.

- **Unità LSA:** limi sabbiosi argillosi moderatamente consistenti;
- **Unità SG:** sabbie ghiaiose;
- **Unità AG:** argille limose grigie. Si tratta di argille limose grigie a struttura scagliettata con inclusi elementi lapidei, da consistenti a molto consistenti, talvolta con intercalati livelli sabbiosi e/o livelli, strati di argilliti a consistenza pseudo-litoide.

Per quanto riguarda i parametri geotecnici delle formazioni interagenti con l'opera ci si riferirà a quanto segue:

I limi argillosi sabbiosi (unità LSA)

γ	= peso di volume totale	20 kN/m ³
ϕ'	= angolo di resistenza al taglio	23°
c'	= coesione in termini di sforzi efficaci	2 kPa
E	= modulo di deformazione elastico	20 MPa
E_u	= modulo di deformazione elastico non drenato	= 40 MPa

Sabbie ghiaiose (unità SG)

γ	= peso di volume totale	20 kN/m ³
ϕ'	= angolo di resistenza al taglio	32°
c'	= coesione in termini di sforzi efficaci	0 kPa

Argille grigie (unità AG)

γ	= peso di volume totale	20 kN/m ³
ϕ'	= angolo di resistenza al taglio	26°
c'	= coesione in termini di sforzi efficaci	28 kPa
c_u	= coesione non drenata	200÷400 kPa (si veda relazione geotecnica generale)
E	= modulo di deformazione elastico	50MPa
E_u	= modulo di deformazione elastico non drenato	= 100 MPa

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

7.6 FALDA

Cautelativamente, il piano libero di falda è stato ubicato al piede del rilevato (ovvero coincidente con il piano campagna naturale).

8 AZIONI DI CALCOLO

Per il progetto e la verifica delle opere sono state utilizzate le sollecitazioni agenti sui pali comunicate allo scrivente dal progettista strutturale.

Le azioni di progetto sono riepilogate nel seguito.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Tabella 5. Azioni di progetto Spalla 1

SPALLA 1							
SLU							
Frame	P	V2	V3	V tot	M2	M3	Mtot
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m
1	-2658	-372	-5	372	24	-762	763
1	-3402	-399	-57	403	-43	-827	829
5	-2664	-381	-2	381	43	-772	773
5	-3217	-401	-54	404	-28	-827	828
9	-2650	-384	3	385	73	-776	779
9	-3048	-404	-48	407	1	-830	830
2	-2436	-385	5	385	85	-783	788
2	-2881	-411	-45	413	16	-835	835
6	-2191	-346	-3	346	43	-626	627
6	-2799	-373	-44	376	-20	-746	746
10	-2190	-358	-2	358	60	-649	652
10	-2590	-377	-40	379	-12	-751	752
3	-2176	-366	2	366	80	-670	675
3	-2386	-384	-36	386	4	-755	755
7	-1882	-368	4	368	85	-683	689
7	-2210	-392	-35	394	11	-758	758
11	-1601	-324	-6	324	34	-519	520
11	-2078	-352	-36	354	-28	-667	667
4	-1634	-343	-5	343	38	-572	573
4	-1852	-362	-36	364	-27	-689	690
8	-1523	-351	6	351	96	-601	608
8	-1662	-371	-24	372	24	-693	693
12	-1228	-351	6	352	105	-597	606
12	-1603	-376	-21	376	26	-683	684
SLV							
Frame	P	V2	V3	V tot	M2	M3	Mtot
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m
1	-889	28	236	238	415	-109	429
1	-2830	-377	-243	448	-430	-711	831
5	-1171	25	242	243	444	-120	460
5	-2535	-373	-244	446	-436	-695	820
9	-1146	25	246	247	463	-119	478
9	-2511	-373	-240	443	-417	-694	809
2	-817	29	244	246	456	-106	468
2	-2758	-376	-235	443	-390	-708	808
6	-855	43	210	214	345	-30	347
6	-2555	-360	-216	420	-358	-634	728
10	-1405	38	214	217	365	-52	368
10	-1984	-357	-215	417	-350	-623	715
3	-1380	38	216	220	377	-53	381
3	-1960	-358	-212	416	-338	-624	709
7	-782	43	218	222	383	-33	384
7	-2482	-361	-208	417	-320	-637	713
11	-491	52	183	190	275	18	276
11	-2423	-345	-196	397	-321	-565	649
4	-816	45	189	195	305	-17	305
4	-2122	-347	-198	399	-327	-574	660
8	-794	45	199	204	349	-20	349
8	-2100	-347	-189	395	-282	-576	641
12	-424	51	197	204	343	13	343
12	-2356	-346	-182	391	-252	-570	624
valori di progetto	<i>Nd</i>			<i>Td</i>			<i>Md</i>
	3402			448			835

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Tabella 6. Azioni di progetto Pila 1

PILA 1							
SLU							
Frame	P	V2	V3	V tot	M2	M3	Mtot
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m
1	-1701	32	22	39	198	53	205
1	-2446	4	-74	74	22	22	31
3	-1717	26	23	35	203	23	205
3	-2469	0	-73	73	26	0	26
9	-1701	21	22	31	198	-1	198
9	-2446	-6	-74	74	22	-31	38
2	-2248	33	17	38	177	58	187
2	-2797	6	-78	78	2	28	28
6	-2282	26	18	31	184	21	185
6	-2832	0	-76	76	3	0	3
10	-2241	20	17	26	177	-7	178
10	-2789	-8	-78	78	2	-38	38
3	-2224	35	9	36	130	65	145
3	-3227	6	-86	87	-31	27	41
7	-2258	25	9	27	136	20	137
7	-3290	0	-85	85	-31	0	31
11	-2224	18	9	20	130	-14	130
11	-3227	-9	-86	87	-31	-46	55
4	-2170	34	3	35	95	65	115
4	-3710	5	-93	93	-50	25	56
8	-2189	25	1	25	87	21	90
8	-3747	0	-94	94	-55	0	55
12	-2170	18	3	18	95	-14	96
12	-3710	-10	-93	93	-50	-46	69
SLV							
Frame	P	V2	V3	V tot	M2	M3	Mtot
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m
1	97	419	277	502	467	482	671
1	-3508	-410	-264	488	-383	-444	587
3	-506	414	291	506	493	460	674
3	-2931	-414	-276	497	-403	-461	612
9	84	410	305	511	524	441	685
9	-3491	-418	-292	510	-443	-480	653
2	-162	415	274	498	451	466	649
2	-3345	-406	-267	486	-399	-422	581
6	-1359	406	285	496	468	425	633
6	-2195	-406	-278	492	-414	-425	593
10	-175	406	302	506	510	421	661
10	-3326	-415	-295	509	-459	-465	653
3	-185	414	268	493	424	462	627
3	-3367	-404	-273	488	-429	-416	597
7	-1384	405	279	492	438	421	608
7	-2219	-404	-285	494	-445	-421	612
11	-199	405	296	501	482	416	637
11	-3347	-413	-301	511	-488	-461	671
4	29	414	265	492	407	472	623
4	-3573	-405	-277	491	-446	-429	619
8	-577	410	277	494	425	449	618
8	-2996	-409	-291	502	-473	-448	651
12	15	406	293	500	465	428	632
12	-3553.81	-413.016	-305.212	514	-505.315	-467.926	689
valori di progetto	<i>Nd</i>			<i>Td</i>			<i>Md</i>
	3747			514			689

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Tabella 7. Azioni di progetto Pila 2

PILA 2							
SLU							
Frame	P	V2	V3	V tot	M2	M3	Mtot
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m
1	-1870	88	8	88	157	52	165
1	-2653	6	-84	84	14	27	31
5	-1592	82	9	82	157	23	158
5	-2356	0	-84	84	25	0	25
9	-1286	77	8	77	148	-1	148
9	-2335	-5	-86	86	25	-27	37
2	-2314	88	3	88	137	55	148
2	-3030	6	-88	88	-6	29	30
6	-2308	79	4	79	141	13	141
6	-2679	0	-87	87	1	0	1
10	-1953	75	3	75	129	-9	130
10	-2340	-6	-89	89	4	-29	29
3	-2309	89	-4	90	88	62	107
3	-3445	5	-98	98	-42	26	50
7	-2346	79	-4	80	93	13	94
7	-3111	-1	-97	97	-37	-3	37
11	-2309	73	-4	74	88	-16	89
11	-2708	-7	-98	98	-32	-32	45
4	-2252	90	-9	91	53	65	83
4	-3896	2	-105	105	-63	18	66
8	-2272	82	-9	82	47	23	53
8	-3633	-3	-107	107	-62	-8	62
12	-2252	74	-8	75	56	-14	58
12	-3306	-9	-105	105	-53	-35	64
SLV							
Frame	P	V2	V3	V tot	M2	M3	Mtot
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m
1	530	298	401	500	555	287	625
1	-4036	-290	-386	482	-462	-248	525
5	266	293	411	504	580	264	637
5	-3800	-293	-394	491	-480	-264	548
9	533	289	417	508	592	244	640
9	-4038	-298	-402	500	-500	-284	575
2	-362	297	397	495	535	283	605
2	-3245	-287	-388	483	-476	-237	532
6	-1133	287	403	495	547	250	601
6	-2526	-287	-393	487	-483	-250	544
10	-350	287	413	503	573	237	620
10	-3257	-297	-404	502	-514	-282	587
3	-387	296	390	490	506	281	578
3	-3268	-286	-395	487	-508	-234	559
7	-1160	286	396	488	514	247	570
7	-2551	-286	-401	492	-519	-247	575
11	-375	286	407	497	543	233	591
11	-3280	-295	-411	506	-547	-280	614
4	455	294	388	487	491	280	566
4	-4102	-285	-400	491	-531	-237	581
8	189	289	396	490	509	256	569
8	-3867	-289	-410	501	-556	-255	612
12	458	285	404	494	529	233	578
12	-4104	-294	-416	509	-569	-276	632
valori di progetto	<i>Nd</i>			<i>Td</i>			<i>Md</i>
	4104			509			640

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Tabella 8. Azioni di progetto pila 3

PILA 3							
SLU							
Frame	P	V2	V3	V tot	M2	M3	Mtot
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m
1	-1699	31	7	32	144	35	148
1	-2384	4	-66	66	24	20	31
5	-1711	25	8	27	149	7	149
5	-2338	0	-65	65	28	-1	28
9	-1694	21	7	22	144	-16	145
9	-2315	-6	-66	66	23	-30	38
2	-2289	32	3	32	125	40	131
2	-2662	6	-70	70	3	27	27
6	-2318	25	3	25	133	4	133
6	-2663	0	-68	68	4	-1	4
10	-2238	19	3	19	125	-23	127
10	-2620	-7	-70	70	3	-36	36
3	-2269	33	-4	33	81	45	92
3	-2980	6	-79	79	-32	27	42
7	-2302	24	-5	25	86	3	86
7	-3034	0	-77	77	-33	-1	33
11	-2264	18	-4	18	81	-30	86
11	-2975	-9	-79	79	-32	-43	53
4	-2213	33	-9	34	48	44	65
4	-3412	5	-85	85	-53	24	58
8	-2231	25	-10	26	42	5	42
8	-3442	0	-87	87	-57	-1	57
12	-2208	17	-9	19	48	-27	55
12	-3407	-9	-85	86	-53	-43	68
SLV							
Frame	P	V2	V3	V tot	M2	M3	Mtot
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m
1	107	295	338	449	528	295	605
1	-3580	-288	-324	433	-443	-257	512
5	-187	291	320	432	491	277	564
5	-3314	-291	-304	421	-398	-278	485
9	114	288	300	416	455	261	524
9	-3587	-296	-286	412	-368	-301	476
2	-400	292	334	443	511	278	582
2	-3168	-283	-326	432	-458	-235	515
6	-1271	282	313	422	464	247	526
6	-2349	-283	-304	416	-406	-249	476
10	-387	283	296	410	438	235	497
10	-3181	-293	-289	411	-384	-282	476
3	-423	291	328	438	482	276	555
3	-3188	-282	-333	436	-490	-232	542
7	-1294	281	306	416	432	244	496
7	-2372	-282	-312	420	-441	-246	505
11	-409	281	290	404	408	231	469
11	-3202	-292	-295	415	-415	-280	501
4	41	291	325	436	465	287	547
4	-3638	-284	-337	441	-509	-248	566
8	-254	286	305	418	420	268	498
8	-3374	-288	-319	430	-472	-271	544
12	48	283	288	404	392	250	465
12	-3646	-293	-300	419	-434	-295	525
valori di progetto	<i>Nd</i>			<i>Td</i>			<i>Md</i>
	3646			449			605

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Tabella 9. Azioni di progetto Spalla 2

SPALLA 2							
SLU							
Station	P	V2	V3	V tot	M2	M3	Mtot
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m
1	-2469	411	6	411	82	846	850
1	-2922	385	-46	388	17	798	799
5	-1938	393	4	393	84	773	778
5	-2271	369	-36	371	16	699	699
9	-1307	376	6	376	104	698	706
9	-1697	352	-22	353	24	612	612
2	-2697	405	3	405	70	845	848
2	-3097	385	-49	388	2	792	792
6	-2250	385	2	385	78	768	772
6	-2455	366	-37	368	8	683	683
10	-1613	372	6	372	98	708	715
10	-1754	352	-24	353	26	615	616
3	-2695	402	-2	402	40	845	846
3	-3275	382	-56	386	-28	787	788
7	-2247	378	-1	378	59	768	771
7	-2670	358	-41	360	-7	661	661
11	-1718	363	-5	363	39	709	710
11	-1954	343	-36	345	-26	585	586
4	-2672	399	-4	399	23	847	848
4	-3471	373	-59	377	-42	775	776
8	-2231	373	-3	373	43	768	769
8	-2893	346	-45	349	-15	638	638
12	-1682	354	-5	354	40	689	691
12	-2194	324	-36	326	-24	529	530
SLV							
Station	P	V2	V3	V tot	M2	M3	Mtot
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m
1	-902	402	236	466	437	737	857
1	-2878	-14	-227	227	-371	139	396
5	-827	385	211	439	369	660	756
5	-2537	-28	-202	204	-306	64	312
9	-396	369	193	417	337	588	678
9	-2366	-37	-177	180	-241	15	241
2	-1208	399	238	464	443	724	849
2	-2655	-11	-232	233	-397	151	425
6	-1429	383	210	436	363	650	745
6	-2012	-24	-205	207	-323	84	334
10	-748	372	194	419	341	598	689
10	-2135	-31	-183	186	-270	47	274
3	-1233	399	234	462	424	725	840
3	-2680	-10	-236	236	-417	152	444
7	-1454	382	207	435	350	649	737
7	-2037	-24	-208	210	-337	83	347
11	-770	371	184	414	293	596	664
11	-2158	-32	-193	196	-319	45	322
4	-975	402	228	463	396	740	839
4	-2951	-13	-235	236	-412	141	436
8	-900	384	203	435	330	657	735
8	-2611	-28	-210	212	-345	61	350
12	-464	368	177	409	264	582	639
12	-2435	-38	-192	196	-314	9	314
valori di progetto	Nd			Td			Md
	3471			466			857

9 RESISTENZE DI PROGETTO

9.1 RESISTENZA ASSIALE

Le verifiche di capacità portante dei pali vengono svolte secondo la metodologia degli stati limite ultimi, in accordo alla normativa vigente. La verifica della capacità portante dei pali è soddisfatta se:

$$F_{c,d} < R_{cd}$$

essendo

$$R_{c,d} = R_k / \gamma_R$$

dove:

$F_{c,d}$ = carico assiale di progetto;

$R_{c,d}$ = capacità portante di progetto nei confronti dei carichi assiali;

R_k = valore caratteristico della capacità portante limite del palo.

In particolare le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi (SLU) vengono condotte con riferimento alla seguente combinazione di coefficienti parziali

A1 + M1 + R3

La resistenza di progetto a compressione $R_{c,d}$ è calcolata applicando al valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ i coefficienti parziali γ_R riportati in tabella 8, relativi alla condizione di pali trivellati. Il valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ a compressione è ottenuto applicando i fattori di correlazione ξ_3 e ξ_4 (vedasi tabella 9) alle resistenze di calcolo $R_{c,cal}$; tali fattori sono funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative. Quindi la resistenza di calcolo può essere espressa mediante l'espressione seguente:

$$R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_R} = \min \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} / \gamma_R$$

Le verifiche sono state condotte tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle successive tabelle.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Tabella 10. Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Tabella 11. Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica.

Si è fatto riferimento ad un numero di indagini pari a 7 (cautelativamente, visto che sono state investigate 8 verticali), considerando il fatto che la stratigrafia dell'area è di fatto omogenea e che il complesso delle indagini concorre a definire la stratigrafia per il sistema fondazionale del viadotto.

Si riportano nel seguito i calcoli dei carichi limite per i pali delle spalle e delle pile. Il piano libero di falda è ipotizzato a piano campagna.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

carico limite pali spalla

Rd = 3709 kN

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

CANTIERE:

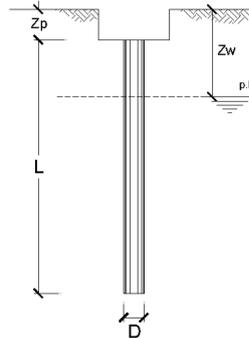
OPERA:

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1.00 (m) Area del Palo (Ap): 0.785 (m²)
 Quota testa Palo dal p.c. (z_p): 2.00 (m) Quota falda dal p.c. (z_w): 0.00 (m)
 Carico Assiale Permanente (G): 1 (kN) Carico Assiale variabile (Q): 1 (kN)
 Numero di strati 2-3 Lpalo = 28.00 (m)

Metodo di calcolo	coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base		
	permanenti	variabili	γ _G	γ _Q	γ _b	γ _s	γ _s traz.
A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A2+M1+R2	1.00	1.30	1.70	1.45	1.60		
A1+M1+R3	1.30	1.50	1.35	1.15	1.25		
SISMA	1.00	1.00	1.35	1.15	1.25		
DIMB	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
definiti dal progettista	1.10	1.20	1.50	1.30	1.30		

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ _s	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ _{sa}	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00



PARAMETRI MEDI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' med (kPa)	φ' med (°)	c _u med (kPa)
1	4.80	Limi Sabbiosi Argillosi	20.00	2.0	23.0	
2	23.20	Argille grigie	20.00	28.0	26.0	

Coefficienti di Calcolo

k	μ	α	α
0.61	0.42		
0.56	0.49		

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradesso del plinto)

PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' min (kPa)	φ' min (°)	c _u min (kPa)
1	4.80	Limi Sabbiosi Argillosi	20.00	0.0	22.0	
2	23.20	Argille grigie	20.00	20.0	24.0	

Coefficienti di Calcolo

k	μ	α	α
0.63	0.40		
0.59	0.45		

RISULTATI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Q _s (kN)	N _q (-)	N _c (-)	q _b (kPa)	Q _{bm} (kN)	Q _s (kN)	N _q (-)	N _c (-)	q _b (kPa)	Q _{bm} (kN)
1	4.80	Limi Sabbiosi Argillosi	171.6					167.7				
2	23.20	Argille grigie	3673.6	9.94	18.34	3496.3	2746.0	3542.3	9.25	18.54	3148.8	2471.5

CARICO ASSIALE AGENTE

N_d = N_G · γ_G + N_Q · γ_Q
 N_d = 2.8 (kN)

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

base R_{b,cal med} = 2746.0 (kN)
 laterale R_{s,cal med} = 3845.2 (kN)
 totale R_{c,cal med} = 6591.1 (kN)

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

base R_{b,cal min} = 2471.5 (kN)
 laterale R_{s,cal min} = 3710.0 (kN)
 totale R_{c,cal min} = 6181.5 (kN)

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

R_{b,k} = Min(R_{b,cal med}/ξ_s; R_{b,cal min}/ξ_s) = 1893.8 (kN)
 R_{s,k} = Min(R_{s,cal med}/ξ_s; R_{s,cal min}/ξ_s) = 2651.8 (kN)

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

R_{c,d} = R_{b,k}/γ_b + R_{s,k}/γ_s
 R_{c,d} = 3708.7 (kN)

F_s = R_{c,d} / N_d
 F_s = #####

curva carico limite pali pila 1

Rd = 4269 kN

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

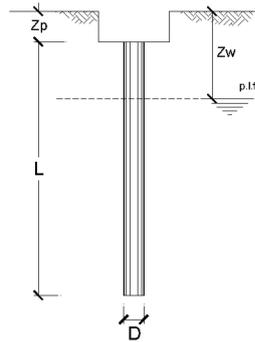
CANTIERE:

OPERA:

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): **1.00** (m) Area del Palo (Ap): **0.785** (m²)
 Quota testa Palo dal p.c. (Zp): **4.00** (m) Quota falda dal p.c. (Zw): **0.00** (m)
 Carico Assiale Permanente (G): **1** (kN) Carico Assiale variabile (Q): **1** (kN)
 Numero di strati **2** Lpalo = **29.00** (m)

coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base		
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	γb	γs	γs traz.
CS	A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	1.00	1.30	1.70	1.45	1.60
	A1+M1+R3	1.30	1.50	1.35	1.15	1.25
	SISMA	1.00	1.00	1.35	1.15	1.25
DMB8		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		1.10	1.20	1.50	1.30	1.30



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

PARAMETRI MEDI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' med (kPa)	φ med (°)	Cu med (kPa)
1	0.50	ghiaie-sabbie	20.00	2.0	23.0	
2	28.50	Argille grigie	20.00	28.0	26.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	α	α
0.61	0.42		
0.56	0.49		

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' min (kPa)	φ min (°)	Cu min (kPa)
1	0.50	ghiaie-sabbie	20.00	0.0	22.0	
2	28.50	Argille grigie	20.00	20.0	24.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	α	α
0.63	0.40		
0.59	0.45		

RISULTATI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Qs1 (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	Qs1 (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)
1	0.50	ghiaie-sabbie	17.3					18.9				
2	28.50	Argille grigie	4598.6	9.81	18.06	3742.0	2938.9	4434.3	9.12	18.24	3374.9	2650.6

CARICO ASSIALE AGENTE

Nd = N_G · γ_G + N_Q · γ_Q
 Nd = 2.8 (kN)

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

base R_{b,cal med} = 2938.9 (kN)
 laterale R_{s,cal med} = 4615.9 (kN)
 totale R_{c,cal med} = 7554.8 (kN)

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

base R_{b,cal min} = 2650.6 (kN)
 laterale R_{s,cal min} = 4451.2 (kN)
 totale R_{c,cal min} = 7101.8 (kN)

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

R_{b,k} = Min(R_{b,cal med}/ξ₃; R_{b,cal min}/ξ₄) = 2026.8 (kN)
 R_{s,k} = Min(R_{s,cal med}/ξ₃; R_{s,cal min}/ξ₄) = 3183.4 (kN)

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

R_{c,d} = R_{b,k}/γ_b + R_{s,k}/γ_s
 R_{c,d} = 4269.5 (kN)

F_s = R_{c,d} / Nd

F_s = #####

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

curva carico limite pali pila 2

Rd = 4856 kN

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

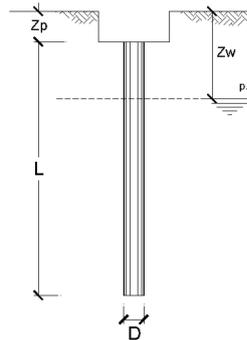
CANTIERE:

OPERA:

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): **1.00** (m) Area del Palo (Ap): **0.785** (m²)
 Quota testa Palo dal p.c. (Zp): **4.00** (m) Quota falda dal p.c. (Zw): **0.00** (m)
 Carico Assiale Permanente (G): **1** (kN) Carico Assiale variabile (Q): **1** (kN)
 Numero di strati **2** Lpalo = **32.00** (m)

coefficienti parziali	azioni		resistenza laterale e di base			
	permanenti	variabili	γb	γs	γs traz.	
Metodo di calcolo						
CS	A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	1.00	1.30	1.70	1.45	1.60
	A1+M1+R3	1.30	1.50	1.35	1.15	1.25
	SISMA	1.00	1.00	1.35	1.15	1.25
DIM8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
definiti dal progettista	1.10	1.20	1.50	1.30	1.30	



n	1	2	3	4	5	7	≥10	TA	prog.
ξ ₃	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ ₄	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

PARAMETRI MEDI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' med (kPa)	φ med (°)	Cu med (kPa)
1	1.00	ghiaie-sabbie	20.00	0.0	32.0	
2	31.00	Argille grigie	20.00	28.0	26.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	α	α
0.47	0.62		
0.56	0.49		

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' min (kPa)	φ min (°)	Cu min (kPa)
1	1.00	ghiaie-sabbie	20.00	0.0	30.5	
2	31.00	Argille grigie	20.00	20.0	24.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	α	α
0.49	0.59		
0.59	0.45		

RISULTATI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Qs1 (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	Qs1 (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)
1	1.00	ghiaie-sabbie	41.5					41.0				
2	31.00	Argille grigie	5468.9	9.40	17.22	3866.2	3036.5	5273.5	8.73	17.35	3488.0	2739.5

CARICO ASSIALE AGENTE

Nd = N_G · γ_G + N_Q · γ_Q
 Nd = 2.8 (kN)

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

base R_{b,cal med} = 3036.5 (kN)
 laterale R_{s,cal med} = 5510.4 (kN)
 totale R_{c,cal med} = 8546.9 (kN)

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

base R_{b,cal min} = 2739.5 (kN)
 laterale R_{s,cal min} = 5314.5 (kN)
 totale R_{c,cal min} = 8054.0 (kN)

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

R_{b,k} = Min(R_{b,cal med}/ξ₃; R_{b,cal min}/ξ₄) = 2094.2 (kN)
 R_{s,k} = Min(R_{s,cal med}/ξ₃; R_{s,cal min}/ξ₄) = 3800.3 (kN)

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

R_{c,d} = R_{b,k}/γ_b + R_{s,k}/γ_s
 R_{c,d} = 4855.8 (kN)

F_s = R_{c,d} / Nd

F_s = #####

curva carico limite pali pila 3

Rd = 4272 kN

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

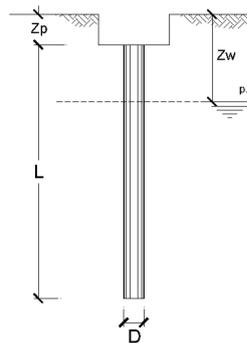
CANTIERE:

OPERA:

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): **1.00** (m) Area del Palo (Ap): **0.785** (m²)
 Quota testa Palo dal p.c. (Zp): **4.00** (m) Quota falda dal p.c. (Zw): **0.00** (m)
 Carico Assiale Permanente (G): **1** (kN) Carico Assiale variabile (Q): **1** (kN)
 Numero di strati **2** Lpalo = **29.00** (m)

coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base		
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	γb	γs	γs traz.
CS	A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	1.00	1.30	1.70	1.45	1.60
	A1+M1+R3	1.30	1.50	1.35	1.15	1.25
	SISMA	1.00	1.00	1.35	1.15	1.25
DMB8		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		1.10	1.20	1.50	1.30	1.30



n	1	2	3	4	5	7	≥10	TA	prog.
ξ ₃	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ ₄	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

PARAMETRI MEDI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' med (kPa)	φ med (°)	Cu med (kPa)
1	1.00	ghiaie-sabbie	20.00	0.0	32.0	
2	28.00	Argille grigie	20.00	28.0	26.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	α	α
0.47	0.62		
0.56	0.49		

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' min (kPa)	φ min (°)	Cu min (kPa)
1	1.00	ghiaie-sabbie	20.00	0.0	30.5	
2	28.00	Argille grigie	20.00	20.0	24.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	α	α
0.49	0.59		
0.59	0.45		

RISULTATI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Qs1 (kN)	Nq (kN)	Nc (kN)	qb (kPa)	Qbm (kN)	Qs1 (kN)	Nq (kN)	Nc (kN)	qb (kPa)	Qbm (kN)
1	1.00	ghiaie-sabbie	41.5					41.0				
2	28.00	Argille grigie	4578.2	9.81	18.06	3742.0	2938.9	4414.6	9.12	18.24	3374.9	2650.6

CARICO ASSIALE AGENTE

Nd = N_G · γ_G + N_Q · γ_Q
 Nd = 2.8 (kN)

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

base R_{b,cal med} = 2938.9 (kN)
 laterale R_{s,cal med} = 4619.7 (kN)
 totale R_{c,cal med} = 7558.6 (kN)

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

base R_{b,cal min} = 2650.6 (kN)
 laterale R_{s,cal min} = 4455.6 (kN)
 totale R_{c,cal min} = 7106.3 (kN)

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

R_{b,k} = Min(R_{b,cal med}/ξ₃; R_{b,cal min}/ξ₄) = 2026.8 (kN)
 R_{s,k} = Min(R_{s,cal med}/ξ₃; R_{s,cal min}/ξ₄) = 3186.0 (kN)

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

R_{c,d} = R_{b,k}/γ_b + R_{s,k}/γ_s
 R_{c,d} = 4271.8 (kN)

F_s = R_{c,d} / Nd

F_s = #####

La seguente tabella riepiloga le resistenze di progetto dei pali dei singoli complessi fondazionali.

OPERA	L pali	Rd
	[m]	[kN]
Spalla	28	3610
Pila 1	29	3845
Pila 2	32	4253
Pila 3	29	3808

9.2 RESISTENZA TRASVERSALE

Per la determinazione del valore di progetto della resistenza dei pali soggetti a carichi trasversali valgono le indicazioni di cui al paragrafo precedente riguardanti le combinazioni di coefficienti parziali di sicurezza, l'amplificazione delle azioni e l'abbattimento delle proprietà meccaniche dei terreni. I coefficienti di sicurezza parziali sulla resistenza da applicarsi sono quelli contenuti nella seguente tabella

COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
$\gamma_T = 1,0$	$\gamma_T = 1,6$	$\gamma_T = 1,3$

Il carico limite trasversale è calcolabile mediante la teoria di Broms (1964).

Per pali in terreni granulari impediti di ruotare in testa si possono presentare i seguenti casi:

- Palo corto (nessuna formazione di cerniere plastiche)
- palo intermedio (formazione di cerniera plastiche alla connessione fondazione palo)
- palo lungo (formazione di due cerniere plastiche, una alla connessione fondazione palo, l'altra lungo il fusto del palo).

Detti

- “d” il diametro del palo
- L la lunghezza del palo
- M_y il momento di plasticizzazione del palo
- γ il peso per unità di volume del terreno
- k_p il coefficiente di spinta passiva del terreno

si trova che nel caso di palo corto la resistenza ad azioni trasversale vale

$$H_k = 1.5 \left(\frac{L}{d} \right)^3 k_p \gamma d^3$$

Nel caso di palo intermedio invece

$$H_k = \left[1.2 \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{k_p \gamma d^4} \frac{d}{L} \right] k_p \gamma d^3$$

e infine nel caso di palo lungo

$$H_k = k_p \gamma d^4 \left(\sqrt[3]{3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}} \right)$$

Si riportano nel seguito i calcoli eseguiti per i pali dei singoli complessi fondazionali.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

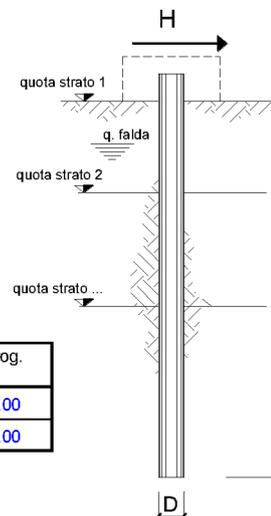
Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Carico limite trasversale pali Spalla

$H_d = 632 \text{ kN}$

opera **SAN LEONARDO**

coefficienti parziali			A		M		R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_ψ	γ_{cu}	γ_T
			γ_G	γ_Q			
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.00	1.00	1.60
	A1+M1+R3	<input checked="" type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.30
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			1.30	1.50	1.25	1.40	1.00



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	φ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						k_p	c_u (kPa)	φ (°)	k_p	c_u (kPa)
p.c.=strato 1		100.00	20	10	23	2.28		22	2.20	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2		-4.80	20	10	26	2.56		24	2.37	
<input type="checkbox"/> strato 3						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 4						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1.00			1.00	

Quota falda 0 (m)
 Diametro del palo D 1.00 (m)
 Lunghezza del palo L 28.00 (m)
 Momento di plasticizzazione palo M_y 1620.46 (kNm)
 Step di calcolo 0.01 (m)

- palo impedito di ruotare
- palo libero

Calcolo
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	1192.5 (kN)		1172.1 (kN)	
Palo intermedio	15682.3 (kN)		14535.4 (kN)	
Palo corto	60184.2 (kN)		55737.8 (kN)	
H_{med}	1192.5 (kN)	Palo lungo	H_{min}	1172.1 (kN)
$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)$			822.43 (kN)	
$H_d = H_k \gamma_T$			632.64 (kN)	

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

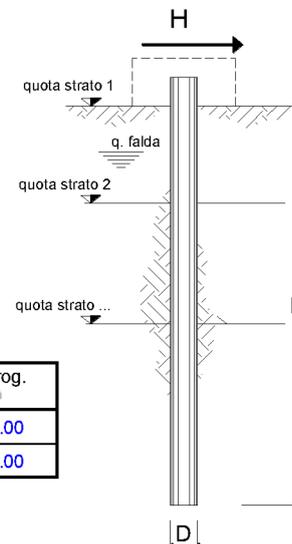
Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Carico limite trasversale pali pila 1

Hd = 647 kN

opera **SAN LEONARDO**

coefficienti parziali Metodo di calcolo			A		M		R	
			permanenti γ_G	variabili γ_Q	γ_ϕ	γ_{cu}	γ_T	
SU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.00	1.00	1.60	
	A1+M1+R3	<input checked="" type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.30	
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30	
DM88			<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	
definiti dal progettista			<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.25	1.40	1.00



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						k_p	c_u (kPa)	ϕ (°)	k_p	c_u (kPa)
p.c.=strato 1		100.00	20	10	26	2.56		24	2.37	
<input type="checkbox"/> strato 2						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 3						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 4						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1.00			1.00	

Quota falda **0** (m)
 Diametro del palo D **1.00** (m)
 Lunghezza del palo L **29.00** (m)
 Momento di plasticizzazione palo My **1620.46** (kNm)
 Step di calcolo **0.01** (m)

- palo impedito di ruotare
- palo libero

Calcolo
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	1220.1 (kN)		1187.1 (kN)	
Palo intermedio	16849.4 (kN)		15600.1 (kN)	
Palo corto	64615.8 (kN)		59825.0 (kN)	
H_{med}	1220.1 (kN)	Palo lungo	H_{min} 1187.1 (kN)	Palo lungo
	H_k = Min(H_{med}/ξ₃ ; R_{min}/ξ₄)		841.46 (kN)	
	H_d = H_k/γ_T		647.27 (kN)	

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

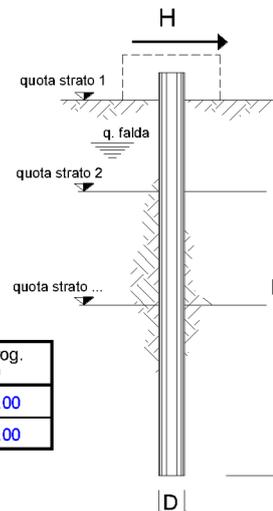
Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Carico limite trasversale pali pila 2

Hd = 1150 kN

opera **SAN LEONARDO**

coefficienti parziali			A		M		R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_{ϕ}	γ_{cu}	γ_T
			γ_G	γ_Q			
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.00	1.00	1.60
	A1+M1+R3	<input checked="" type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.30
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			1.30	1.50	1.25	1.40	1.00



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						k_p	c_u (kPa)	ϕ (°)	k_p	c_u (kPa)
p.c.=strato 1		100.00	20	10	32	3.25		30	3.00	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2		99.00	20	10	26	2.56		24	2.37	
<input type="checkbox"/> strato 3						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 4						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1.00			1.00	

Quota falda **0** (m)
 Diametro del palo D **1.00** (m)
 Lunghezza del palo L **32.00** (m)
 Momento di plasticizzazione palo My **1620.46** (kNm)
 Step di calcolo **0.01** (m)

- palo impedito di ruotare
- palo libero

Calcolo
(ctrl+r)

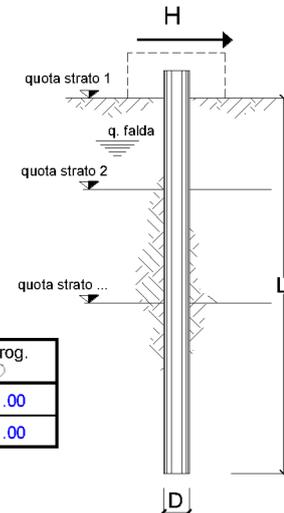
	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	1234.8 (kN)		1209.6 (kN)	
Palo intermedio	20521.8 (kN)		19003.5 (kN)	
Palo corto	78696.9 (kN)		72865.4 (kN)	
	H_{med} 1234.8 (kN)	Palo lungo	H_{min} 1209.6 (kN)	Palo lungo
	H_k = Min(H_{med}/ξ₃; R_{min}/ξ₄)		851.59 (kN)	
	H_d = H_k·γ_T		655.07 (kN)	
Carico Assiale Permanente (G):	G =		884.6 (kN)	
Carico Assiale variabile (Q):	Q =		0 (kN)	
	F_d = G · γ_G + Q · γ_Q =		1149.98 (kN)	

Carico limite trasversale pali pila 3

$H_d = 1150 \text{ kN}$

opera **SAN LEONARDO**

coefficienti parziali			A		M		R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_ϕ	γ_{cu}	γ_T
			γ_G	γ_Q			
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.00	1.00	1.60
	A1+M1+R3	<input checked="" type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.30
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.25	1.40	1.00



n	1	2	3	4	5	7	≥ 10	T.A.	prog.
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						k_p	c_u (kPa)	ϕ (°)	k_p	c_u (kPa)
p.c.=strato 1		100.00	20	10	32	3.25		30	3.00	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2		99.00	20	10	26	2.56		24	2.37	
<input type="checkbox"/> strato 3						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 4						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1.00			1.00	

Quota falda **0** (m)
 Diametro del palo D **1.00** (m)
 Lunghezza del palo L **29.00** (m)
 Momento di plasticizzazione palo My **1868.50** (kNm)
 Step di calcolo **0.01** (m)

- palo impedito di ruotare
- palo libero

Calcolo
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	1360.0 (kN)		1328.7 (kN)	
Palo intermedio	21872.2 (kN)		20253.8 (kN)	
Palo corto	83691.0 (kN)		77489.2 (kN)	
	H_{med} 1360.0 (kN)	Palo lungo	H_{min} 1328.7 (kN)	Palo lungo
	$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)$		937.96 (kN)	
	$H_d = H_k \cdot \gamma_T$		721.51 (kN)	
Carico Assiale Permanente (G):	G =		884.6 (kN)	
Carico Assiale variabile (Q):	Q =		0 (kN)	
	$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q =$		1149.98 (kN)	

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Si riepilogano nel seguito le resistenze trasversali di progetto.

OPERA	L pali	Armatura	Hd
	[m]	-	[kN]
Spalla	28	24Φ24	530.4
Pila 1	29	24Φ24	537.1
Pila 2	32	24Φ24	547.4
Pila 3	29	24Φ24	547.4

10 RIGIDEZZA ASSIALE E TRASVERSALE DEI PALI

La rigidità assiale dei pali è stata valutata mediante il metodo delle curve di trasferimento, utilizzando tutti gli elementi disponibili dalla caratterizzazione ed in modo da risultare coerenti con le ipotesi di calcolo utilizzate anche nella stima del carico limite assiale del palo.

Il metodo richiede infatti la definizione di:

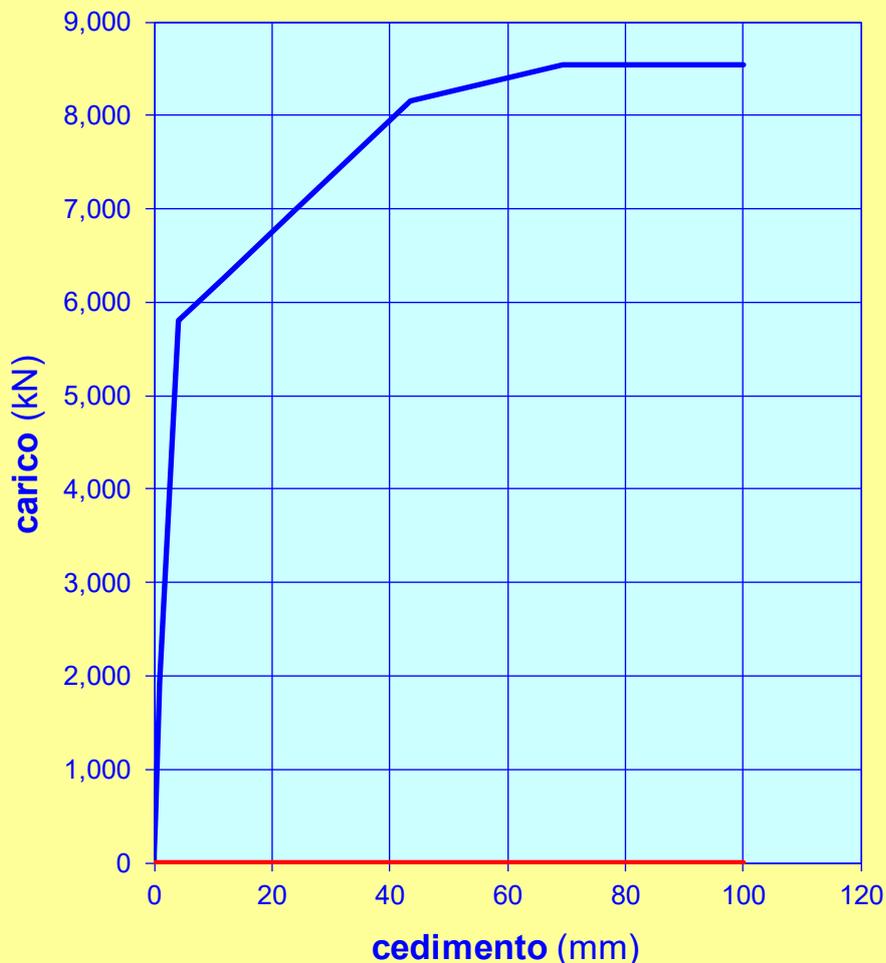
- resistenza laterale unitaria palo terreno;
- resistenza unitaria alla punta palo-terreno;
- cedimento per il quale si mobilita la resistenza laterale unitaria;
- cedimento per il quale si mobilita la resistenza alla punta del palo.

La seguente tabella riepiloga tutte le ipotesi di calcolo. Si noti che le resistenze laterale unitaria dei singoli strati e la resistenza alla base del palo sono state scelte per riprodurre il più fedelmente possibile lo sviluppo della resistenza laterale lungo il palo, e la resistenza alla base come modellate nel calcolo del carico limite assiale del palo mutuandole da quanto riportato nelle in allegato.

mobilitazione portata laterale									
numero strato	tipo terreno	ΔH_i (m)	H_f (m)	d (m)	A (m ²)	y_{cr} suggeriti (mm)	y_{cr} adottati (mm)	τ_{ult} (kPa)	
1	C	1.00	1.0	1	0.79	2.0 4.0	3.0	20	
2	C	7.00	8.0	1	0.79	2.0 4.0	3.0	32	
3	C	7.00	15.0	1	0.79	2.0 4.0	3.0	53	
4	C	7.00	22.0	1	0.79	2.0 4.0	3.0	62	
5	C	6.00	28.0	1	0.79	2.0 4.0	3.0	70	
6	C	4.00	32.0	1	0.79	2.0 4.0	3.0	75	
mobilitazione portata di base									
terreni COESIVI	$y_{cr,B/d}$ suggeriti (%)	$y_{cr,B/d}$ adottati (%)	q_{LIM} (kPa)	terreni NON COESIVI	$y_{cr,B/d}$ suggeriti (%)	$y_{cr,B/d}$ adottati (%)	q_{cr} (kPa)		
I	1,75-2,50	5.0	3800		--	0	0		

La curva carico cedimento del palo è presentata nella seguente figura

H.4.1.1. COMPRESSIONE - Sezione circolare



Considerando un carico medio in condizioni sismiche (al fine di tarare la rigidezza in condizioni SLU-SLV) pari a :

$$N = 3570$$

il cedimento corrispondente è pari a

$$w = 2.30 \text{ mm}$$

La rigidezza del palo deve comunque essere valutata considerando anche gli effetti di gruppo. I pali cedono infatti sia per effetto del carico direttamente agente su di essi, sia per l'effetto di interazione con i pali circostanti.

Il cedimento del gruppo di pali è stato valutato utilizzando il metodo di Mandolini (1997).

Risulta un cedimento del gruppo pari a

<u>CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:</u>			
$\delta = \beta * P / E * L_{utile}$			
Coefficiente di forma			
$\beta =$	$0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D):$		2.01 (-)
Cedimento del palo			
$\delta = \beta * P / E * L_{utile}$	=		2.30 (mm)
<u>CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:</u>			
$\delta_p = R_s * \delta = n * R_g * \delta$			
Coefficiente di Gruppo			
$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2$	(Viggiani, 1999)		
$R = (n * s / L)^{0,5}$	R	=	1.061
Cedimento della palificata			
$\delta_p = n * R_g * \delta =$	12	*	0.59 * 2.30 = 16.19 (mm)

$$w_{gr} = 16.2 \text{ mm}$$

Per le analisi strutturali, i pali è pertanto corretto utilizzare come rigidità assiale il seguente valore

$$k = 250000 \text{ kN/m}$$

approssimando leggermente il rapporto tra carico applicato e cedimento del gruppo.

Si segnala che dalle prove svolte sul modello, i risultati in termini di carico agente sui pali sono molto poco sensibili alle rigidità verticali dei pali ed è pertanto influente

Per la modellazione della rigidità laterale unitaria si può invece fare riferimento a quanto proposto da Viggiani (1999) per argille leggermente sovraconsolidate, ovvero di considerare una rigidità n_h e pari a

$$n_h = 5 \text{ N/cm}^3$$

11 VERIFICHE AGLI SLU

11.1 VERIFICA GEO

Si riportano nel seguito le verifiche a carico limite verticale e trasversale effettuate confrontando le resistenze di progetto con le azioni di progetto. Come si nota le verifiche sono sempre soddisfatte essendo

$$R_d > N_d$$

$$H_d > T_d$$

Tabella 12- Verifica SLU carico assiale

OPERA	L pali	N_d	R_d
	[m]	[kN]	[kN]
Spalla	28	3471	3709
Pila 1	29	3747	4269
Pila 2	32	4104	4856
Pila 3	29	3646	4272

Tabella 13- Verifica SLU carico trasversale

OPERA	L pali	Armatura	T_d	H_d
	[m]	-	[kN]	[kN]
Spalla	28	24Φ24	466	632
Pila 1	29	24Φ24	514	647
Pila 2	32	24Φ24	509	1150
Pila 3	29	24Φ24	449	1150

11.2 VERIFICA SLE

Il calcolo dei cedimenti delle palificate sono svolti utilizzando il metodo di Mandolini, con riferimento ad un carico medio in condizioni SLE rare pari a 1900 kN (determinato mediando le azioni assiali sui pali della pila più caricata in condizioni SLE –Rare).

Il cedimento del palo singolo è stato determinato utilizzando le ipotesi descritte al cap. 10.

Come si nota il massimo cedimento delle pile è pari a 1.0 cm,

Questi livelli di spostamento non provocano sicuramente pregiudizio funzionale o di stabilità alle opere.

La verifica è pertanto soddisfatta.

<u>CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:</u>			
$\delta = \beta * P / E * L_{utile}$			
Coefficiente di forma			
$\beta =$	$0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D):$	1.95	(-)
Cedimento del palo			
$\delta = \beta * P / E * L_{utile}$	=	1.47	(mm)
<u>CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:</u>			
$\delta_p = R_s * \delta = n * R_g * \delta$			
Coefficiente di Gruppo			
$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2$ (Viggiani, 1999)			
$R = (n * s / L)^{0,5}$	R	=	1.114
Cedimento della palificata			
$\delta_p = n * R_g * \delta =$	12	* 0.55	* 1.47 = 9.75 (mm)

12 VERIFICA DI STABILITÀ

12.1 GENERALITÀ SUI METODI DI CALCOLO

Le verifiche di stabilità con i metodi dell'equilibrio limite rispondono a requisiti di semplicità e rapidità e sono correntemente impiegate, malgrado le loro limitazioni, nella pratica professionale e nella ricerca; ognuno dei metodi disponibili fornisce un'equazione finale che permette di determinare il coefficiente di sicurezza (Tancredi, 1996).

Ogni metodo assume una serie di ipotesi semplificative così da poter rendere risolvibile il sistema di equazioni che, come vedremo, risulta essere staticamente indeterminato.

Alcuni di questi metodi sono stati risolti con metodo iterativo, vale a dire creando una procedura di calcolo che facilita la loro implementazione su macchina. Tra questi ci interessa maggiormente approfondire il metodo implementato dal programma di calcolo SLOPE/W, che è il metodo di Bishop (1955) e la sua semplificazione.

Le analisi di stabilità che adottano tali metodi sono quelle dell'equilibrio limite globale. Tale verifica si conduce esaminando un certo numero di possibili superfici di scivolamento per ricercare quella che rappresenta il rapporto minimo tra la resistenza a rottura disponibile e quella effettivamente mobilitata; il valore di questo rapporto costituisce il coefficiente di sicurezza del pendio. Scelta quindi una superficie di rottura si suddivide in conci la parte instabile, si studia dapprima l'equilibrio della singola striscia e poi si passa alla stabilità globale.

Dato l'elevato numero di incognite, ogni metodo assume delle ipotesi semplificative che rendono risolvibile il sistema e sono proprio tali ipotesi che differenziano un metodo dall'altro.

Esistono diverse formulazioni ascrivibili a diversi autori per il calcolo e la soluzione di problemi relativi alla stabilità dei pendii tramite metodi dell'equilibrio limite, tutti questi metodi si basano su ipotesi comuni, che sono:

- Il coefficiente di sicurezza è definito come il rapporto tra la resistenza al taglio lungo un'ipotetica superficie di scorrimento e lo sforzo di taglio mobilitato lungo la stessa superficie;
- La rottura avviene, per il raggiungimento della resistenza limite, contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento.
- Il coefficiente di sicurezza è costante in tutti i punti della superficie di scorrimento.
- La resistenza al taglio è espressa dal criterio di Coulomb.

Nell'utilizzare tali metodi di calcolo si fa sempre riferimento a problemi piani nei quali, quindi, la superficie di scorrimento è rappresentata da una curva e si trascura ogni effetto dovuto alle sezioni adiacenti. Tali schematizzazioni sono giustificabili se le proprietà meccaniche dei terreni sono omogenee in direzione trasversale e quando l'estensione del pendio è predominante sulla dimensione trasversale.

In generale la massa di terreno compresa tra la superficie di scorrimento e la superficie del suolo viene suddivisa in conci e le forze che agiscono su ciascuna striscia possono essere calcolate imponendo le condizioni di equilibrio. L'equilibrio dell'intera massa è dato poi dalla composizione delle forze che agiscono su ciascuna striscia (Tancredi, 1996).

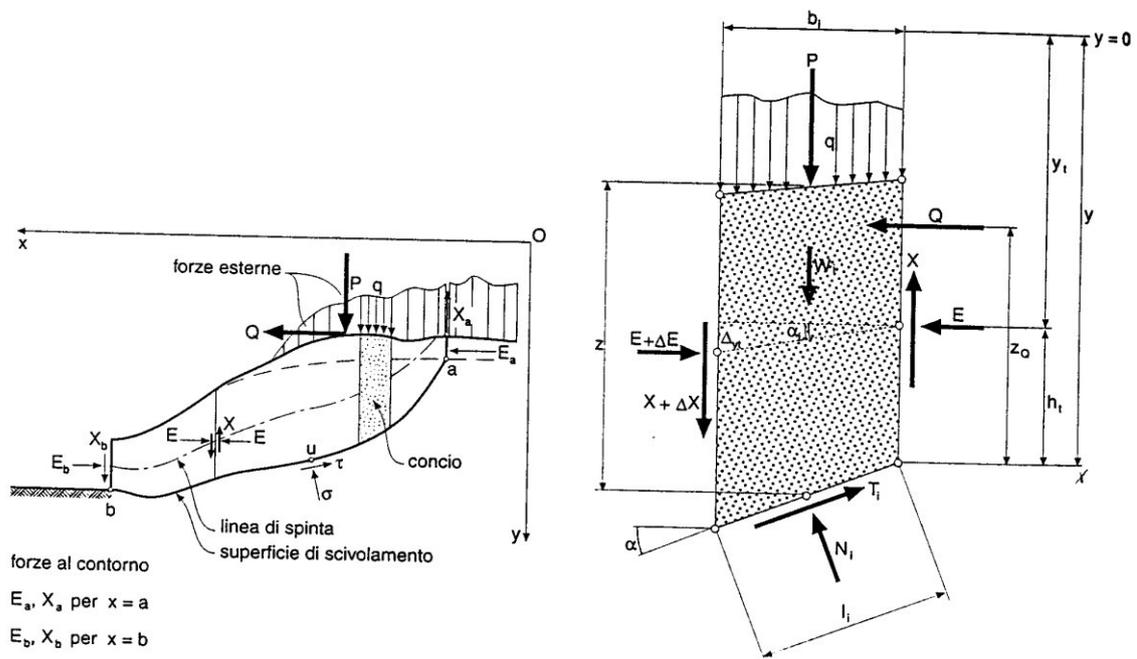


Figura 7 - Metodo delle strisce.

Le forze agenti su ciascun concio sono, con riferimento alla figura precedente: Il peso W , l'azione tangenziale alla base T , l'azione normale efficace alla base N , la spinta dell'acqua sulla base U , gli sforzi tangenziali X e quelli normali E sulle superfici laterali (forze d'interfaccia).

Le condizioni di equilibrio di ciascun concio sono date dalle tre equazioni della statica, pertanto, ammettendo di suddividere il volume di terreno in esame in n conci, si hanno a disposizione $3n$ equazioni, mentre le incognite del problema risultano essere $5n-2$ così composte:

- n valori per l'azione delle forze normali efficaci alla base.
- $n-1$ valori per ciascuna delle forze d'interfaccia (X ed E)

- n-1 valori per il punto di applicazione delle forze d'interfaccia in direzione orizzontale.
- n valori per il punto di applicazione degli sforzi normali efficaci alla base.
- 1 valore del coefficiente di sicurezza.

Come già accennato, dal bilancio fra le equazioni disponibili e il numero delle incognite risulta che si hanno $2n-2$ incognite sovrabbondanti e quindi il problema risulta staticamente indeterminato, per riportarlo a staticamente determinato e rendere possibile la soluzione del sistema di equazioni che descrivono l'equilibrio della massa di terreno potenzialmente instabile, è necessario introdurre alcune ipotesi semplificative che consentono di ridurre il numero delle incognite del problema. La prima tra tutte, che risulta, tra le altre cose, comune a tutti i metodi, è quella di considerare centrata la forza agente alla base della striscia, il che è accettabile nel caso in cui i conci siano di larghezza limitata. Le altre ipotesi necessarie per risolvere il sistema di equazioni sono diverse caso per caso e sono queste stesse che caratterizzano un metodo da un altro. L'esistenza di molti metodi di calcolo porta alcune volte alla indeterminatezza della soluzione, è bene quindi sottolineare che da studi comparativi effettuati per indagare la risposta dei diversi metodi di calcolo, indicano che, quelli che soddisfano tutte le condizioni di equilibrio danno sostanzialmente gli stessi risultati in termini di coefficiente di sicurezza, o meglio che non differiscono tra loro più del 5% (Duncan,1980).

12.2 VERIFICHE DI STABILITÀ DELL'INTERVENTO

Come accennato nel precedente paragrafo le verifiche di stabilità sono state eseguite con il codice di calcolo Slope/W della GeoSlope International Ltd adottando il criterio di verifica all'equilibrio limite globale.

Le analisi di stabilità hanno investigato diverse superfici di scorrimento al fine di determinare i coefficienti di sicurezza in funzione dei possibili meccanismi di rottura.

Con riferimento ai rilevati di approccio le analisi sono state condotte prendendo in considerazione l'altezza massima del rilevato di approccio in corrispondenza delle spalle, pari a circa 7 m e la falda è stata considerata coincidente con il piano campagna in condizioni sia statiche che sismiche.

Le verifiche sono state condotte in condizioni sia statiche che sismiche.

12.3 APPROCCIO NORMATIVO

Come detto, le verifiche di stabilità, nel seguito riportate, sono state eseguite seguendo i metodi dell'equilibrio limite globale secondo quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con il D.M. 17 gennaio 2018 come suggerito ai punti §6.8 e §7.11.

Per tali opere deve essere verificata la condizione $E_d < R_d$ in cui E_d è il valore di progetto delle azioni ed è pari a

$$E_d = \gamma_E E [F_k; X_k / \gamma_M; a_d]$$

mentre R_d è il valore della resistenza del sistema geotecnico pari a

$$R_d = R / \gamma_R [\gamma_F F_k; X_k / \gamma_M; a_d]$$

Con riferimento alle verifiche agli SLU la norma distingue la verifica statica da quella sismica, nello specifico gli approcci da adottare sono:

- Condizione statica: approccio 1, combinazione 2 - A2+M2+R2, coefficiente $\gamma_R = 1.1$ (§6.8 delle NTC18);
- Condizione sismica: coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici pari a 1 e coefficiente $\gamma_R = 1.2$ (§7.11.1 e §7.11.4 delle NTC18).

Relativamente alla sola verifica statica i coefficienti correttivi delle azioni sono stati scelti secondo la tab. 6.2.I nel seguito riportata mentre per le resistenze va applicata la tab. 6.2.II relativa ai coefficienti correttivi dei parametri geotecnici.

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale $\gamma_F \circ \gamma_E$	EQU	(A1)	(A2)
				STR	GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.8	0.8	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Tabella 14: COEFFICIENTI PARZIALI PER LE AZIONI E PER L'EFFETTO DELLE AZIONI (TAB. 6.2.I DELLE NTC18)

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di Resistenza al taglio	$\tan \varphi'$	γ_{φ}	1.0	1.25
Coesione efficace	c'	γ_c	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_u	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1.0	1.0

Tabella 15: COEFFICIENTI PARZIALI PER I PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO (TAB. 6.2.II DELLE NTC18)

Nello specifico, per Ed si intende lo sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento critica e per Rd la resistenza al taglio disponibile.

Pertanto, la verifica di stabilità si ritiene superata se il coefficiente di sicurezza ottenuto dal calcolo (pari a Rd/Ed) risulterà superiore a

- 1,1 per le analisi statiche;
- 1,2 per le analisi sismiche.

12.4 RISULTATI DI CALCOLO ANALISI DI STABILITÀ RILEVATI DI APPROCCIO

La tabella seguente mostra i risultati delle analisi condotte, mentre nelle figure seguenti sono mostrati i modelli utilizzati dai quali è possibile ricavare l'andamento e l'estensione delle superfici critiche.

Stati Limite	Rd /Ed statico	Rd /Ed Sismico
<i>Verifica globale</i>	1.32	1.33
<i>Verifica locale sup</i>	1.34	1.48
<i>Verifica locale inf</i>	1.16	1.24

Tabella 16- risultati analisi di stabilità rilevati di approccio

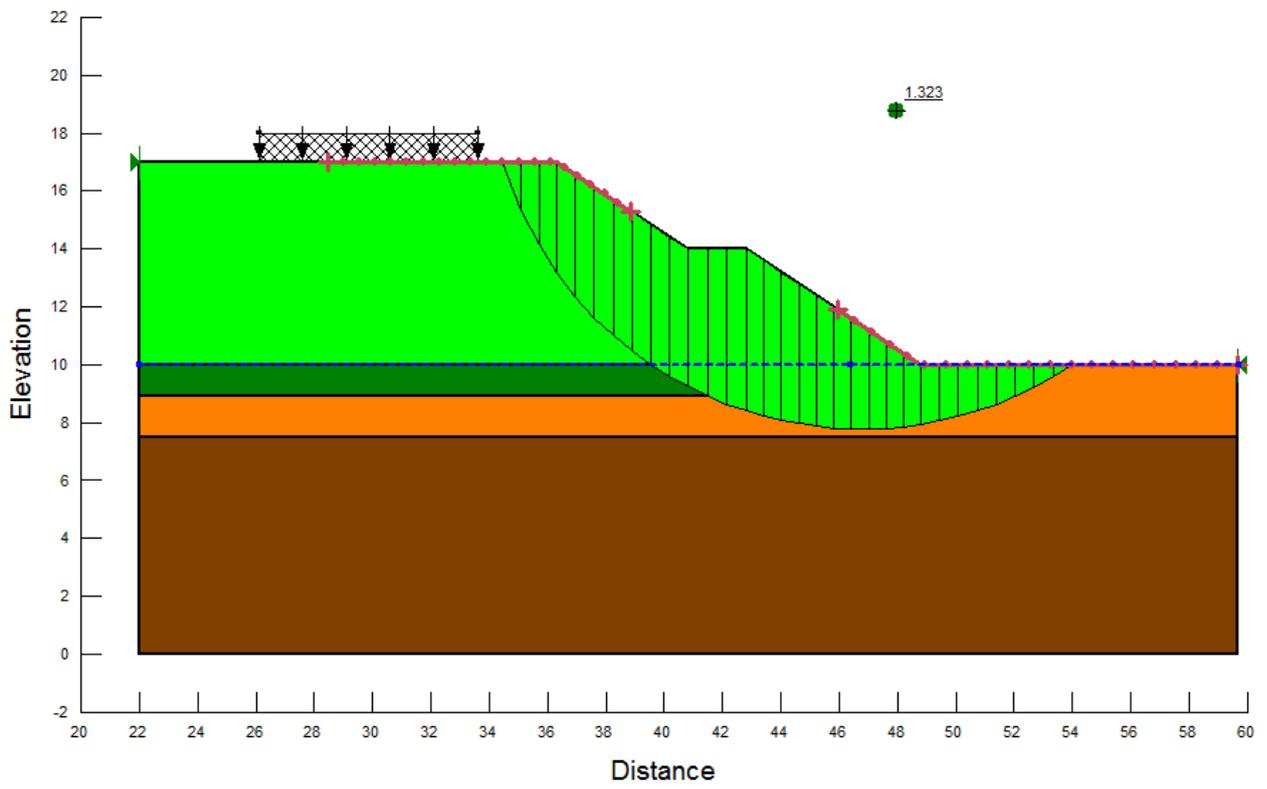


Figura 8- verifica di stabilità globale- condizioni statiche

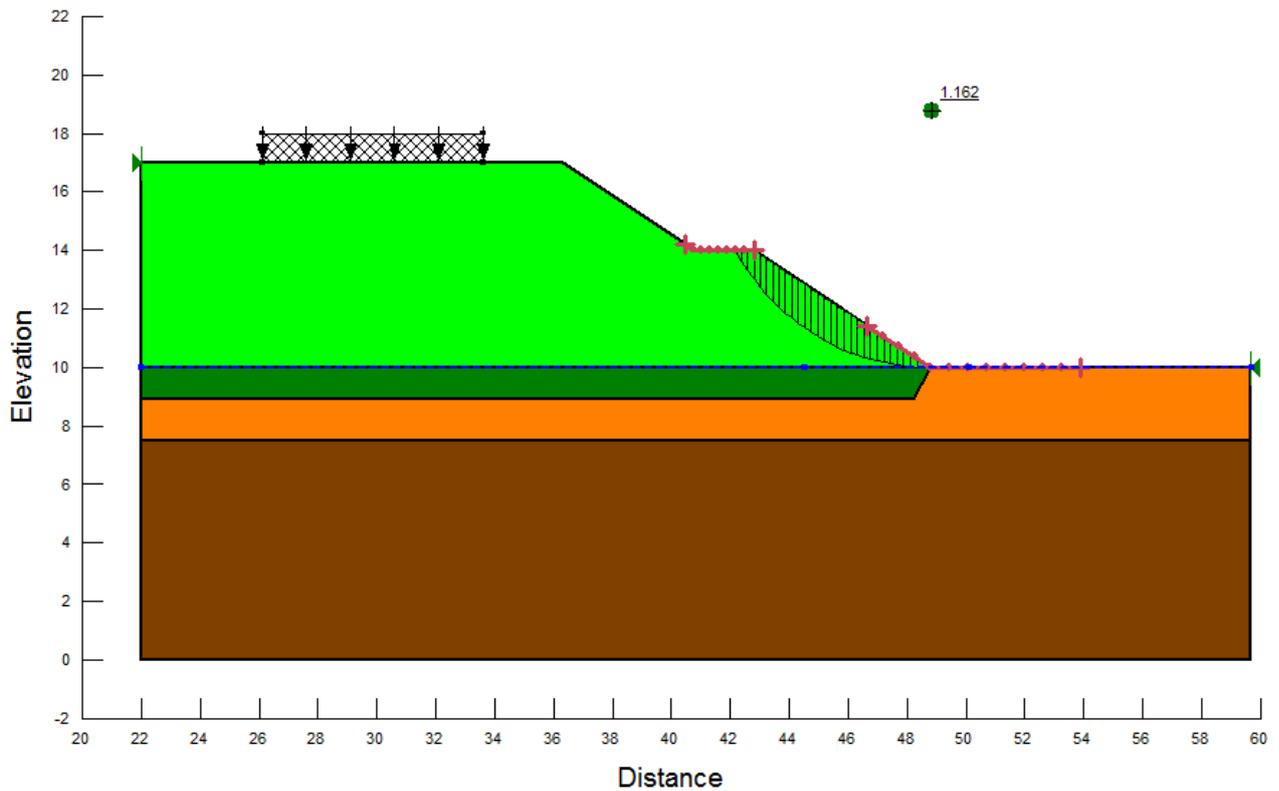


Figura 9 - verifica di stabilità locale inf- condizioni statiche

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

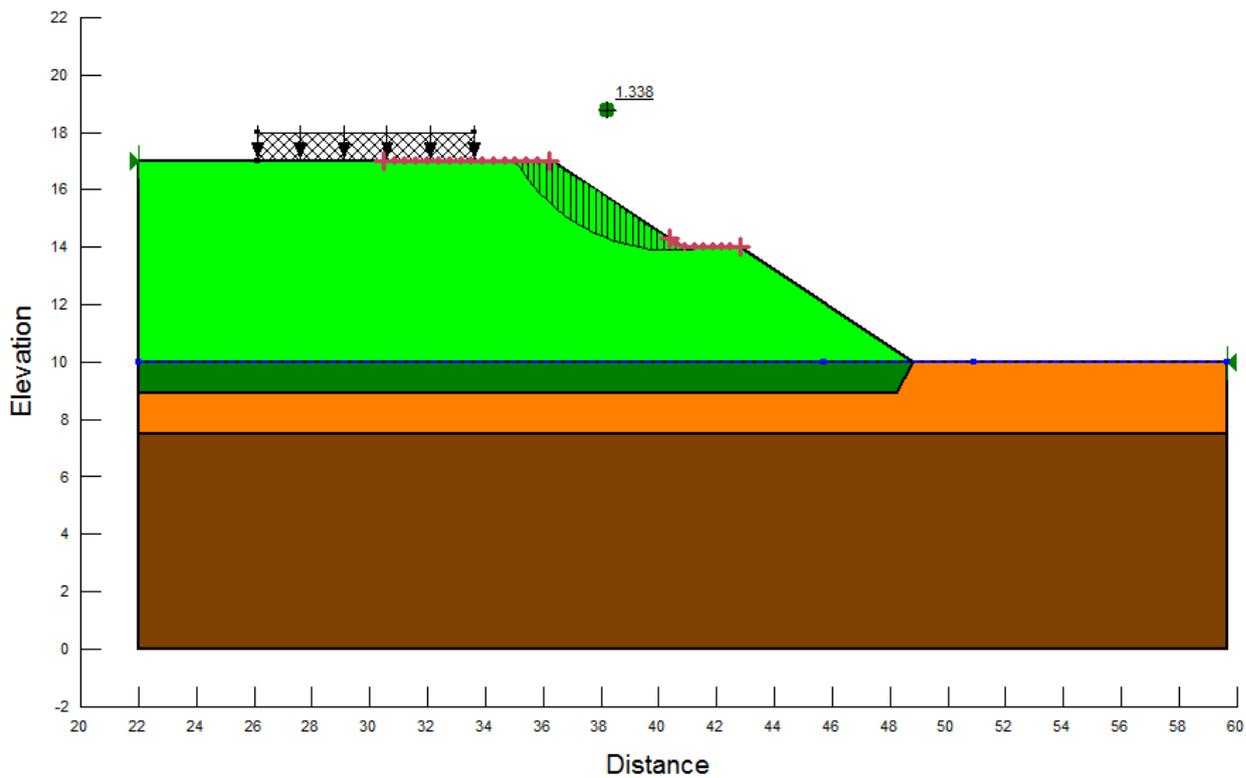


Figura 10 - verifica di stabilità locale sup- condizioni statiche

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti - Viadotto San Leonardo - Relazione Geotecnica e di Calcolo

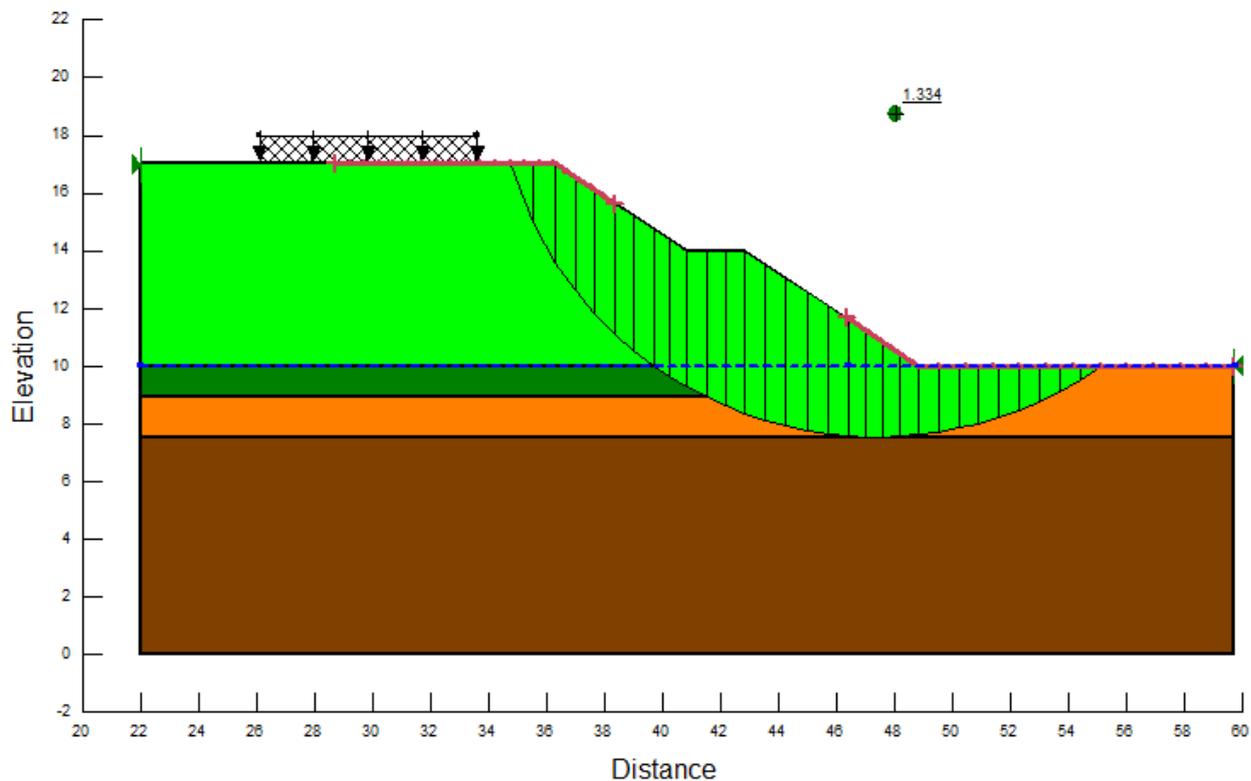


Figura 11- verifica di stabilità globale- condizioni sismiche

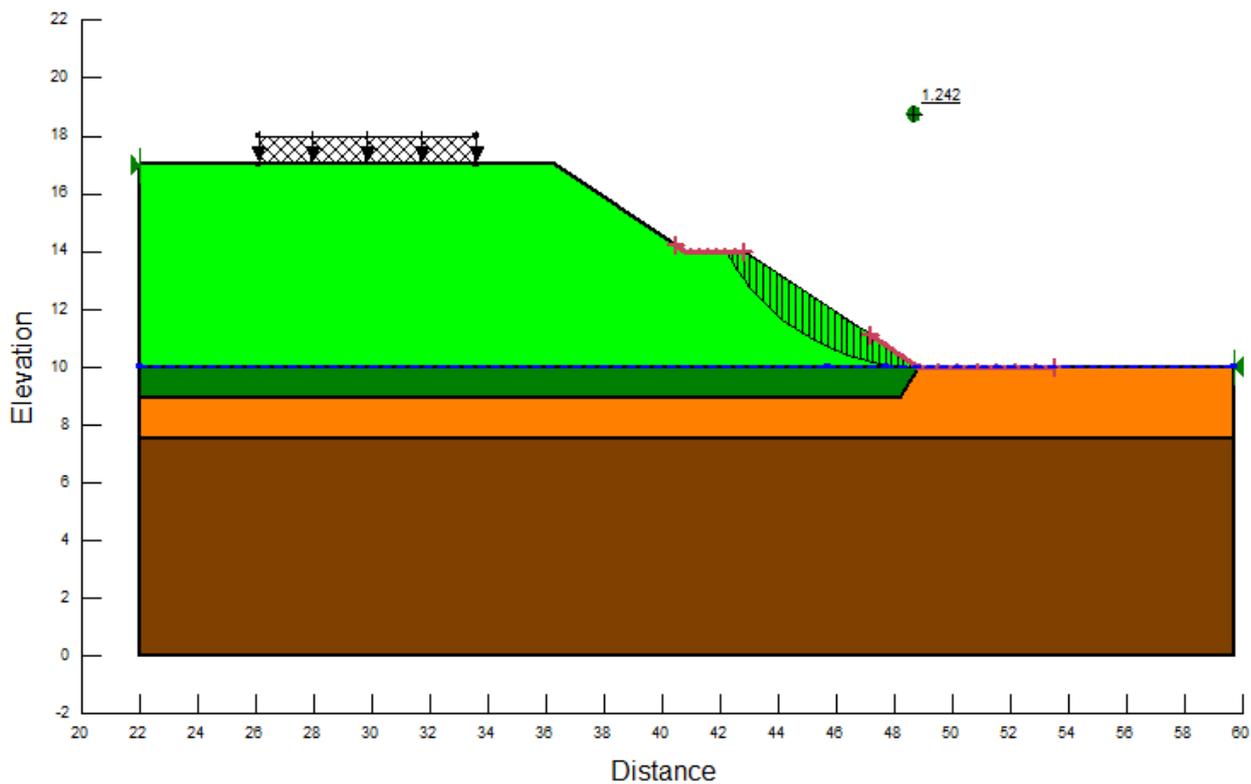


Figura 12 - verifica di stabilità locale inf- condizioni sismiche

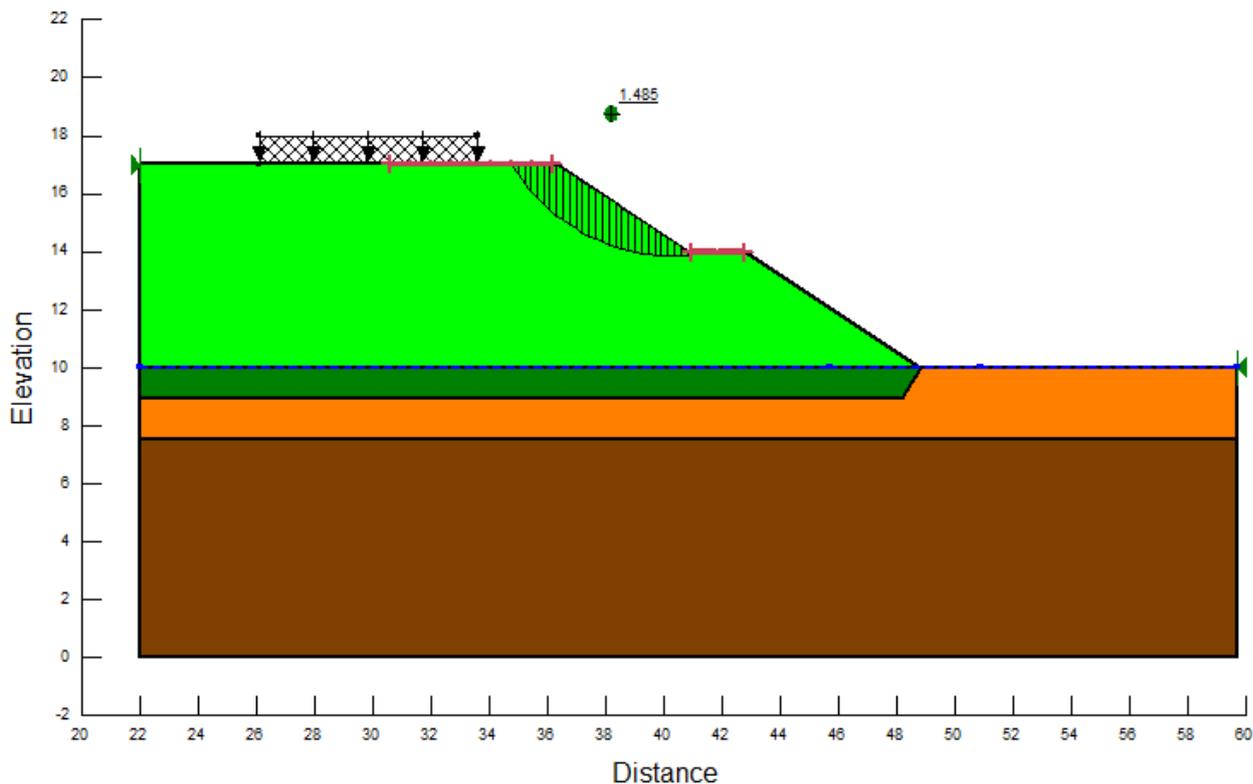


Figura 13 - verifica di stabilità locale sup- condizioni sismiche

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte ai sensi della normativa, essendo il fattore di sicurezza F_s maggiore di 1.1 in condizioni statiche e maggiore di 1.2 in condizioni sismiche per tutte le superfici analizzate.

Per il dettaglio dei calcoli sopra esposti si rimanda agli output di calcolo allegati alla presente relazione.

12.5 RISULTATI DI CALCOLO ANALISI DI STABILITA' GABBIONATURA DI PROTEZIONE OS145

Ad integrazione delle analisi dei rilevati di approccio sono state condotte le verifiche di stabilità anche della gabbionatura di protezione (opera OS145).

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle analisi dalle quali si evince che le verifiche di stabilità risultano soddisfatte.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Stati Limite	Rd /Ed statico	Rd /Ed Sismico
Verifica di stabilità	1.19	1.22

Tabella 17 - risultati analisi di stabilità gabbionatura OS145

Nelle figure seguenti sono mostrati i modelli utilizzati dai quali è possibile ricavare l'andamento e l'estensione delle superfici critiche.

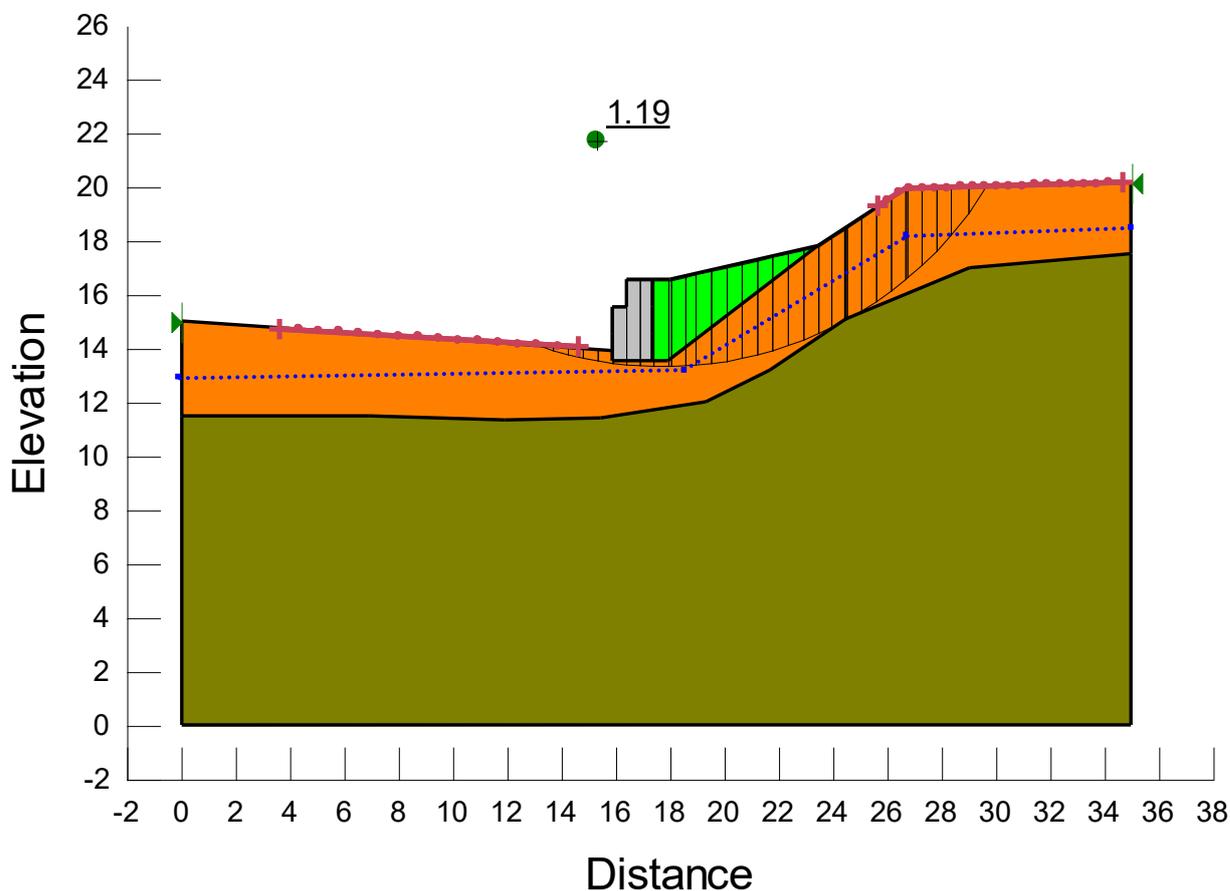


Figura 14 – gabbionatura OS145: verifica statica

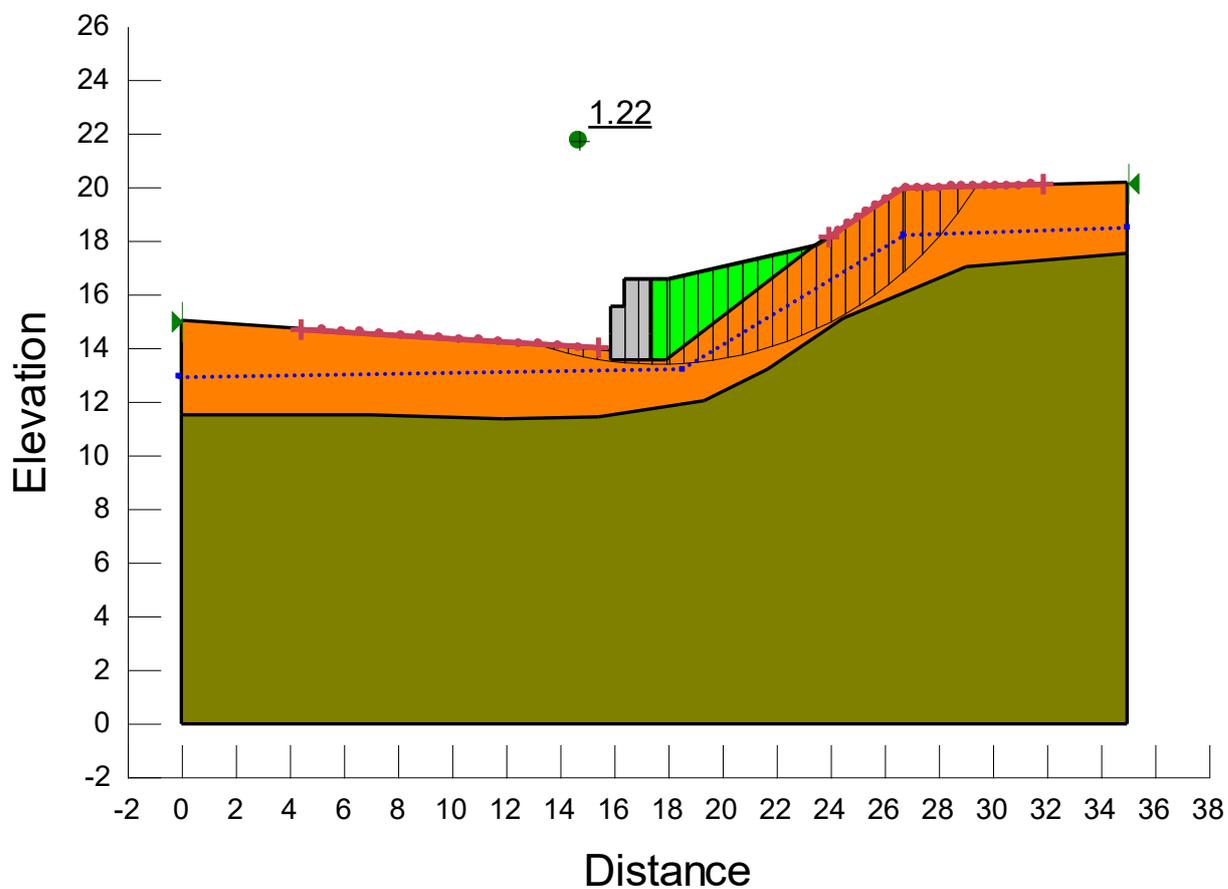


Figura 15 – gabbionatura OS145: verifica sismica

13 CEDIMENTI DEI RILEVATI DI APPROCCIO

Il calcolo viene effettuato per la massima altezza dei rilevati di approccio, pari a circa 7. 0 m (spalla 2).

La stratigrafia di progetto, dedotta dal profilo geologico è la seguente

da p.c. a -8.7 m da p.c.

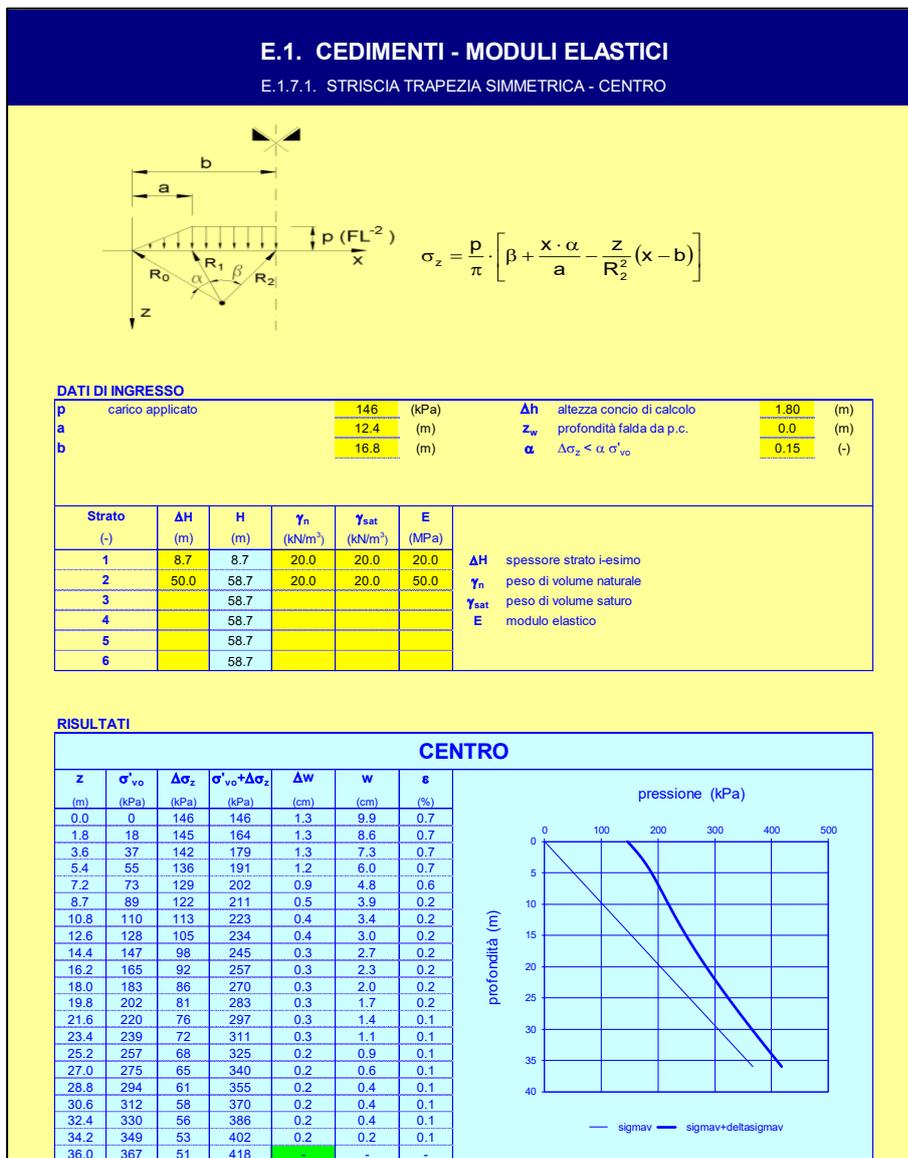
LSA

da 8.7 m da p.c. alla massima profondità di interesse.

AG

Si riporta nel seguito l'esito della valutazione dei cedimenti. Come si evince dalla tabella i massimi cedimenti stimati sono

$w_{finale} = 9.9 \text{ cm.}$



Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

Questi cedimenti di fatto saranno praticamente immediati. I recenti sondaggi svolti in corrispondenza delle pile evidenziano che i materiali alluvionali terrazzati in corrispondenza dei rilevati di approccio sono essenzialmente costituiti da materiali sabbiosi-ghiaiosi intervallati da sottili lenti di materiali a maggiore contenuto di fine (vedasi figura seguente). Di fatto la permeabilità di questo strato è però assimilabile a quella di uno strato continuo di materiali a grana grossa.

I cedimenti si svilupperanno pertanto tutti durante la costruzione dei rilevati senza affliggere l'esercizio dell'opera.

Si ritiene pertanto soddisfatta la verifica ai cedimenti (SLE) per i rilevati di approccio.



Figura 16. Materiali alluvionali terrazzati in corrispondenza della spalla – Sondaggio S2

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

Nuovi Viadotti –Viadotto San Leonardo- Relazione Geotecnica e di Calcolo

14 ALLEGATI FILE DI INPUT OUTPUT DEI MODELLI DI CALCOLO

Globale

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.23. Copyright © 1991-2013 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

Created By: [Francesca Lupino](#)
Revision Number: [62](#)
Last Edited By: [Francesca Lupino](#)
Date: [16/01/2020](#)
Time: [18:14:44](#)
File Name: [Rilevato_Approccio_REV.gsz](#)
Directory: [W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\Calcoli\SAN LEONARDO\stabilità\STAB_FRA\](#)
Last Solved Date: [16/01/2020](#)
Last Solved Time: [18:14:49](#)

Project Settings

Length(L) Units: [meters](#)
Time(t) Units: [Seconds](#)
Force(F) Units: [kN](#)
Pressure(p) Units: [kPa](#)
Strength Units: [kPa](#)
Unit Weight of Water: [9.807 kN/m³](#)
View: [2D](#)

Analysis Settings

Globale

Kind: [SLOPE/W](#)
Method: [Morgenstern-Price](#)
Settings
Apply Phreatic Correction: [No](#)
Side Function
Interslice force function option: [Half-Sine](#)
PWP Conditions Source: [Piezometric Line](#)
Use Staged Rapid Drawdown: [No](#)
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
Tension Crack Option: [\(none\)](#)
FOS Distribution
FOS Calculation Option: [Constant](#)
Advanced
Number of Slices: [30](#)

Optimization Tolerance: 0.01
Minimum Slip Surface Depth: 3 m
Optimization Maximum Iterations: 2000
Optimization Convergence Tolerance: 1e-007
Starting Optimization Points: 8
Ending Optimization Points: 16
Complete Passes per Insertion: 1
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Materials

Rilevato

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Phi: 32 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Bonifica

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Phi: 32 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

LSA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 4 kPa
Phi: 18.8 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

AG

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 16 kPa
Phi: 21.3 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range

Left-Zone Left Coordinate: (28.456308, 17) m
Left-Zone Right Coordinate: (38.863141, 15.29124) m
Left-Zone Increment: 20
Right Projection: Range
Right-Zone Left Coordinate: (45.962583, 11.891612) m
Right-Zone Right Coordinate: (59.7, 10) m
Right-Zone Increment: 20
Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (22, 17) m
Right Coordinate: (59.7, 10) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

X (m) **Y (m)**

22 10

46.417824 10

59.742477 10

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 26 kN/m³
Direction: Vertical

Coordinates

X (m) **Y (m)**

26.1 18

33.6 18

Regions

Material	Points	Area (m ²)
----------	--------	------------------------

Region 1 AG	2,3,4,1	282.75
Region 2 LSA	1,7,6,18,5,4	65.1
Region 3 Bonifica	7,8,18,6	29.15
Region 4 Rilevato	8,10,15,16,17,18	144.85

Points

X (m) Y (m)

Point 1 22 7.5

Point 2 22 0

Point 3 59.7 0

Point 4 59.7 7.5

Point 5 59.7 10

Point 6 48.2 8.9

Point 7 22 8.9

Point 8 22 10

Point 9 22 14

Point 10 22 17

Point 11 26.1 17

Point 12 26.1 18

Point 13 33.6 18

Point 14 33.6 17

Point 15 36.3 17

Point 16 40.8 14

Point 17 42.8 14

Point 18 48.8 10

Critical Slip Surfaces

Slip Surface	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1 1219	1.323	(46.758, 20.573)	12.802	(34.4646, 17)	(53.9759, 10)

Slices of Slip Surface: 1219

Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1 1219	34.770515	16.16768	- 60.484815	7.0183135	4.385529	0
2 1219	35.38231	14.73894	- 46.474452	21.9322	13.704759	0
3 1219	35.994105	13.665845	- 35.950874	34.87828	21.794369	0
4 1219	36.623995	12.768485	- 27.150306	44.371959	27.726677	0
5 1219	37.27199	11.989745	- 19.513892	50.490099	31.549716	0
6 1219	37.919985	11.32216	- 12.966288	55.621137	34.755944	0
7 1219	38.56798	10.74271	- 7.2837993	60.018544	37.503749	0
8 1219	39.215975	10.236395	-2.318309	63.835777	39.88902	0
9 1219	39.85498	9.7981945	1.9791203	67.345958	40.845733	0
10 1219	40.484995	9.419232	5.6955399	70.366923	40.411165	0
11 1219	41.150865	9.0710375	9.1103203	76.541242	42.135517	0
12 1219	41.826295	8.764453	12.117078	86.548124	25.338395	4
13 1219	42.47543	8.5136485	14.576455	94.62284	27.250012	4
14 1219	43.101485	8.30851	16.587831	98.619477	27.92585	4

15	1219	43.704455	8.1445605	18.196129	98.13637	27.213878	4
16	1219	44.307425	8.011678	19.499073	96.935411	26.36148	4
17	1219	44.910395	7.908882	20.506987	94.897328	25.324538	4
18	1219	45.513365	7.8354425	21.228307	91.890295	24.055303	4
19	1219	46.116335	7.790852	21.665321	87.779334	22.507046	4
20	1219	46.71485	7.7747185	21.822638	82.482973	20.650463	4
21	1219	47.30891	7.7865165	21.70835	75.920364	18.455275	4
22	1219	47.90297	7.8259955	21.321136	67.983859	15.885287	4
23	1219	48.5	7.893893	20.654307	58.59126	12.914792	4
24	1219	49.123495	7.995953	19.654092	52.451924	11.165293	4
25	1219	49.770485	8.135147	18.289058	49.711686	10.697135	4
26	1219	50.41748	8.310033	16.573223	45.587472	9.8772559	4
27	1219	51.064475	8.5221705	14.493007	40.108438	8.7202043	4
28	1219	51.711465	8.7735755	12.027534	33.369437	7.2653765	4
29	1219	52.358455	9.0668315	9.1515725	25.523953	5.5736128	4
30	1219	53.00545	9.405251	5.8326365	16.764109	3.7213767	4
31	1219	53.652445	9.7931085	2.0290505	7.3111182	1.7981625	4

Globale_sisma

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.23. Copyright © 1991-2013 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

Created By: [Francesca Lupino](#)
Revision Number: [52](#)
Last Edited By: [Francesca Lupino](#)
Date: [16/01/2020](#)
Time: [17:12:24](#)
File Name: [Rilevato_Approccio_Sisma.gsz](#)
Directory: [W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\Calcoli\SAN LEONARDO\stabilità\STAB_FRA\](#)
Last Solved Date: [16/01/2020](#)
Last Solved Time: [17:12:30](#)

Project Settings

Length(L) Units: [meters](#)
Time(t) Units: [Seconds](#)
Force(F) Units: [kN](#)
Pressure(p) Units: [kPa](#)
Strength Units: [kPa](#)
Unit Weight of Water: [9.807 kN/m³](#)
View: [2D](#)

Analysis Settings

Globale_sisma

Kind: [SLOPE/W](#)
Method: [Morgenstern-Price](#)
Settings
Apply Phreatic Correction: [No](#)
Side Function
Interslice force function option: [Half-Sine](#)
PWP Conditions Source: [Piezometric Line](#)
Use Staged Rapid Drawdown: [No](#)
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
Tension Crack Option: [\(none\)](#)
FOS Distribution
FOS Calculation Option: [Constant](#)
Advanced
Number of Slices: [30](#)

Optimization Tolerance: 0.01
Minimum Slip Surface Depth: 3 m
Optimization Maximum Iterations: 2000
Optimization Convergence Tolerance: 1e-007
Starting Optimization Points: 8
Ending Optimization Points: 16
Complete Passes per Insertion: 1
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Materials

Rilevato

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

Bonifica

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

LSA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 5 kPa
Phi: 23 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

AG

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 20 kPa
Phi: 26 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range

Left-Zone Left Coordinate: (28.716667, 17) m
Left-Zone Right Coordinate: (38.346154, 15.635897) m
Left-Zone Increment: 20
Right Projection: Range
Right-Zone Left Coordinate: (46.334615, 11.64359) m
Right-Zone Right Coordinate: (59.7, 10) m
Right-Zone Increment: 15
Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (22, 17) m
Right Coordinate: (59.7, 10) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

X (m) Y (m)

22 10

46.417824 10

59.742477 10

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 20 kN/m³
Direction: Vertical

Coordinates

X (m) Y (m)

26.1 18

33.6 18

Seismic Loads

Horz Seismic Load: 0.0804
Vert Seismic Load: -0.0402
Ignore seismic load in strength: No

Regions

	Material	Points	Area (m²)
Region 1	AG	2,3,4,1	282.75
Region 2	LSA	1,8,7,6,5,4	65.1
Region 3	Bonifica	8,9,6,7	29.15
Region 4	Rilevato	9,11,16,17,18,6	144.85

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	22	7.5
Point 2	22	0
Point 3	59.7	0
Point 4	59.7	7.5
Point 5	59.7	10
Point 6	48.8	10
Point 7	48.2	8.9
Point 8	22	8.9
Point 9	22	10
Point 10	22	14
Point 11	22	17
Point 12	26.1	17
Point 13	26.1	18
Point 14	33.6	18
Point 15	33.6	17
Point 16	36.3	17

Point 17 40.8 14

Point 18 42.8 14

Critical Slip Surfaces

Slip Surface	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1 1014	1.334	(47.389, 20.701)	13.177	(34.7422, 17)	(55.079, 10)

Slices of Slip Surface: 1014

Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1 1014	35.131625	15.98722	- 58.714457	7.3515181	5.7436355	0
2 1014	35.91054	14.27837	- 41.958239	23.386611	18.271623	0
3 1014	36.63992	13.10148	- 30.416582	34.286054	26.787201	0
4 1014	37.31976	12.2172	- 21.744178	40.539913	31.673251	0
5 1014	37.9996	11.468045	- 14.397106	45.762378	35.753488	0
6 1014	38.67944	10.82264	-8.067625	50.253574	39.262395	0
7 1014	39.359285	10.261465	- 2.5642021	54.205831	42.350237	0
8 1014	39.974405	9.812593	1.8379648	57.705396	43.648421	0
9 1014	40.5248	9.457175	5.323458	60.603589	43.189572	0
10 1014	41.162705	9.094582	8.8794116	66.737714	45.20386	0
11 1014	41.84406	8.752124	12.237968	76.613797	27.325918	5
12 1014	42.481355	8.476321	14.943164	84.301756	29.440975	5
13 1014	43.16178	8.2257985	17.399686	88.544284	30.19909	5

14	1014	43.885345	8.0033715	19.58148	88.881375	29.41606	5
15	1014	44.60891	7.82542	21.325481	88.472514	28.502224	5
16	1014	45.332475	7.690112	22.652416	87.130031	27.369124	5
17	1014	46.05604	7.596122	23.574905	84.622716	25.913259	5
18	1014	46.71485	7.544098	24.085541	81.146436	24.220913	5
19	1014	47.30891	7.527068	24.251363	76.800753	22.305892	5
20	1014	47.90297	7.536855	24.155983	71.192952	19.966009	5
21	1014	48.5	7.5738385	23.793284	64.173944	17.140573	5
22	1014	49.148835	7.6462495	23.08318	60.273379	15.786303	5
23	1014	49.8465	7.7595115	21.971953	59.538176	15.945916	5
24	1014	50.544165	7.911809	20.479193	57.092918	15.541604	5
25	1014	51.24183	8.1045625	18.589012	52.850251	14.543033	5
26	1014	51.939495	8.3396715	16.282496	46.828485	12.966003	5
27	1014	52.63716	8.619619	13.537119	39.162594	10.877369	5
28	1014	53.334825	8.9476225	10.32066	30.091107	8.3920569	5
29	1014	54.032495	9.3278605	6.5916627	19.926354	5.6602407	5
30	1014	54.73016	9.7658145	2.2966713	9.0104392	2.8498254	5

Locale_inf

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.23. Copyright © 1991-2013 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

Created By: [Francesca Lupino](#)
Revision Number: [62](#)
Last Edited By: [Francesca Lupino](#)
Date: [16/01/2020](#)
Time: [18:14:44](#)
File Name: [Rilevato_Approccio_REV.gsz](#)
Directory: [W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\Calcoli\SAN LEONARDO\stabilità\STAB_FRA\](#)
Last Solved Date: [16/01/2020](#)
Last Solved Time: [18:14:51](#)

Project Settings

Length(L) Units: [meters](#)
Time(t) Units: [Seconds](#)
Force(F) Units: [kN](#)
Pressure(p) Units: [kPa](#)
Strength Units: [kPa](#)
Unit Weight of Water: [9.807 kN/m³](#)
View: [2D](#)

Analysis Settings

Locale_inf

Kind: [SLOPE/W](#)
Method: [Morgenstern-Price](#)
Settings
Apply Phreatic Correction: [No](#)
Side Function
Interslice force function option: [Half-Sine](#)
PWP Conditions Source: [Piezometric Line](#)
Use Staged Rapid Drawdown: [No](#)
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
Tension Crack Option: [\(none\)](#)
FOS Distribution
FOS Calculation Option: [Constant](#)
Advanced
Number of Slices: [30](#)

Optimization Tolerance: 0.01
Minimum Slip Surface Depth: 1.5 m
Optimization Maximum Iterations: 2000
Optimization Convergence Tolerance: 1e-007
Starting Optimization Points: 8
Ending Optimization Points: 16
Complete Passes per Insertion: 1
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Materials

Rilevato

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Phi: 32 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Bonifica

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Phi: 32 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

LSA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 4 kPa
Phi: 18.8 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

AG

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 16 kPa
Phi: 21.3 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range

Left-Zone Left Coordinate: (40.46756, 14.221627) m
Left-Zone Right Coordinate: (42.8, 14) m
Left-Zone Increment: 8
Right Projection: Range
Right-Zone Left Coordinate: (46.668297, 11.421136) m
Right-Zone Right Coordinate: (53.893068, 10) m
Right-Zone Increment: 12
Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (22, 17) m
Right Coordinate: (59.7, 10) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

X (m) Y (m)

22 10

44.511317 10

50.117509 10

59.722383 10

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 26 kN/m³
Direction: Vertical

Coordinates

X (m) Y (m)

26.1 18

33.6 18

Surcharge Load 2

Surcharge (Unit Weight): 0 kN/m³
Direction: Vertical

Coordinates

X (m) Y (m)

26.1 17

26.1 18

33.6 18

33.6 17

Regions

	Material	Points	Area (m²)
Region 1	AG	2,3,4,1	282.75
Region 2	LSA	1,7,6,18,5,4	65.1
Region 3	Bonifica	7,8,18,6	29.15
Region 4	Rilevato	8,10,15,16,17,18	144.85

Points

X (m) Y (m)

Point 1 22 7.5

Point 2 22 0

Point 3 59.7 0

Point 4 59.7 7.5

Point 5 59.7 10

Point 6 48.2 8.9

Point 7 22 8.9

Point 8 22 10

Point 9 22 14

Point 10 22 17

Point 11 26.1 17
 Point 12 26.1 18
 Point 13 33.6 18
 Point 14 33.6 17
 Point 15 36.3 17
 Point 16 40.8 14
 Point 17 42.8 14
 Point 18 48.8 10
 Point 19 45.7 10

Critical Slip Surfaces

Slip Surface	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1 413	1.162	(48.76, 17.389)	7.384	(42.2001, 14)	(48.7914, 10.0057)

Slices of Slip Surface: 413

Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1 413	42.300095	13.8191	-37.454914	1.7557823	1.0971345	0
2 413	42.50006	13.478185	-34.109705	5.1254655	3.2027463	0
3 413	42.70002	13.174425	-31.1316	8.1738298	5.1075757	0
4 413	42.906955	12.8915	-28.356871	10.352038	6.4686714	0
5 413	43.12087	12.62571	-25.750255	11.704935	7.3140554	0
6 413	43.334785	12.38319	-23.37197	12.935219	8.0828217	0
7 413	43.5487	12.16068	-21.189937	14.086671	8.8023289	0
8 413	43.762615	11.95571	-19.179838	15.190204	9.4918927	0
9 413	43.97653	11.766355	-17.322729	16.267342	10.164963	0

10 413	44.190445	11.59108	-15.60371	17.33048	10.829286	0
11 413	44.40436	11.428635	-14.010432	18.38579	11.488717	0
12 413	44.623955	11.2743	-12.497192	19.456745	12.157924	0
13 413	44.84922	11.12777	-11.060064	20.535763	12.832169	0
14 413	45.074485	10.99253	-9.7337545	21.57304	13.480332	0
15 413	45.299755	10.867875	-8.5112974	22.537978	14.083292	0
16 413	45.525025	10.753205	-7.3868087	23.389433	14.61534	0
17 413	45.750295	10.648015	-6.3551	24.074228	15.043247	0
18 413	45.975565	10.55186	-5.4121324	24.531793	15.329166	0
19 413	46.200835	10.464365	-4.5540644	24.695296	15.431333	0
20 413	46.426105	10.38521	-3.7777884	24.498643	15.308451	0
21 413	46.651375	10.314115	-3.0805287	23.883659	14.924166	0
22 413	46.876645	10.25083	-2.4598995	22.809977	14.253256	0
23 413	47.10191	10.195155	-1.9138789	21.260995	13.285344	0
24 413	47.327175	10.146915	-1.4407647	19.249243	12.028262	0
25 413	47.552445	10.105955	-1.0390901	16.820674	10.510724	0
26 413	47.777715	10.07216	-0.70768715	14.049471	8.7790837	0
27 413	48.002985	10.04543	-0.44554818	11.031402	6.8931851	0
28 413	48.228255	10.025685	-0.25190443	7.87229	4.9191528	0
29 413	48.453525	10.01287	-0.12624671	4.675262	2.9214279	0
30 413	48.678795	10.006955	-0.068198787	1.5302114	0.9561822	0

Locale_inf_sisma

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.23. Copyright © 1991-2013 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

Created By: [Francesca Lupino](#)
Revision Number: [52](#)
Last Edited By: [Francesca Lupino](#)
Date: [16/01/2020](#)
Time: [17:12:24](#)
File Name: [Rilevato_Approccio_Sisma.gsz](#)
Directory: [W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\Calcoli\SAN LEONARDO\stabilità\STAB_FRA\](#)
Last Solved Date: [16/01/2020](#)
Last Solved Time: [17:12:30](#)

Project Settings

Length(L) Units: [meters](#)
Time(t) Units: [Seconds](#)
Force(F) Units: [kN](#)
Pressure(p) Units: [kPa](#)
Strength Units: [kPa](#)
Unit Weight of Water: [9.807 kN/m³](#)
View: [2D](#)

Analysis Settings

Locale_inf_sisma

Kind: [SLOPE/W](#)
Method: [Morgenstern-Price](#)
Settings
 Apply Phreatic Correction: [No](#)
 Side Function
 Interslice force function option: [Half-Sine](#)
 PWP Conditions Source: [Piezometric Line](#)
 Use Staged Rapid Drawdown: [No](#)
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
 Tension Crack Option: [\(none\)](#)
FOS Distribution
 FOS Calculation Option: [Constant](#)
Advanced
 Number of Slices: [30](#)

Optimization Tolerance: 0.01
Minimum Slip Surface Depth: 1.5 m
Optimization Maximum Iterations: 2000
Optimization Convergence Tolerance: 1e-007
Starting Optimization Points: 8
Ending Optimization Points: 16
Complete Passes per Insertion: 1
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Materials

Rilevato

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

Bonifica

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

LSA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 5 kPa
Phi: 23 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

AG

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 20 kPa
Phi: 26 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range

Left-Zone Left Coordinate: (40.46756, 14.221627) m
Left-Zone Right Coordinate: (42.806918, 13.995388) m
Left-Zone Increment: 8
Right Projection: Range
Right-Zone Left Coordinate: (47.169231, 11.087179) m
Right-Zone Right Coordinate: (53.516667, 10) m
Right-Zone Increment: 10
Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (22, 17) m
Right Coordinate: (59.7, 10) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

X (m) Y (m)

22 10

45.7 10

47.7 10

59.7 10

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 20 kN/m³
Direction: Vertical

Coordinates

X (m) Y (m)

26.1 18

33.6 18

Surcharge Load 2

Surcharge (Unit Weight): 0 kN/m³
Direction: Vertical

Coordinates

X (m) Y (m)

26.1 17

26.1 18

33.6 18

33.6 17

Seismic Loads

Horz Seismic Load: 0.0804

Vert Seismic Load: -0.0402

Ignore seismic load in strength: No

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	AG	2,3,4,1	282.75
Region 2	LSA	1,8,7,6,5,4	65.1
Region 3	Bonifica	8,9,6,7	29.15
Region 4	Rilevato	9,11,16,17,18,6	144.85

Points

X (m) Y (m)

Point 1 22 7.5

Point 2 22 0

Point 3 59.7 0

Point 4 59.7 7.5

Point 5 59.7 10

Point 6 48.8 10

Point 7 48.2 8.9

Point 8 22 8.9

Point 9 22 10

Point 10 22 14

Point 11 22 17

Point 12 26.1 17

Point 13 26.1 18

Point 14 33.6 18

Point 15 33.6 17

Point 16 36.3 17

Point 17 40.8 14

Point 18 42.8 14

Critical Slip Surfaces

Slip Surface	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1 348	1.242	(48.783, 17.406)	7.406	(42.2064, 14)	(48.843, 10)

Slices of Slip Surface: 348

Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1 348	42.30529	13.82121	-37.473922	1.5239884	1.1906703	0
2 348	42.503175	13.483995	-34.167873	4.4195517	3.4529322	0
3 348	42.70106	13.18307	-31.216747	6.9996299	5.4687103	0
4 348	42.91154	12.89538	-28.396212	8.8285511	6.8976201	0
5 348	43.134615	12.61859	-25.680556	9.96128	7.7826049	0
6 348	43.35769	12.3669	-23.212309	10.988079	8.5848282	0
7 348	43.58077	12.136695	-20.954641	11.961001	9.3449584	0

8	348	43.803845	11.92525	-18.880984	12.918568	10.093091	0
9	348	44.02692	11.73045	-16.970437	13.889495	10.851663	0
10	348	44.25	11.55063	-15.207059	14.894418	11.636795	0
11	348	44.47308	11.38445	-13.577483	15.945805	12.458228	0
12	348	44.696155	11.2308	-12.070406	17.048995	13.320135	0
13	348	44.91923	11.088765	-10.677545	18.199743	14.219198	0
14	348	45.14231	10.957575	-9.3908754	19.381343	15.142365	0
15	348	45.365385	10.836575	-8.2041795	20.562545	16.065221	0
16	348	45.58846	10.72522	-7.1121529	21.694372	16.949501	0
17	348	45.81111	10.623205	-6.1117156	22.706664	17.74039	0
18	348	46.03333	10.53009	-5.1986514	23.51552	18.372338	0
19	348	46.255555	10.445315	-4.3672814	24.028296	18.772962	0
20	348	46.47778	10.368575	-3.6146557	24.147739	18.866281	0
21	348	46.7	10.299615	-2.9383213	23.787089	18.584511	0
22	348	46.92222	10.238205	-2.3361028	22.884086	17.879007	0
23	348	47.144445	10.184155	-1.8059898	21.413133	16.729773	0
24	348	47.36667	10.1373	-1.3465052	19.393916	15.152188	0
25	348	47.58889	10.0975	-0.9561741	16.891817	13.197334	0
26	348	47.802265	10.065685	-0.6441511	14.136238	11.04444	0
27	348	48.006795	10.041245	-0.40449373	11.275646	8.8094998	0
28	348	48.21133	10.022555	-0.22117158	8.3146513	6.4961176	0
29	348	48.415865	10.009565	-0.093776995	5.3563833	4.1848653	0
30	348	48.620395	10.002245	-0.022006899	2.484929	1.9414393	0
31	348	48.76133	9.9998875	0.0011020164	0.58604824	0.45701007	0
32	348	48.82152	9.9998875	0.0011020263	0.097034259	0.040720817	5

Locale_sup

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.23. Copyright © 1991-2013 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

Created By: [Francesca Lupino](#)
Revision Number: [62](#)
Last Edited By: [Francesca Lupino](#)
Date: [16/01/2020](#)
Time: [18:14:44](#)
File Name: [Rilevato_Approccio_REV.gsz](#)
Directory: [W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\Calcoli\SAN LEONARDO\stabilità\STAB_FRA\](#)
Last Solved Date: [16/01/2020](#)
Last Solved Time: [18:14:53](#)

Project Settings

Length(L) Units: [meters](#)
Time(t) Units: [Seconds](#)
Force(F) Units: [kN](#)
Pressure(p) Units: [kPa](#)
Strength Units: [kPa](#)
Unit Weight of Water: [9.807 kN/m³](#)
View: [2D](#)

Analysis Settings

Locale_sup

Kind: [SLOPE/W](#)
Method: [Morgenstern-Price](#)
Settings
Apply Phreatic Correction: [No](#)
Side Function
Interslice force function option: [Half-Sine](#)
PWP Conditions Source: [Piezometric Line](#)
Use Staged Rapid Drawdown: [No](#)
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
Tension Crack Option: [\(none\)](#)
FOS Distribution
FOS Calculation Option: [Constant](#)
Advanced
Number of Slices: [30](#)

Optimization Tolerance: 0.01
Minimum Slip Surface Depth: 1.5 m
Optimization Maximum Iterations: 2000
Optimization Convergence Tolerance: 1e-007
Starting Optimization Points: 8
Ending Optimization Points: 16
Complete Passes per Insertion: 1
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Materials

Rilevato

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Phi: 32 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Bonifica

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Phi: 32 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

LSA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 4 kPa
Phi: 18.8 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

AG

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 16 kPa
Phi: 21.3 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range

Left-Zone Left Coordinate: (30.474068, 17) m
Left-Zone Right Coordinate: (36.202418, 17) m
Left-Zone Increment: 15
Right Projection: Range
Right-Zone Left Coordinate: (40.3674, 14.2884) m
Right-Zone Right Coordinate: (42.817397, 13.988402) m
Right-Zone Increment: 8
Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (22, 17) m
Right Coordinate: (59.7, 10) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

X (m)	Y (m)
-------	-------

22	10
----	----

45.7	10
------	----

50.891123	10
-----------	----

59.682195	10
-----------	----

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 26 kN/m³
Direction: Vertical

Coordinates

X (m)	Y (m)
-------	-------

26.1	18
------	----

33.6	18
------	----

Regions

	Material	Points	Area (m²)
Region 1	AG	2,3,4,1	282.75
Region 2	LSA	1,7,6,18,5,4	65.1
Region 3	Bonifica	7,8,18,6	29.15
Region 4	Rilevato	8,10,15,16,17,18	144.85

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	22	7.5
Point 2	22	0
Point 3	59.7	0
Point 4	59.7	7.5
Point 5	59.7	10
Point 6	48.2	8.9
Point 7	22	8.9
Point 8	22	10
Point 9	22	14
Point 10	22	17
Point 11	26.1	17
Point 12	26.1	18
Point 13	33.6	18
Point 14	33.6	17
Point 15	36.3	17
Point 16	40.8	14

Point 17 42.8 14

Point 18 48.8 10

Point 19 45.7 10

Critical Slip Surfaces

Slip Surface	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1 563	1.338	(40.409, 20.057)	6.164	(35.0568, 17)	(41.5505, 14)

Slices of Slip Surface: 563

Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1 563	35.160355	16.831435	- 66.995101	1.8414998	1.1506968	0
2 563	35.367565	16.515405	- 63.896762	5.3684267	3.3545653	0
3 563	35.57477	16.23685	- 61.164367	8.5447579	5.3393573	0
4 563	35.781975	15.98796	- 58.723902	11.488212	7.1786315	0
5 563	35.989185	15.763515	-56.5229	14.289788	8.9292507	0
6 563	36.196395	15.55983	- 54.524955	17.022846	10.637055	0
7 563	36.407145	15.37129	- 52.677171	18.871728	11.792364	0
8 563	36.62143	15.19631	- 50.961979	19.809794	12.378533	0
9 563	36.835715	15.036575	- 49.392601	20.710218	12.94118	0
10 563	37.05	14.890665	- 47.963404	21.577467	13.483098	0
11 563	37.264285	14.757435	-	22.409342	14.002911	0

46.655194

12 563	37.47857	14.635945	- 45.466283	23.192525	14.492298	0
13 563	37.692855	14.52542	- 44.382075	23.907675	14.939174	0
14 563	37.907145	14.425215	- 43.398713	24.523941	15.324259	0
15 563	38.12143	14.33479	- 42.511435	25.00247	15.623277	0
16 563	38.335715	14.253685	- 41.715795	25.295617	15.806456	0
17 563	38.55	14.18151	- 41.008172	25.347133	15.838647	0
18 563	38.764285	14.11794	- 40.384438	25.096863	15.68226	0
19 563	38.97857	14.062705	- 39.842979	24.484538	15.299637	0
20 563	39.192855	14.01557	- 39.380705	23.455492	14.656618	0
21 563	39.407145	13.976345	- 38.996219	21.968929	13.727711	0
22 563	39.62143	13.944885	- 38.687386	20.004397	12.500135	0
23 563	39.835715	13.92107	- 38.453836	17.568608	10.978085	0
24 563	40.05	13.904805	- 38.294361	14.697853	9.1842378	0
25 563	40.264285	13.896035	- 38.208513	11.457236	7.1592753	0
26 563	40.47857	13.894725	- 38.195645	7.9388967	4.9607732	0

27 563	40.692855	13.90087	- 38.255921	4.2498084	2.655575	0
28 563	40.92508	13.91632	- 38.407273	2.0806131	1.3001113	0
29 563	41.175245	13.9425	- 38.664036	1.3702569	0.85623156	0
30 563	41.42541	13.979085	- 39.023015	0.4778079	0.29856751	0

Locale_sup_sisma

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.23. Copyright © 1991-2013 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

Created By: [Francesca Lupino](#)
Revision Number: [52](#)
Last Edited By: [Francesca Lupino](#)
Date: [16/01/2020](#)
Time: [17:12:24](#)
File Name: [Rilevato_Approccio_Sisma.gsz](#)
Directory: [W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\Calcoli\SAN LEONARDO\stabilità\STAB_FRA\](#)
Last Solved Date: [16/01/2020](#)
Last Solved Time: [17:12:32](#)

Project Settings

Length(L) Units: [meters](#)
Time(t) Units: [Seconds](#)
Force(F) Units: [kN](#)
Pressure(p) Units: [kPa](#)
Strength Units: [kPa](#)
Unit Weight of Water: [9.807 kN/m³](#)
View: [2D](#)

Analysis Settings

Locale_sup_sisma

Kind: [SLOPE/W](#)
Method: [Morgenstern-Price](#)
Settings
Apply Phreatic Correction: [No](#)
Side Function
Interslice force function option: [Half-Sine](#)
PWP Conditions Source: [Piezometric Line](#)
Use Staged Rapid Drawdown: [No](#)
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
Tension Crack Option: [\(none\)](#)
FOS Distribution
FOS Calculation Option: [Constant](#)
Advanced
Number of Slices: [30](#)

Optimization Tolerance: 0.01
Minimum Slip Surface Depth: 1.5 m
Optimization Maximum Iterations: 2000
Optimization Convergence Tolerance: 1e-007
Starting Optimization Points: 8
Ending Optimization Points: 16
Complete Passes per Insertion: 1
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Materials

Rilevato

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

Bonifica

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

LSA

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 5 kPa
Phi: 23 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

AG

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 20 kPa
Phi: 26 °
Phi-B: 0 °
Pore Water Pressure
Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range

Left-Zone Left Coordinate: (30.6, 17) m
Left-Zone Right Coordinate: (36.183333, 17) m
Left-Zone Increment: 8
Right Projection: Range
Right-Zone Left Coordinate: (40.933333, 14) m
Right-Zone Right Coordinate: (42.766667, 14) m
Right-Zone Increment: 15
Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (22, 17) m
Right Coordinate: (59.7, 10) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

X (m)	Y (m)
-------	-------

22	10
----	----

45.7	10
------	----

50.891123	10
-----------	----

59.682195	10
-----------	----

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 20 kN/m³
Direction: Vertical

Coordinates

X (m)	Y (m)
-------	-------

26.1	18
------	----

33.6	18
------	----

Surcharge Load 2

Surcharge (Unit Weight): 0 kN/m³
Direction: Vertical

Coordinates

X (m) Y (m)

26.1 17

26.1 18

33.6 18

33.6 17

Seismic Loads

Horz Seismic Load: 0.0804

Vert Seismic Load: -0.0402

Ignore seismic load in strength: No

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	AG	2,3,4,1	282.75
Region 2	LSA	1,8,7,6,5,4	65.1
Region 3	Bonifica	8,9,6,7	29.15
Region 4	Rilevato	9,11,16,17,18,6	144.85

Points

X (m) Y (m)

Point 1 22 7.5

Point 2 22 0

Point 3 59.7 0

Point 4 59.7 7.5

Point 5 59.7 10

Point 6 48.8 10

Point 7 48.2 8.9

Point 8 22 8.9

Point 9 22 10

Point 10 22 14

Point 11 22 17

Point 12 26.1 17

Point 13 26.1 18

Point 14 33.6 18

Point 15 33.6 17

Point 16 36.3 17

Point 17 40.8 14

Point 18 42.8 14

Critical Slip Surfaces

Slip Surface	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1 508	1.485	(40.229, 20.147)	6.286	(34.7875, 17)	(41.5444, 14)

Slices of Slip Surface: 508

Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1 508	34.895535	16.82648	- 66.948266	1.7236689	1.3466778	0
2 508	35.111605	16.501315	- 63.759572	5.002104	3.908072	0
3 508	35.327675	16.215005	- 60.951328	7.9208345	6.1884342	0
4 508	35.54375	15.959465	- 58.444885	10.60181	8.2830415	0
5 508	35.759825	15.729295	- 56.185716	13.139825	10.265956	0

6	508	35.975895	15.52068	- 54.142197	15.613368	12.1985	0
7	508	36.191965	15.330805	- 52.280571	18.087872	14.131794	0
8	508	36.4125	15.15425	- 50.549295	19.767048	15.443711	0
9	508	36.6375	14.9899	- 48.937154	20.619399	16.10964	0
10	508	36.8625	14.84018	- 47.467321	21.492774	16.791995	0
11	508	37.0875	14.70388	- 46.129939	22.390188	17.493132	0
12	508	37.3125	14.58001	- 44.915537	23.303798	18.206922	0
13	508	37.5375	14.46775	- 43.816757	24.214481	18.918426	0
14	508	37.7625	14.366425	- 42.819961	25.08984	19.602331	0
15	508	37.9875	14.275465	- 41.928077	25.882636	20.221732	0
16	508	38.2125	14.1944	- 41.134456	26.530293	20.727736	0
17	508	38.4375	14.122825	- 40.432647	26.954814	21.059409	0
18	508	38.6625	14.060405	- 39.820569	27.066555	21.146711	0
19	508	38.8875	14.006865	- 39.295383	26.768327	20.913709	0
20	508	39.1125	13.961965	- 38.854803	25.967641	20.288145	0
21	508	39.3375	13.925525	- 38.497614	24.587791	19.210088	0

22 508	39.5625	13.897395	-38.22172	22.58514	17.645445	0
23 508	39.7875	13.877465	-38.02614	19.960276	15.594677	0
24 508	40.0125	13.865655	- 37.910311	16.766459	13.099393	0
25 508	40.2375	13.861915	- 37.873744	13.107544	10.240736	0
26 508	40.4625	13.86624	- 37.916102	9.12749	7.1311767	0
27 508	40.6875	13.87864	-38.03766	4.9862567	3.8956907	0
28 508	40.924075	13.90066	- 38.253671	2.4979373	1.9516025	0
29 508	41.172225	13.933285	- 38.573894	1.5923047	1.2440447	0
30 508	41.42037	13.976055	- 38.993033	0.54335267	0.42451363	0