

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA
U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

MIGLIORAMENTO SISMICO E OPERE DI COMPLETAMENTO DEI VIADOTTI ESISTENTI DELLA LINEA FERRANDINA - MATERA

GEOTECNICA

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni VI12

SCALA:

-

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

I A 5 F 0 3 D 0 9 G E V I 1 2 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	S. Gasperoni	Aprile 2019	M.E. D'Effremo	Aprile 2019	F. Gernone	Aprile 2019	A. Vittozzi Aprile 2019
								ITALEFER S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti Oper. Linea Ferrandina - Matera Ufficio degli Impianti della Provincia di Roma n° 12378

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
3.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	5
3.1	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE.....	5
3.2	STRATIGRAFIA	7
3.3	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	9
3.4	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	18
4.	PALIFICATE DI FONDAZIONE	20
4.1	CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI.....	20
	4.1.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo.....	20
	4.1.2 Calcolo della capacità portante	20
4.2	MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO	24
4.3	PARAMETRO A_M E ANDAMENTO DEL MOMENTO LUNGO IL PALO.....	24
4.4	CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI.....	26
5.	VERIFICA RISCHIO POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	27
6.	APPENDICE A: VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI. TABULATI DI CALCOLO PAL ..	29
6.1	PILA P11 E P10 - PALO D=1200 MM	29
7.	APPENDICE B: PARAMETRO A_M E MOMENTO LUNGO IL PALO. TABULATI DI CALCOLO LPAL	36
7.1	D=1200 MM	36

1. PREMESSA

Nella presente relazione si riporta la caratterizzazione geotecnica finalizzata alla verifica delle fondazioni del Viadotto esistente Ridola (VI12) nell'ambito del miglioramento sismico dei viadotti esistenti della linea Ferrandina – Matera.

In particolare verranno affrontati i seguenti aspetti:

- condizioni geotecniche: stratigrafia, parametri geotecnici e falda;
- valutazione della capacità portante verticale dei pali di fondazione;
- definizione del modulo di reazione orizzontale palo-terreno;
- valutazione del parametro alfa (rapporto momento taglio in testa palo nell'ipotesi di rotazione impedita) e andamento del momento e taglio lungo il palo;
- valutazione del carico limite orizzontale dei pali;
- verifica rischio potenziale liquefazione dei terreni.

Tutte le analisi svolte nel seguito sono eseguite in conformità alla normativa italiana vigente sulle opere civili (DM 17/01/2018).

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI12

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 1200001	A	4 di 36

2. **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

2.1 **Normativa di riferimento**

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- [N.2]. DM 6/5/2008 – Integrazione al D.M. 14-01-2008 di approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni;
- [N.3]. Specifica RFI del 21/12/11 per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.

2.2 **Documenti di riferimento**

- [DC1]. IA5F03D09RHVI0000001A – Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni.
- [DC2]. IA5F03D09RGVI0000001A – Relazione descrittiva sulle fondazioni.
- [DC3]. B1. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Relazione geologica geotecnica idrogeologica sugli studi per la scelta del tracciato e per il progetto definitivo. Dicembre, 1984.
- [DC4]. B2. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Planimetria ubicazione tracciati ed indagini. Dicembre, 1984.
- [DC5]. B5.1. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Stratigrafie dei sondaggi A. Dicembre, 1984.
- [DC6]. B5.2. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Stratigrafie dei sondaggi S. Dicembre, 1984.
- [DC7]. B6.1 e B6.2. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Profilo geologico del tracciato definitivo Tav. 1 e Tav. 2. Dicembre, 1984.

PROGETTO DEFINITIVO

 Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
 VII2

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 1200001	A	5 di 36

3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nel presente capitolo si riporta la caratterizzazione geotecnica per il viadotto in esame, valutata sulla base dell'interpretazione delle indagini geotecniche svolte in prossimità dell'opera. In generale lungo la linea Ferrandina – Matera sono disponibili le indagini del progetto del 1984 e le nuove indagini integrative eseguite per il presente progetto del 2018/2019 (ancora in fase di completamento).

3.1 Indagini geotecniche eseguite

L'opera in esame è ubicata tra le progressive km 18+014.938 e km 18+374.832.

In corrispondenza dell'opera non sono disponibili sondaggi della campagna pregressa (1984); sono state eseguite le indagini integrative nel 2018/2019 elencate nella seguente tabella.

Sondaggi / indagini sismiche	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	N. prove SPT	n. prove Lefranc /Lugeon	n. prove pressiometriche	n. prove dilatometriche	Piezometro TA; CC / Prova DH/CH
S9 10	10.0	187.808	1	1	4	-	-	-	-
S15 DH 50	50.0	184.260	5	2	9	2	1	1	DH [50]
S CH VI12	40.0	182.936	4	1	9	2	1	1	CH [39.5]
MASW15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DH [m]: prova Down Hole [profondità prova]									
CH [m]: prova Cross Hole [profondità prova]									

Dalle misure piezometriche disponibili eseguite sul piezometro installato nelle vicinanze dell'opera (sondaggio S13_PZ_30), il livello di falda massimo è a quota + 181.05 m s.l.m.

Nella seguente tabella si riassumono i risultati delle prove di laboratorio sui campioni prelevati nella campagna integrativa del 2018/2019.

Tabella 1 – Laboratorio indagini 2018/2019

Sondaggio	-	S15_DH_50								
Campione	-	Cl1	Cl2	Cl3	Cl4	Cl5	CR1	CR2	Spt1	Spt2
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	rim	rim	rim	rim
Unità	-	ASP	ASP	ASP	ASP	ASP	GRA	GRA	ASP	ASP
Prof.	m	3.20	12.50	18.40	27.50	34.45	42.60	47.40	1.25	4.70
Granulometria										
G	%	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0
S	%	0.0	1.0	1.0	0.0	3.0			3.0	1.0
L + A	%	99.0	99.0	99.0	100.0	97.0			97.0	99.0
L	%	40.0	48.0	60.0	54.0	45.0				41.0
A	%	59.0	51.0	39.0	46.0	52.0				58.0
Limiti di Atterberg										
W _L	%	65.0	63.0	69.0	64.0	55.0				
W _P	%	28.0	26.0	29.0	30.0	20.0				
I _c	-	0.87	0.98	1.04	1.17	0.92				
I _p	%	37.0	37.0	40.0	34.0	35.0				
Caratteristiche fisiche										
γ _N	kN/m ³	17.9	18.9	18.8	19.4	19.8	19.3	18.9		
w _N	%	32.8	26.6	27.4	24.1	22.7				
Resistenza a compressione monoassiale										
σ _c	MPa						2.1	1.5		
Resistenza non drenata										
(TX-UU) c _u	kPa			196.8	286.8	330.7				
(TX-ELL) c _u	kPa									
Resistenza drenata										
(TD) c	kPa	24.4	27.4	29.4	30.7	39.8				
(TD) f	°	20.9	20.9	21.7	21.5	20.6				

Sondaggio	-	S_CH_VI12	S9_10	S9_10	S9_10						
Campione	-	Cl1	Cl2	Cl3	Cl4	SPT1	SPT2	CR1	Cl1	CR1	SPT1
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	rim	rim	rim	0.00	0.00	0.00
Unità	-	ASP	ASP	ASP	ASP	ASP	ASP	GRA	ASP	ASP	ASP
Prof.	m	3.00	12.00	18.00	27.00	1.50	4.50	34.15	5.00	3.00	1.00

Granulometria

G	%	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0		0.0	14.0	43.0
S	%	11.0	0.0	1.0	1.0	8.0	4.0		2.0	38.0	31.0
L + A	%	88.0	100.0	99.0	99.0	92.0	95.0		98.0	48.0	26.0
L	%			37.0	33.0	39.0	39.0		42.0		22.0
A	%			62.0	66.0	53.0	56.0		56.0		4.0

Limiti di Atterberg

W_L	%	59.0	54.0	55.0	58.0				57.0	28.0	
W_P	%	30.0	23.0	28.0	25.0				28.0	15.0	
I_p	-	0.95	0.89	1.13	1.07				1.18		
I_b	%	29.4	31.6	26.9	33.2				28.7	12.9	

Caratteristiche fisiche

γ_N	kN/m ³	18.1	19.0	19.7	20.0			23.6			
w_N	%	31.2	26.4	24.6	22.5				22.6		
e	-	0.920	0.760	0.680	0.620				0.630		

Resistenza a compressione monoassiale

σ_c	MPa							5.3			
------------	-----	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c_u	kPa	45.9			280.6				155.2		
---------------	-----	------	--	--	-------	--	--	--	-------	--	--

Resistenza drenata

(TX-CIU) c	kPa		53.3	57.8							
(TX-CIU) f	°		27.0	26.7							

(segue da pagina precedente)

3.2 Stratigrafia

I sondaggi e le indagini sismiche della campagna integrativa del 2018/2019, hanno consentito di ricostruire la stratigrafia, evidenziando la predominanza di argille limose e argilloso marnose da molto consistenti a dure dell'unità ASP (Argille subappennine) fino alla quota +148.6 m s.l.m. (circa 34-35 m di profondità da p.c. locale) e poi le calcareniti di gravina (unità GRA) caratterizzate da RQD tra 70 e 100%.

Il livello di falda è assunto cautelativamente a p.c..

Di seguito si riporta uno stralcio del profilo geologico ricostruito ad oggi e del profilo geologico del 1984.

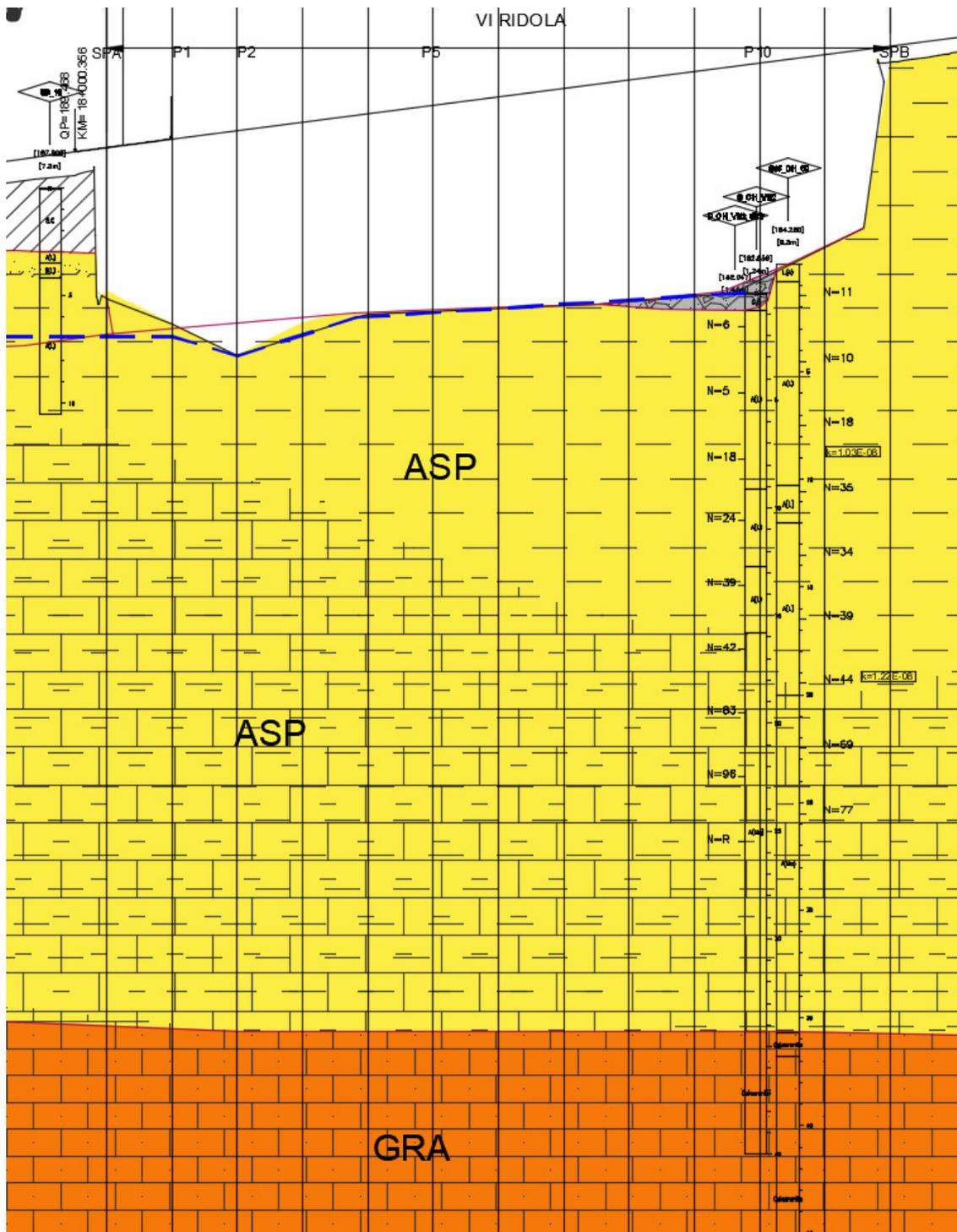


Figura 1 – Stralcio profilo geologico

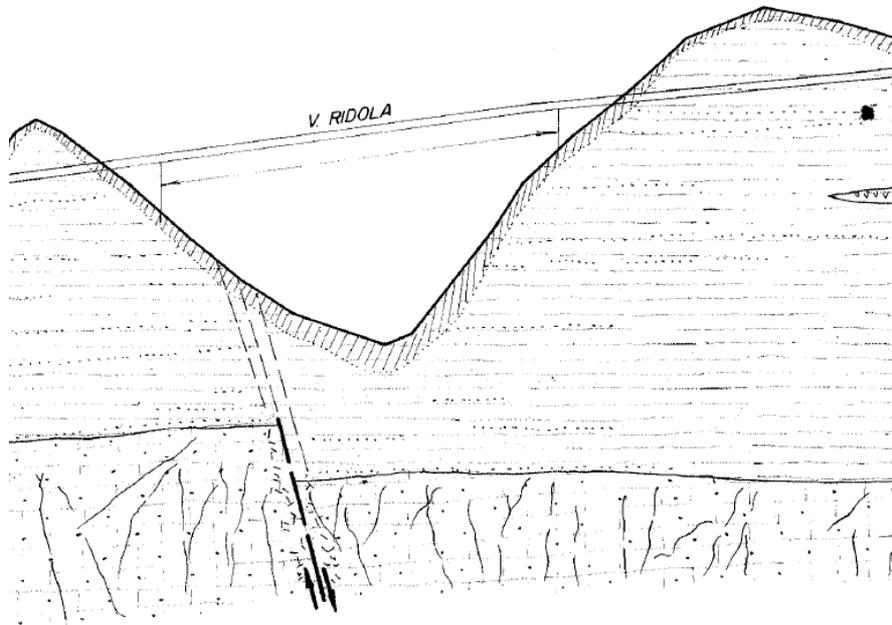


Figura 2 Stralcio profilo geologico 1984

3.3 Sintesi dei parametri geotecnici di progetto

Nelle figure seguenti si riportano i principali risultati delle indagini eseguite per la definizione dei parametri geotecnici di progetto.

Per l'unità GRA (calcareniti di Gravina) i parametri vengono definiti considerando i risultati delle prove di laboratorio eseguite sull'unità geotecnica di tutti i sondaggi del tracciato in esame, per avere un maggior numero di dati a disposizione, in quanto la formazione sostanzialmente è descritta con le medesime caratteristiche nelle varie indagini eseguite.

Nella seguente tabella si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le unità intercettate.

Unità ASP – Argille subappennine

$\gamma = 19.0 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 20 \div 25 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 23 \div 25^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 50 \div 400 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$V_s = 200 \div 600 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 25 \div 350 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1+\nu)$	modulo di deformazione elastico iniziale

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI12

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 1200001	A	11 di 36

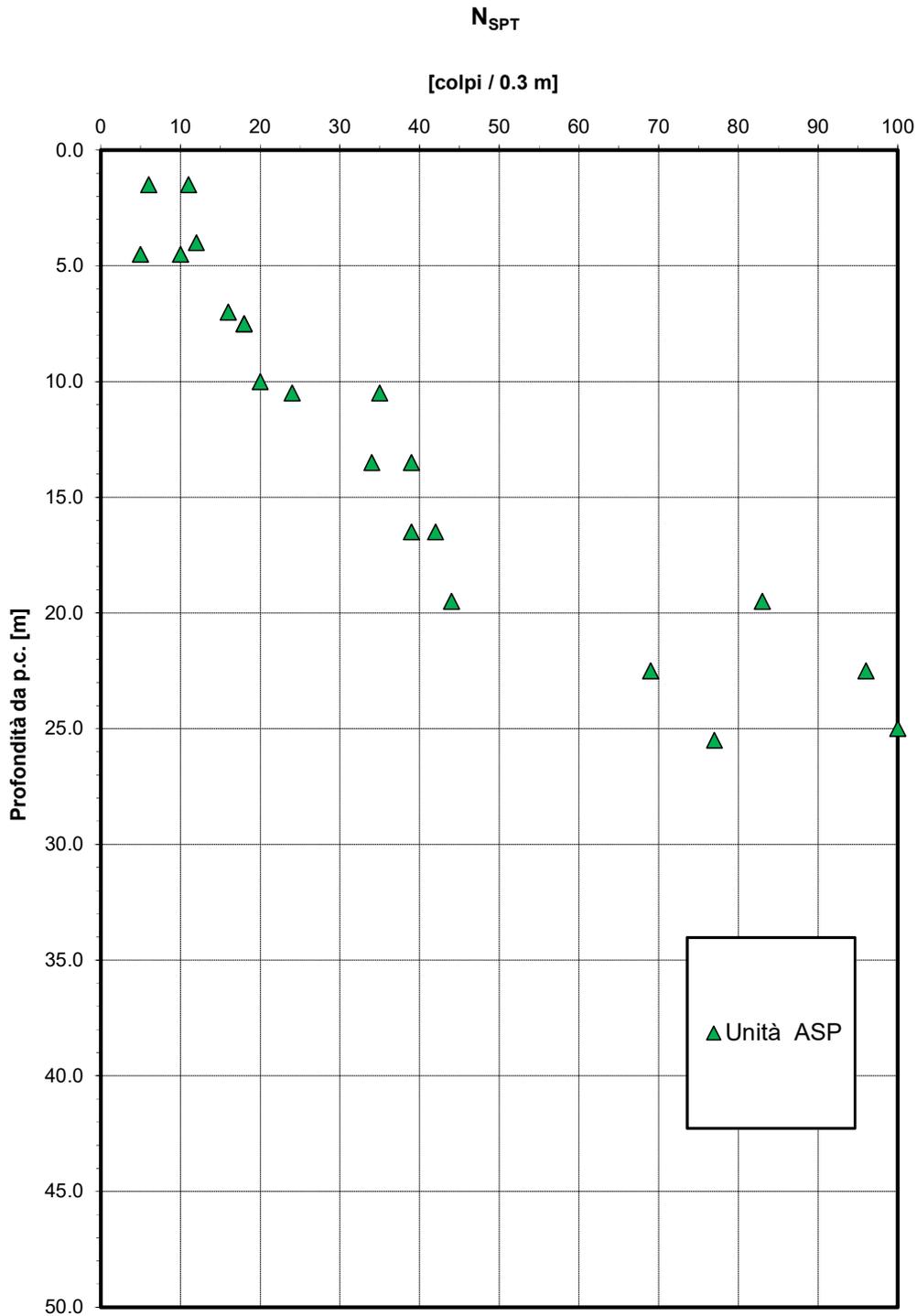


Figura 3 – Valori di NSPT

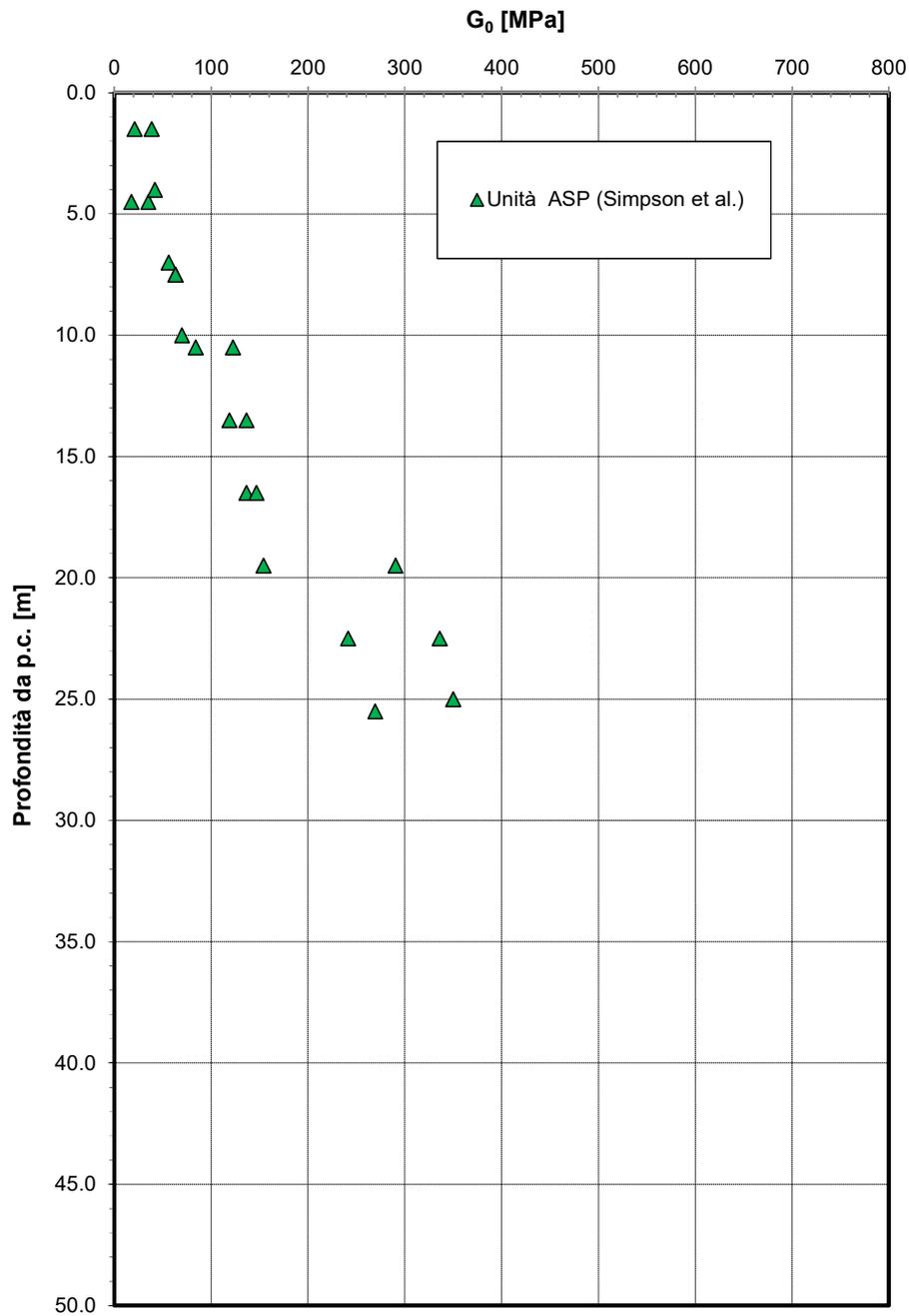


Figura 4 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT

Granulometria unità ASP

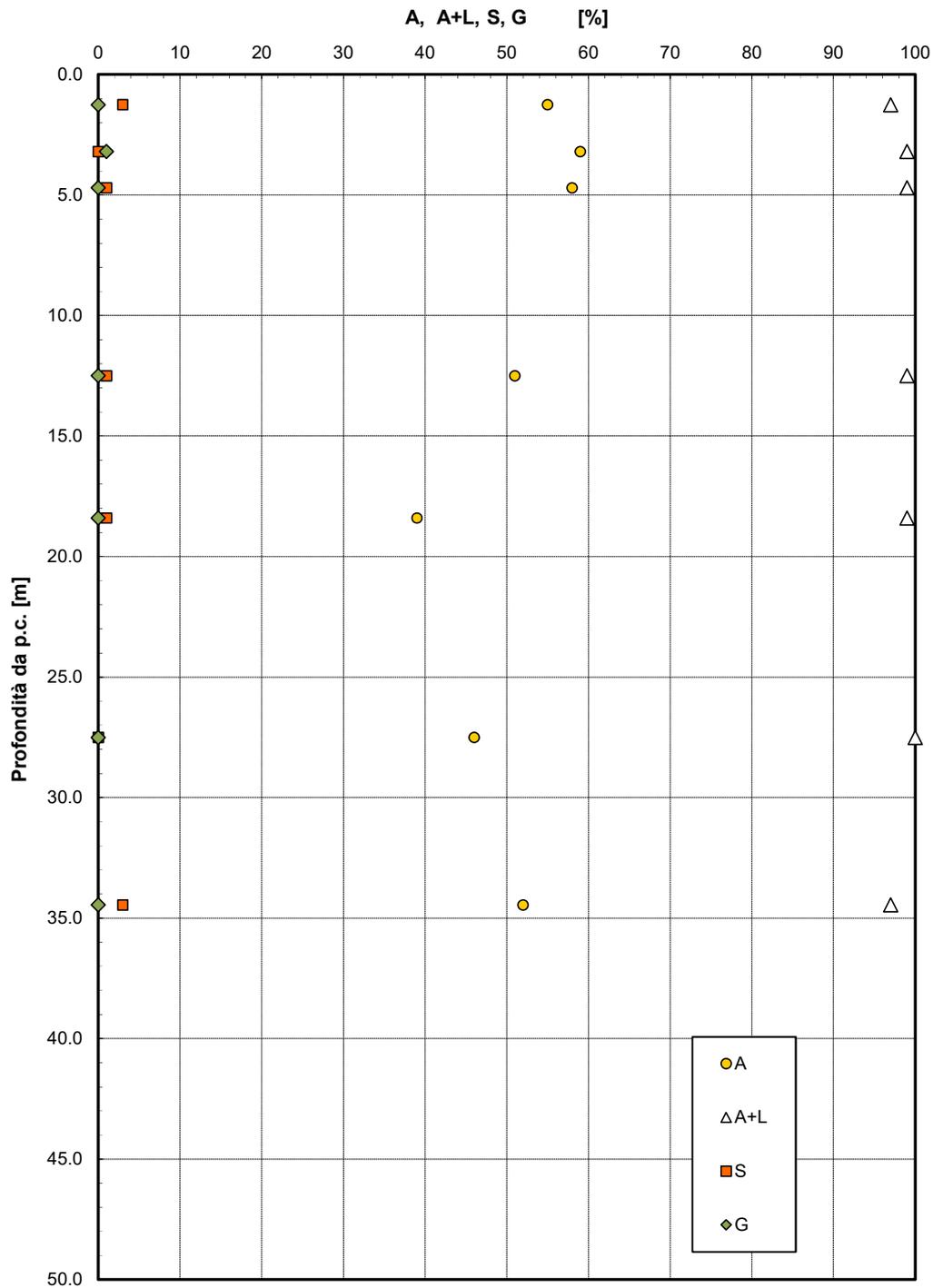


Figura 5 – Granulometria - Unità ASP

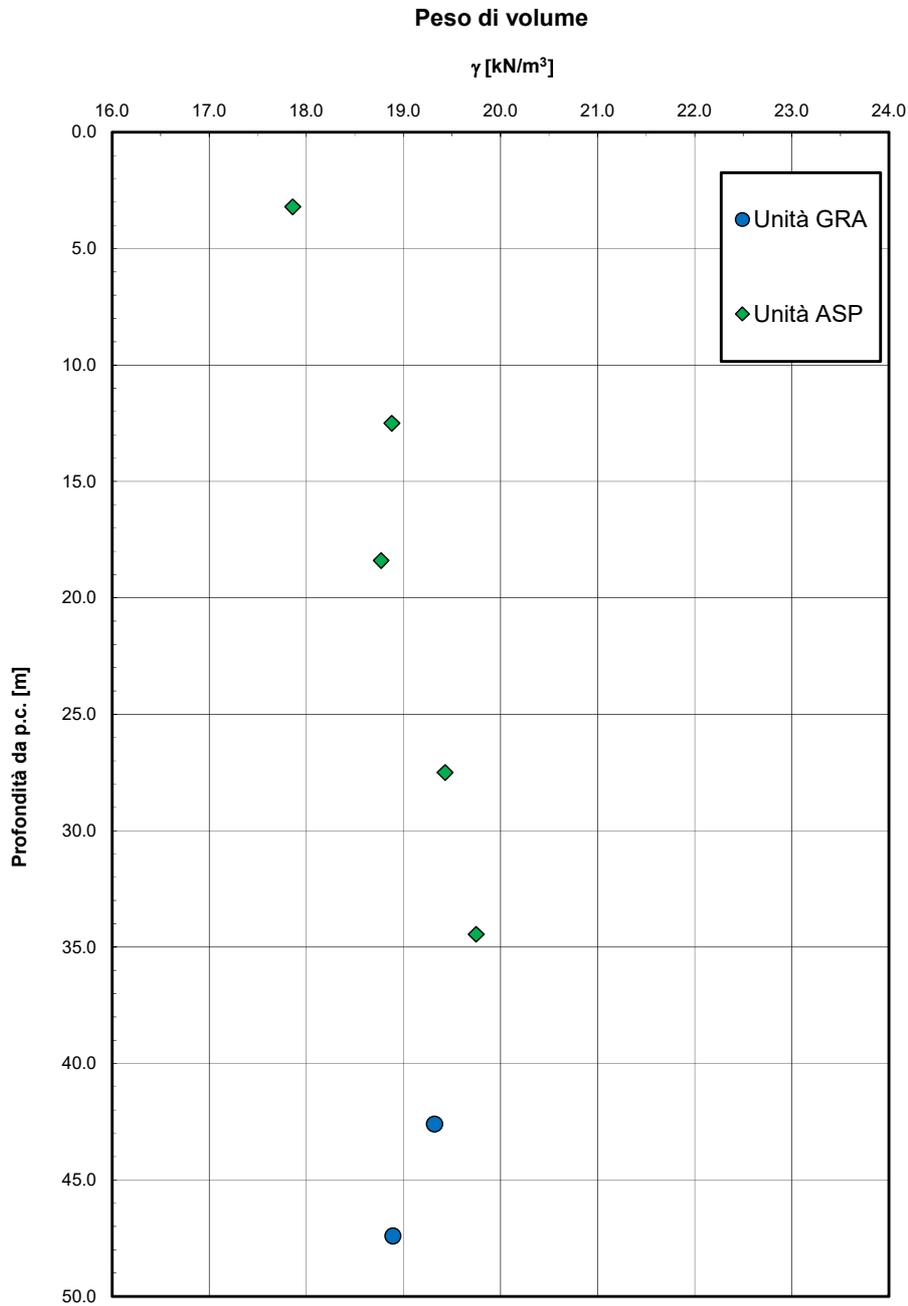


Figura 6 – Peso di volume

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

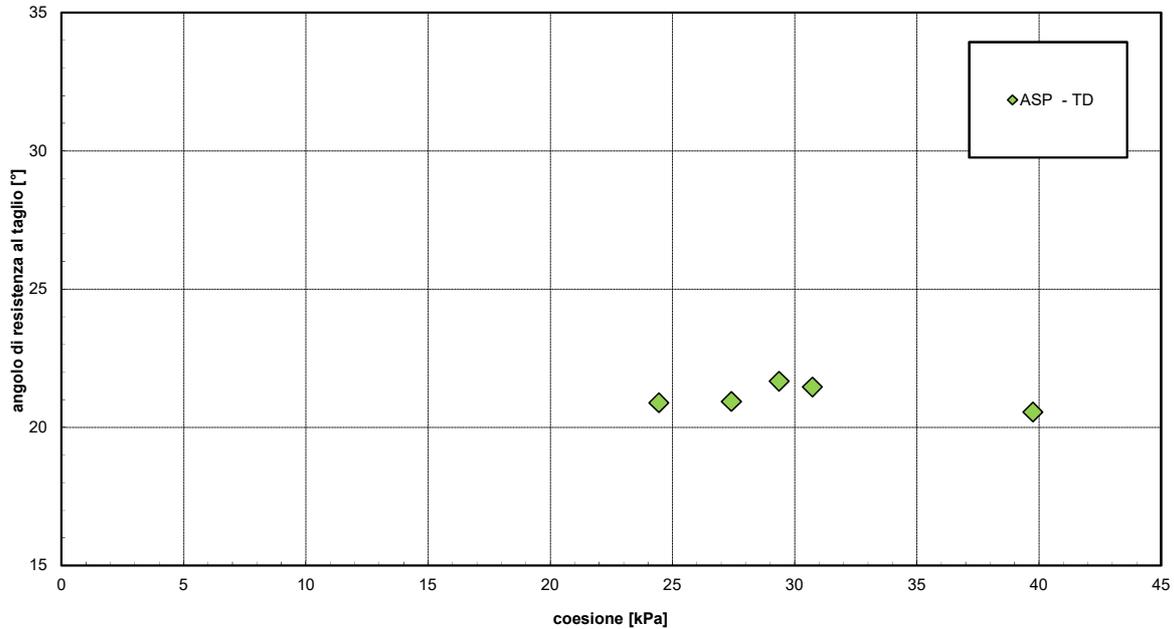


Figura 7 – Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

Parametri di resistenza al taglio - Unità ASP

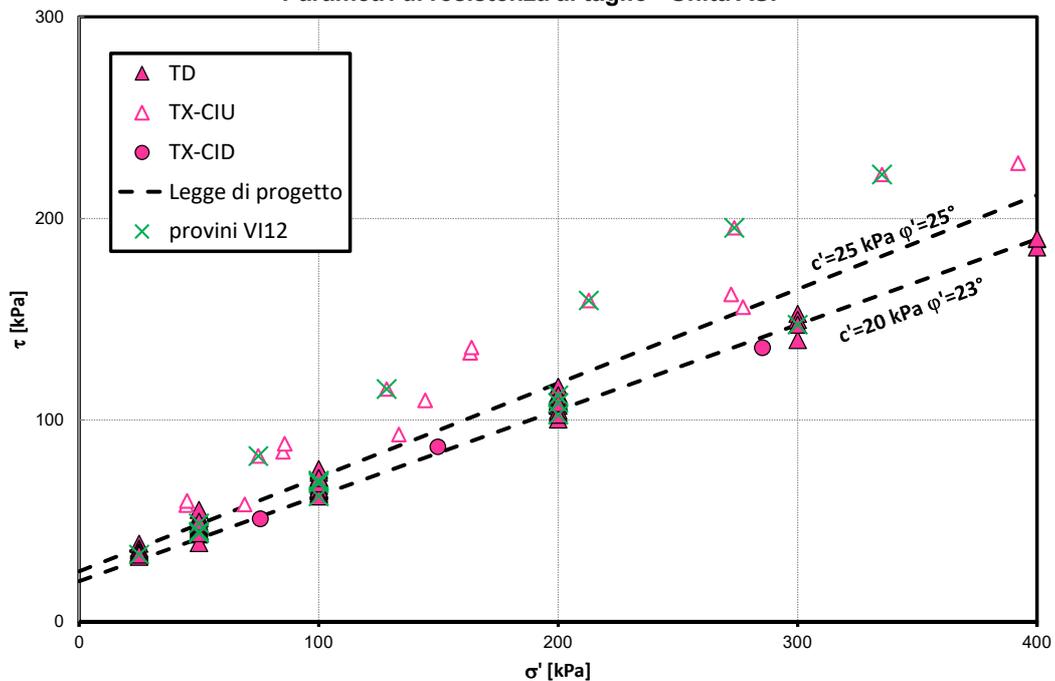


Figura 8 – Parametri di resistenza (tutti i valori dei sondaggi della linea, in verde i soli campioni del viadotto)

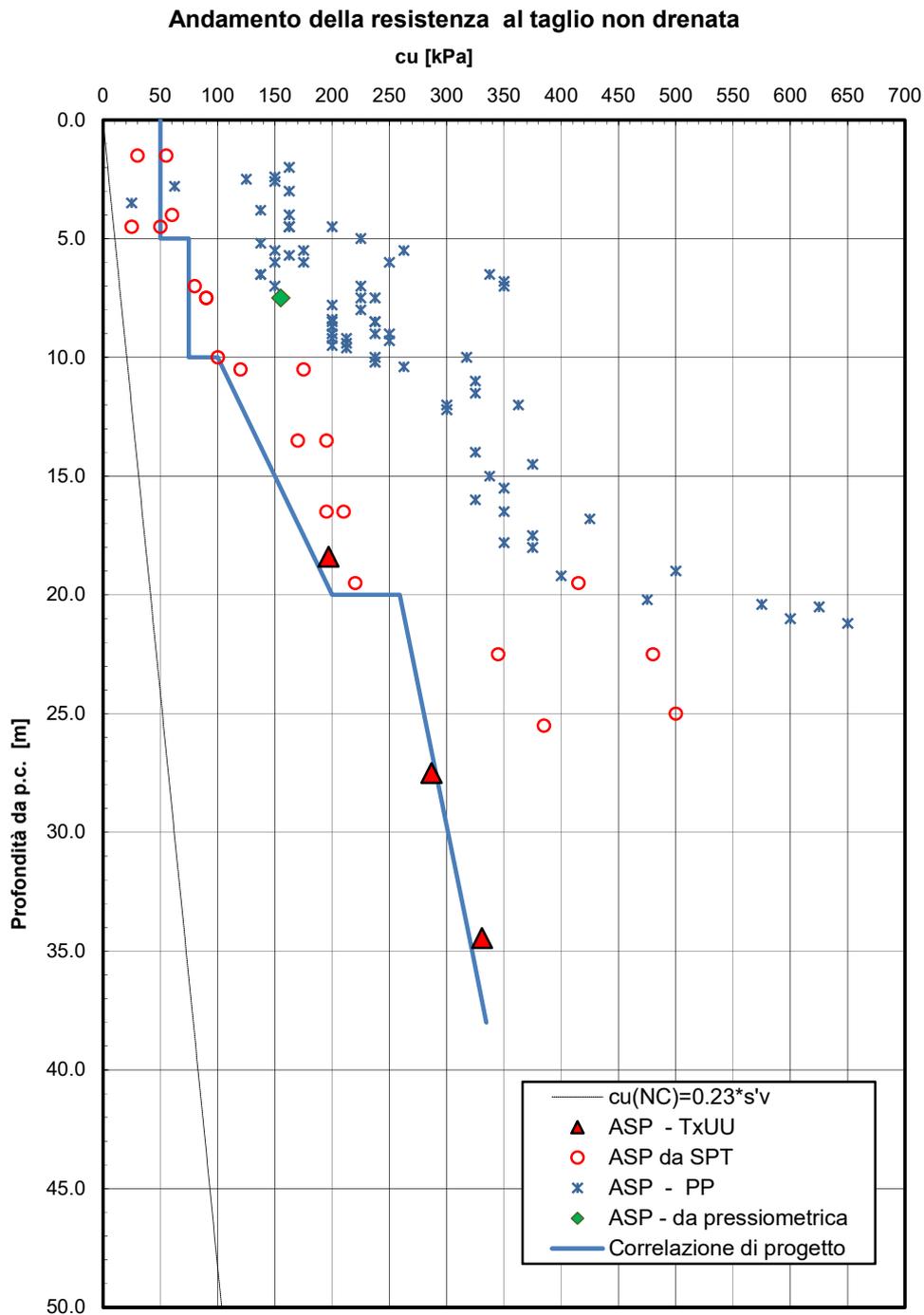


Figura 9 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate

Resistenza a compressione monoassiale

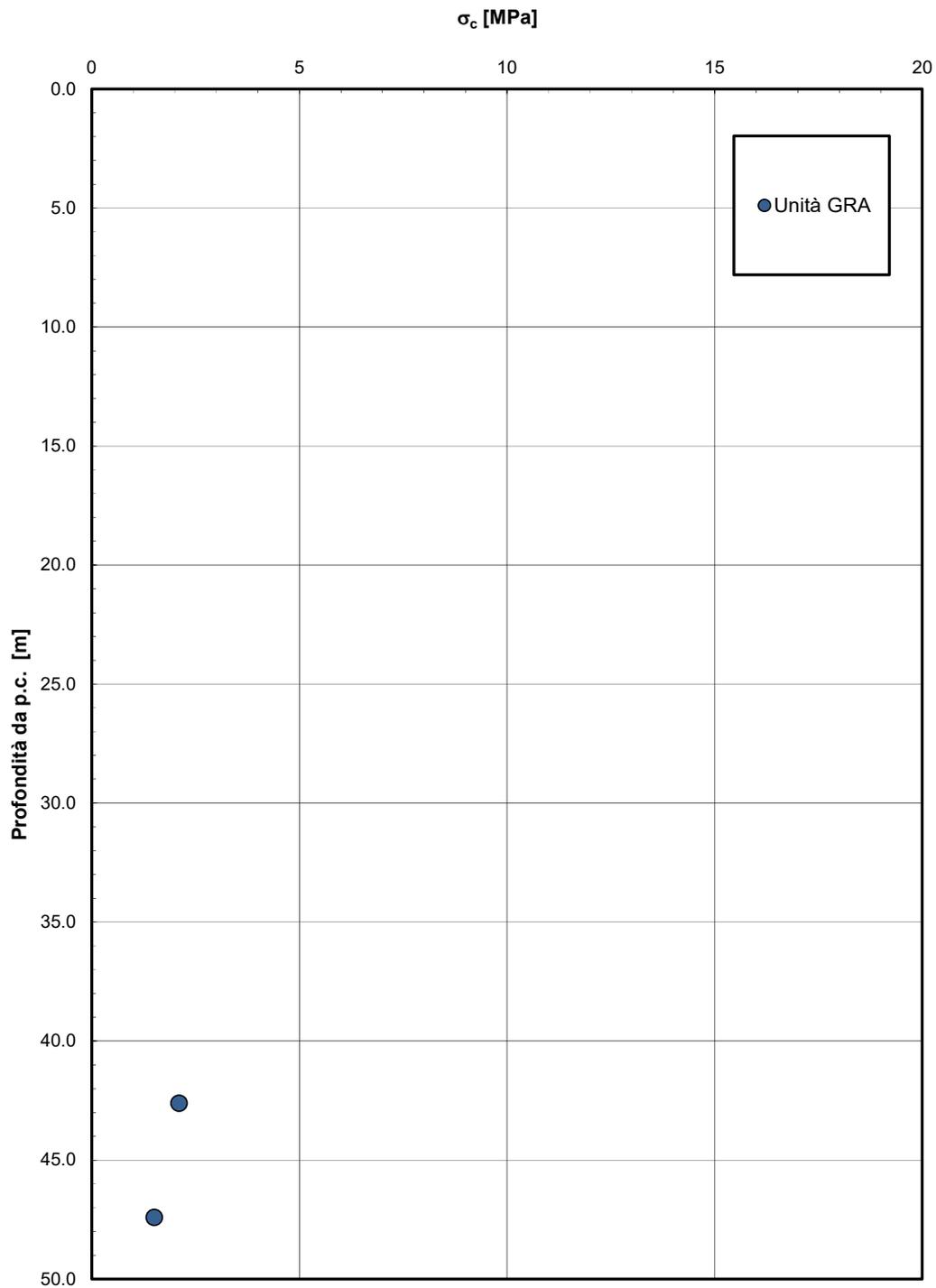
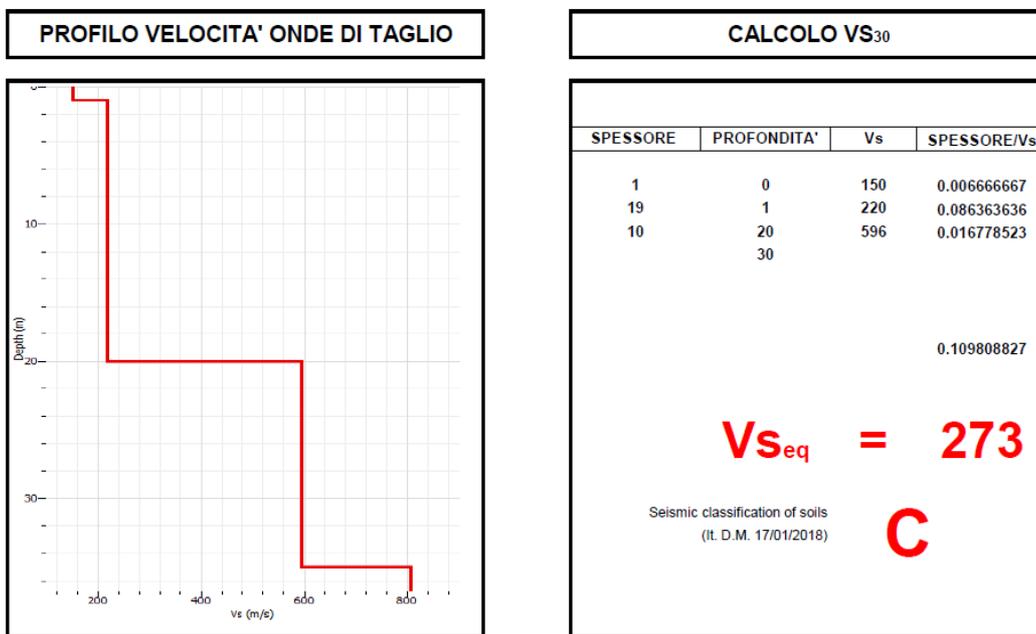


Figura 10 – Resistenza a compressione monoassiale

3.4 Categoria di sottosuolo

Dall'indagine sismica Down-Hole (S15_DH_50) e dalla Masw15 si definisce una categoria di sottosuolo sismica di tipo C con $V_{s,eq}$ rispettivamente di 234 m/s e 273 m/s (vedasi tabelle seguenti).

Tabella 2 – Masw15

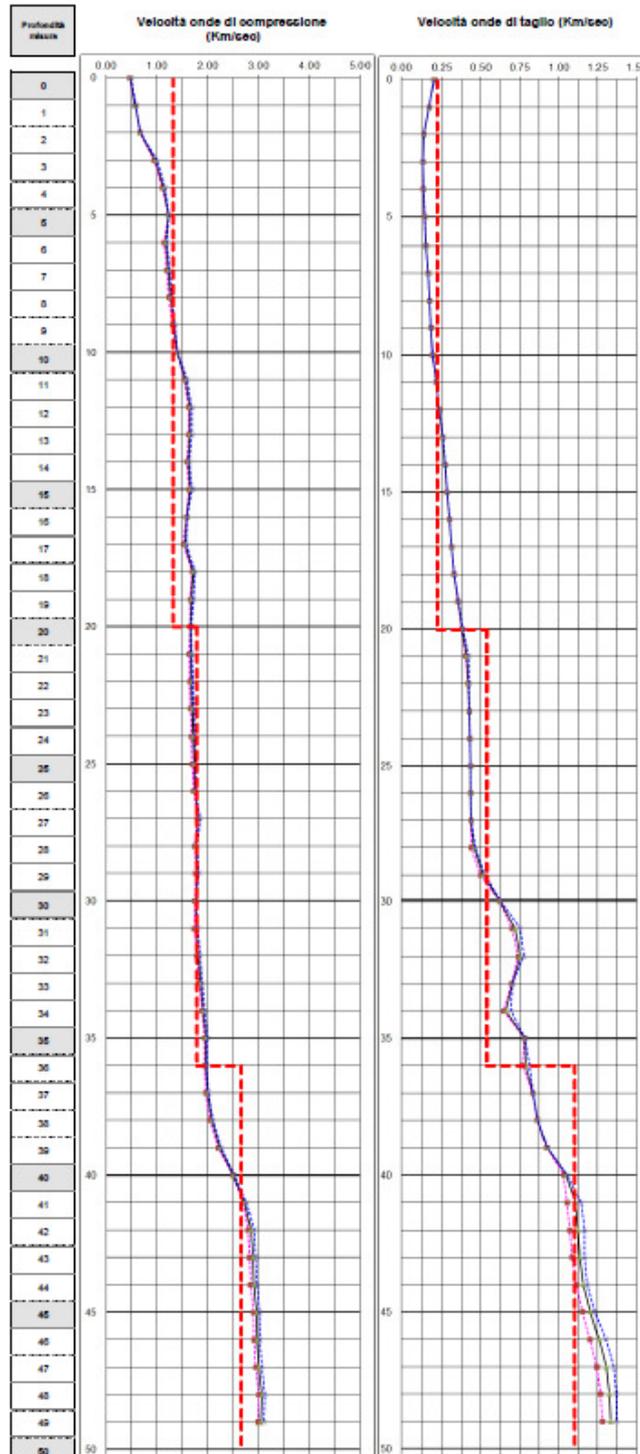


PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI12

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 1200001	A	19 di 36

Tabella 3 – S15_DH_50



4. PALIFICATE DI FONDAZIONE

4.1 Capacità portante dei pali

Nel presente capitolo si riporta la valutazione della capacità portante dei pali per l'opera in esame.

Le metodologie di calcolo generali sono illustrate nella Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni (doc. rif. [DC1] a cui si rimanda.

4.1.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

La capacità portante è definita sulla base della stratigrafia ricostruita dai sondaggi S1 DH 50 eseguito per la pila P11 e S CH VI12 eseguito per la P10 che individuano la presenza delle calcareniti circa alla stessa profondità maggiore di 34-35 m dal p.c..

Nella seguente tabella si riporta la stratigrafia ed i parametri geotecnici principali per il calcolo della capacità portante dei pali dell'opera in esame.

Tabella 4 - VI12 – stratigrafia e parametri di calcolo portanza pali

Profondità [m]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	τ [kPa]	q_b [kPa]
da 0.0 a 35.0	ASP	19.0 (z < 20m) 19.5 (z > 20m)	50 (0.0 < z < 5.0m) 75 (5.0 < z < 10m) 100÷200 (10 < z < 20 m) 260÷322 (z > 20 m)	-	$9 \cdot c_u + \sigma_v$
da 35.0 a 50.0	GRA	19.0	-	200	5000

Dove:
 γ = peso di volume naturale
 c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate
 q_b = portata limite di base
 τ = tensione di adesione laterale limite
 σ_v = tensione verticale totale

4.1.2 Calcolo della capacità portante

La capacità portante per le fondazioni del viadotto è stata valutata per pali trivellati D=1200 mm, considerando l'Approccio 2 (A1+M1+R3) di normativa e quindi con i seguenti coefficienti parziali sulle resistenze di base e laterale:

- N. 2 verticali di indagine, da cui $\xi_3 = 1.65$,
- F_{SL} = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ($=\xi_3 \cdot \gamma_s = 1.9$).
- F_{SB} = fattore di sicurezza per la portata di base ($=\xi_3 \cdot \gamma_b = 2.23$).

Inoltre si è considerato:

- testa palo a 2.5 m di profondità dal p.c.;
- falda a p.c.

In **Appendice A** si riportano i tabulati di calcolo completi.

Tabella 5 – VI12 -- Capacità portante palo P10 e P11 D=1200 mm - A1+M1+R3

LINEA FS FERRANDINA MATERA
 VIADOTTO RIDOLA PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

STAMPA capacità portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	563.	0.	563.	252.
.50	26.	573.	3.	596.	267.
1.00	56.	584.	7.	633.	285.
1.50	91.	595.	10.	676.	304.
2.00	131.	606.	14.	723.	327.
2.50	175.	616.	17.	774.	352.
3.00	224.	882.	20.	1085.	493.
3.50	278.	892.	24.	1146.	522.
4.00	336.	903.	27.	1212.	555.
4.50	399.	914.	31.	1282.	589.
5.00	467.	925.	34.	1357.	626.
5.50	539.	935.	37.	1437.	666.
6.00	616.	946.	41.	1521.	708.
6.50	697.	957.	44.	1610.	752.
7.00	782.	968.	48.	1702.	798.
7.50	866.	978.	51.	1793.	843.
8.00	944.	1294.	54.	2184.	1023.
8.50	1025.	1356.	58.	2324.	1090.
9.00	1110.	1418.	61.	2467.	1159.
9.50	1199.	1479.	64.	2613.	1230.
10.00	1291.	1541.	68.	2764.	1303.
10.50	1387.	1603.	71.	2918.	1377.
11.00	1487.	1664.	75.	3077.	1454.
11.50	1591.	1726.	78.	3239.	1533.
12.00	1698.	1788.	81.	3404.	1614.
12.50	1809.	1849.	85.	3574.	1697.
13.00	1924.	1911.	88.	3747.	1781.
13.50	2043.	1972.	92.	3924.	1868.
14.00	2166.	2034.	95.	4105.	1957.
14.50	2292.	2096.	98.	4289.	2048.
15.00	2422.	2157.	102.	4478.	2140.
15.50	2556.	2219.	105.	4670.	2235.
16.00	2693.	2281.	109.	4865.	2332.
16.50	2835.	2342.	112.	5065.	2430.
17.00	2980.	2404.	115.	5268.	2531.
17.50	3133.	2466.	119.	5480.	2636.
18.00	3318.	3108.	122.	6304.	3018.
18.50	3511.	3140.	126.	6526.	3131.
19.00	3710.	3172.	129.	6752.	3246.
19.50	3911.	3203.	132.	6982.	3363.
20.00	4114.	3235.	136.	7214.	3480.
20.50	4319.	3267.	139.	7447.	3599.
21.00	4525.	3299.	143.	7681.	3718.
21.50	4733.	3330.	146.	7917.	3838.
22.00	4942.	3362.	149.	8155.	3959.
22.50	5153.	3394.	153.	8394.	4081.
23.00	5365.	3426.	156.	8635.	4204.
23.50	5579.	3458.	159.	8877.	4327.
24.00	5795.	3489.	163.	9121.	4452.
24.50	6012.	3521.	166.	9367.	4577.
25.00	6230.	3553.	170.	9614.	4703.
25.50	6451.	3585.	173.	9862.	4829.
26.00	6672.	3617.	176.	10112.	4957.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VII2

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 1200001	A	22 di 36

26.50	6896.	3648.	180.	10364.	5085.
27.00	7120.	3680.	183.	10617.	5215.
27.50	7347.	3712.	187.	10872.	5344.
28.00	7573.	3744.	190.	11126.	5474.
28.50	7799.	3775.	193.	11381.	5604.
29.00	8025.	3807.	197.	11635.	5734.
29.50	8251.	3839.	200.	11890.	5864.
30.00	8477.	3871.	204.	12145.	5994.
30.50	8704.	3903.	207.	12399.	6124.
31.00	8930.	3934.	210.	12654.	6254.
31.50	9156.	3966.	214.	12908.	6384.
32.00	9382.	3998.	217.	13163.	6514.
32.50	9627.	4030.	221.	13436.	6653.
33.00	9985.	5655.	224.	15416.	7567.
33.50	10362.	5655.	227.	15790.	7762.
34.00	10739.	5655.	231.	16164.	7957.
34.50	11116.	5655.	234.	16537.	8152.
35.00	11493.	5655.	238.	16911.	8347.
35.50	11870.	5655.	241.	17284.	8542.
36.00	12247.	5655.	244.	17658.	8738.
36.50	12624.	5655.	248.	18032.	8933.
37.00	13001.	5655.	251.	18405.	9128.
37.50	13378.	5655.	254.	18779.	9323.

Lp = Lunghezza utile del palo
 Ql1 = Portata laterale limite
 Qb1 = Portata di base limite
 Wp = Peso efficace del palo
 Qu = Portata totale limite
 Qd = Portata di progetto = $Ql1/FS,1 + Qb1/FS,b - Wp$

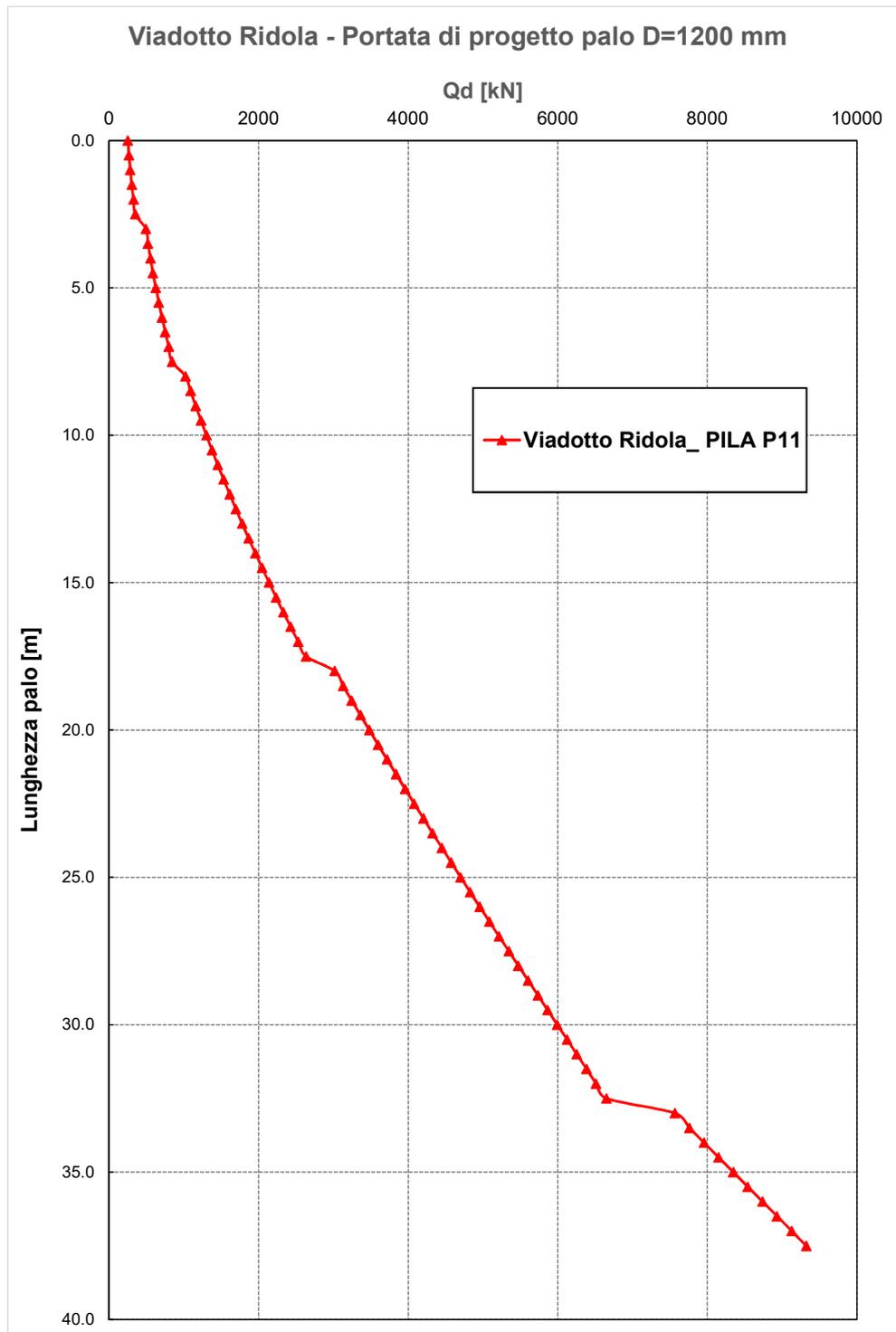


Figura 11 – Capacità portante palo D=1200 mm P10 e P11

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI12

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 1200001	A	24 di 36

4.2 Modulo di reazione orizzontale del terreno

Lo studio dell'interazione tra palo soggetto ai carichi orizzontali ed il terreno viene effettuato ricorrendo alla teoria di Matlock e Reese che si basa sul noto modello di suolo alla Winkler (elastico-lineare), caratterizzato da un modulo di reazione orizzontale del terreno (E_{MR}) definito come il rapporto fra la reazione del terreno per unità di lunghezza del palo (p) ed il corrispondente spostamento orizzontale (y): $E_{MR} = p / y$. Definito il coefficiente di sottofondo alla Winkler (K_w), per un palo di diametro D , si ha questa relazione con il modulo di reazione orizzontale palo-terreno:

$$E_{MR} = K_w \cdot D$$

Le metodologie di calcolo sono riportate nella Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni (doc. rif. [DC1]).

In particolare per la valutazione del modulo di reazione orizzontale palo-terreno, si considera:

$$E_{MR} = \xi * c_u \leq E_{MR,max}$$

dove:

nei depositi coesivi $\xi = 350$;

c_u = definito come da **Tabella 4**;

$E_{MR,max}$: 120000 kN/m².

Si riporta di seguito il profilo del modulo di reazione orizzontale palo-terreno, definito da testa palo:

Prof. m	E kN/m ²
.00	17500.0
3.00	17500.0
3.10	26250.0
8.00	26250.0
8.10	35000.0
18.00	70000.0
18.10	96250.0
33.00	115500.0
33.10	120000.0
40.00	120000.0

4.3 Parametro α_m e andamento del momento lungo il palo

Per ricavare il parametro α_m (rapporto momento taglio in testa palo nell'ipotesi di rotazione impedita) si ricorre al metodo di Matlock e Reese (1956) che, utilizzando il metodo delle differenze finite, hanno risolto il problema del palo soggetto ad un carico orizzontale, mediante l'impiego di parametri adimensionali.

Nel caso in esame, considerando l'andamento del modulo di reazione orizzontale palo-terreno E_{MR} definito nel precedente paragrafo, si ricava il valore del parametro α_m :

$$\alpha_m = M_0 / H_0$$

essendo:

H_o = azione tagliante in testa palo [F];

M_o = azione flettente, conseguente ad H_o , in testa al palo;

α_m = rapporto momento taglio in testa palo nell'ipotesi di rotazione impedita [L];

Le metodologie di calcolo generali sono riportate nella Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni (doc. rif. [DC1]). Nella seguente tabella si riportano il valore del parametro alfa ($\alpha_m = M_o / H_o$) ed a seguire l'andamento di taglio e momento lungo il palo. La valutazione è stata fatta con riferimento ad una lunghezza palo indicativa di 25 m e applicando un taglio a testa palo $H_o=100$ kN.

Tabella 6 – VI12 - Valori di α_m

VI12	α_m [m]
D=1200mm	-2.6

Nelle seguenti tabelle si riporta l'andamento di taglio e momento lungo il fusto del palo; tutti i tabulati di calcolo sono riportati in **Appendice B**.

Tabella 7 – Andamento di taglio e momento lungo il palo D=1200 mm – VI12

Sollecitazioni, deformazioni e pressioni mobilitate
lungo il fusto del palo

prof. m	T kN	M kN*m	Yp mm	Rp mRad	Pr kN/m
.00	100.02	-260.89	.992	.000	17.35
.78	86.67	-188.01	.968	.057	16.94
1.56	73.93	-125.36	.907	.097	15.87
2.34	62.18	-72.30	.820	.122	14.35
3.13	50.50	-27.94	.719	.135	18.87
3.91	36.87	5.98	.612	.138	16.06
4.69	25.41	30.11	.506	.133	13.27
5.47	16.10	46.12	.405	.123	10.64
6.25	8.23	55.62	.314	.110	8.25
7.50	.47	60.73	.192	.086	5.03
8.75	-5.37	57.42	.100	.061	3.72
10.00	-8.62	48.25	.037	.040	1.54
11.25	-9.49	36.62	-.001	.022	-.06
12.50	-8.63	25.02	-.021	.010	-1.06
14.58	-5.83	9.56	-.027	-.002	-1.59
16.67	-2.79	.76	-.019	-.005	-1.26
18.75	-.54	-2.64	-.009	-.004	-.90
21.88	.66	-1.56	.000	-.002	-.02
25.00	.00	.00	.004	-.001	.42

4.4 Carico limite orizzontale dei pali

Per la valutazione del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita. Le metodologie di calcolo sono riportate nella Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni (doc. rif. [DC1]).

Il fattore di sicurezza di normativa per la verifica a carico orizzontale è $FS = \gamma_T \cdot \xi_3 = 1.30 \cdot 1.65 = 2.145$ (da normativa vigente per verifica A1+M1+R3). Quindi la resistenza di progetto è valutata a partire dalla resistenza caratteristica (calcolata con Broms), fattorizzata con FS, da cui: $H_d = H_{lim} / 2.145$.

Il valore caratteristico della resistenza (H_{lim}) è stato valutato con riferimento ai seguenti momenti di plasticizzazione:

- Spalle (D=1200mm, armatura 28 ϕ 30): M_y pari a 3925.7 kNm
- Pile (D=1200mm, armatura 18 ϕ 24): M_y pari a 1777.7 kNm

Nella seguente tabella si riportano i valori di progetto del carico limite orizzontale (H_{lim}) e del carico limite di progetto (H_d), valutati per diverse lunghezze palo.

Fondazioni	Diametro palo [mm]	L palo [m]	C_u [kPa] (media)	H_{lim} [kN]	H_d [kN]
Pila	1200	29.5	185	1613	752
Pila	1200	22.5	146	1551	723
Spalla A	1200	33.4	195	3096.9	1443.8
Spalla B	1200	37.9	208	3141.5	1464.6

5. VERIFICA RISCHIO POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

In questo capitolo si valuta il rischio di potenziale liquefazione dei terreni del sito in esame, problematica che si pone quando la falda freatica si trova in prossimità del piano campagna ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

Le NTC18 al paragrafo 7.11.3.4.2 affermano che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di free-field-campo libero) minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{cIN} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{cIN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in Figura 12 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 13 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

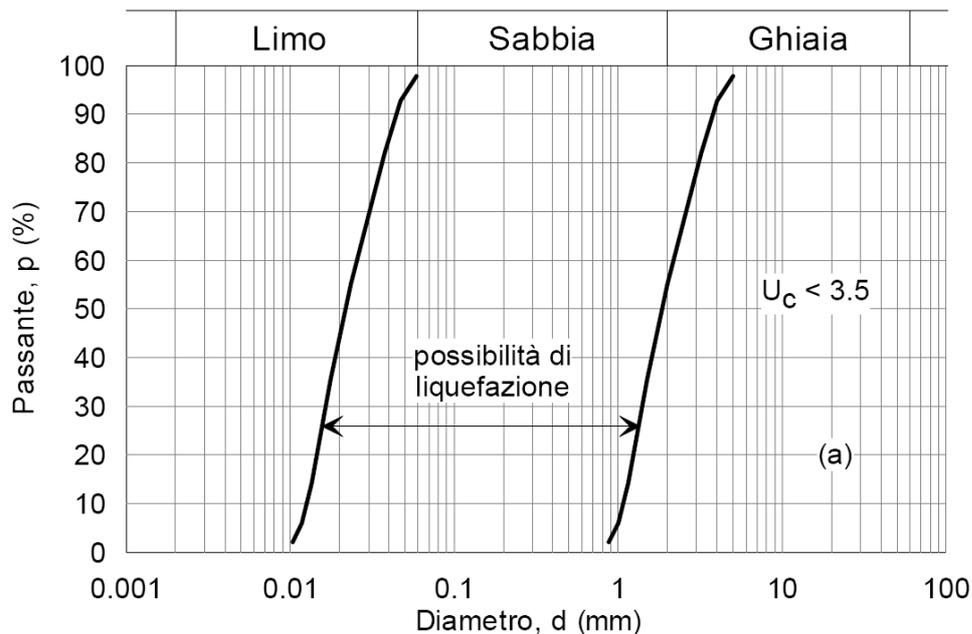


Figura 12. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c < 3.5$

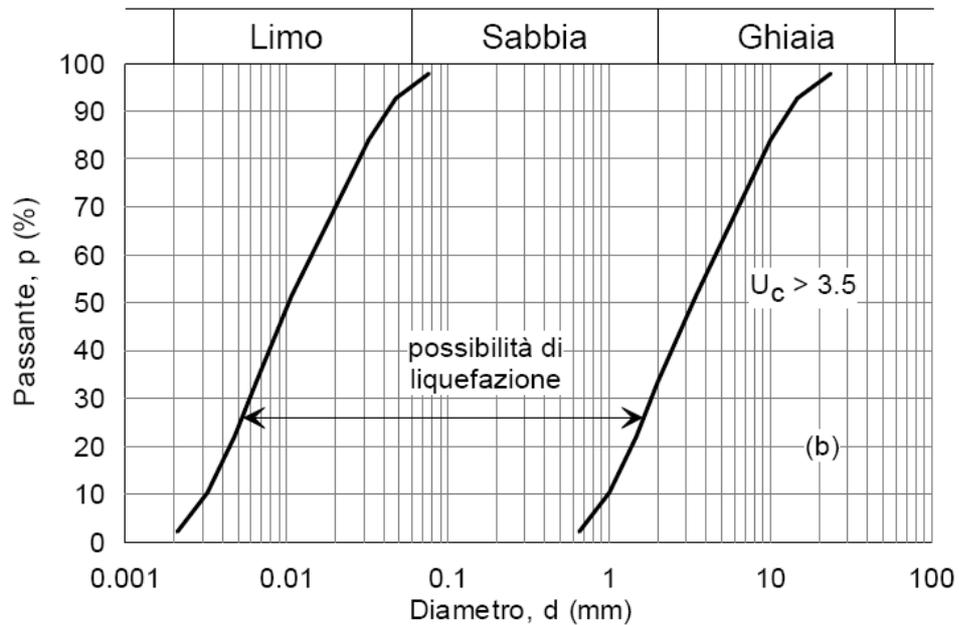


Figura 13. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c > 3.5$

Per il sito in esame si può escludere il rischio di potenziale liquefazione in quanto i terreni di fondazione sono costituiti prevalentemente da deposito argilloso marnoso da consistente a molto duro ed in profondità da calcareniti.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI12

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 1200001	A	31 di 36

pag./ 5

LINEA FS FERRANDINA MATERA
VIADOTTO RIDOLA PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "ASP "	1.00	1.00	1.00
2 "ASP "	1.00	1.00	1.00
3 "ASP "	1.00	1.00	1.00
4 "ASP "	1.00	1.00	1.00
5 "GRA "	1.00	1.00	-

NOTA: i moltiplicatori non influenzano le limitazioni
superiori o inferiori dei parametri

Per terreni coesivi: Criterio $\tau = \alpha \cdot C_u$

Cu kPa	alfa
-	-
.0	.90
25.0	.90
25.1	.80
50.0	.80
51.0	.60
75.0	.60
75.1	.40
300.0	.40

PROGETTO DEFINITIVO

 Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
 VII2

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 1200001	A	32 di 36

pag./ 6

 LINEA FS FERRANDINA MATERA
 VIADOTTO RIDOLA PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
2.50	22.5	47.5	50.0	.55	12.4	498.
3.00	27.0	57.0	50.0	.55	14.9	507.
3.50	31.5	66.5	50.0	.55	17.3	517.
4.00	36.0	76.0	50.0	.55	19.8	526.
4.50	40.5	85.5	50.0	.55	22.3	536.
5.00	45.0	95.0	50.0	.55	24.8	545.
5.50	49.5	104.5	75.0	.55	27.2	780.
6.00	54.0	114.0	75.0	.55	29.7	789.
6.50	58.5	123.5	75.0	.55	32.2	799.
7.00	63.0	133.0	75.0	.55	34.7	808.
7.50	67.5	142.5	75.0	.55	37.1	818.
8.00	72.0	152.0	75.0	.55	39.6	827.
8.50	76.5	161.5	75.0	.55	42.1	837.
9.00	81.0	171.0	75.0	.55	44.5	846.
9.50	85.5	180.5	75.0	.53	45.0	856.
10.00	90.0	190.0	75.0	.47	42.5	865.
10.50	94.5	199.5	105.0	.44	42.0	1145.
11.00	99.0	209.0	110.0	.44	44.0	1199.
11.50	103.5	218.5	115.0	.44	46.0	1254.
12.00	108.0	228.0	120.0	.44	48.0	1308.
12.50	112.5	237.5	125.0	.44	50.0	1363.
13.00	117.0	247.0	130.0	.44	52.0	1417.
13.50	121.5	256.5	135.0	.44	54.0	1472.
14.00	126.0	266.0	140.0	.44	56.0	1526.
14.50	130.5	275.5	145.0	.44	58.0	1581.
15.00	135.0	285.0	150.0	.44	60.0	1635.
15.50	139.5	294.5	155.0	.44	62.0	1690.
16.00	144.0	304.0	160.0	.44	64.0	1744.
16.50	148.5	313.5	165.0	.44	66.0	1799.
17.00	153.0	323.0	170.0	.44	68.0	1853.
17.50	157.5	332.5	175.0	.44	70.0	1908.
18.00	162.0	342.0	180.0	.44	72.0	1962.
18.50	166.5	351.5	185.0	.44	74.0	2017.
19.00	171.0	361.0	190.0	.44	76.0	2071.
19.50	175.5	370.5	195.0	.44	78.0	2126.
20.00	180.0	380.0	200.0	.50	89.5	2180.
20.50	184.5	389.5	262.1	.55	101.5	2748.
21.00	189.0	399.0	264.1	.55	104.0	2776.
21.50	193.5	408.5	266.2	.55	106.4	2804.
22.00	198.0	418.0	268.3	.54	107.3	2832.
22.50	202.5	427.5	270.3	.53	108.1	2861.
23.00	207.0	437.0	272.4	.53	109.0	2889.
23.50	211.5	446.5	274.5	.52	109.8	2917.
24.00	216.0	456.0	276.5	.51	110.6	2945.
24.50	220.5	465.5	278.6	.51	111.4	2973.
25.00	225.0	475.0	280.7	.50	112.3	3001.
25.50	229.5	484.5	282.7	.49	113.1	3029.
26.00	234.0	494.0	284.8	.49	113.9	3057.
26.50	238.5	503.5	286.9	.48	114.7	3085.
27.00	243.0	513.0	288.9	.48	115.6	3113.
27.50	247.5	522.5	291.0	.47	116.4	3142.
28.00	252.0	532.0	293.1	.47	117.2	3170.
28.50	256.5	541.5	295.1	.46	118.1	3198.
29.00	261.0	551.0	297.2	.46	118.9	3226.
29.50	265.5	560.5	299.3	.45	119.7	3254.
30.00	270.0	570.0	301.3	.44	120.0	3282.
30.50	274.5	579.5	303.4	.44	120.0	3310.
31.00	279.0	589.0	305.5	.43	120.0	3338.
31.50	283.5	598.5	307.5	.42	120.0	3366.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI12

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 1200001	A	33 di 36

32.00 288.0 608.0 309.6 .42 120.0 3394.

pag./ 8

LINEA FS FERRANDINA MATERA
VIADOTTO RIDOLA PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
32.50	292.5	617.5	311.7	.41	120.0	3423.
33.00	297.0	627.0	313.7	.40	120.0	3451.
33.50	301.5	636.5	315.8	.40	120.0	3479.
34.00	306.0	646.0	317.9	.39	120.0	3507.
34.50	310.5	655.5	319.9	.39	120.0	3535.
35.00	315.0	665.0	322.0	.51	160.0	3563.
35.50	319.5	674.5	--	.63	200.0	5000.
36.00	324.0	684.0	--	.62	200.0	5000.
36.50	328.5	693.5	--	.61	200.0	5000.
37.00	333.0	703.0	--	.60	200.0	5000.
37.50	337.5	712.5	--	.59	200.0	5000.
38.00	342.0	722.0	--	.58	200.0	5000.
38.50	346.5	731.5	--	.58	200.0	5000.
39.00	351.0	741.0	--	.57	200.0	5000.
39.50	355.5	750.5	--	.56	200.0	5000.
40.00	360.0	760.0	--	.56	200.0	5000.

zz = Profondita' da piano campagna
S'v = Tensione verticale efficace
Sv = Tensione verticale totale
Cu = Coesione non drenata
Tau = Tensione di adesione laterale limite
qb = Portata di base limite unitaria

PROGETTO DEFINITIVO

 Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
 VII2

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 1200001	A	34 di 36

pag. / 9

 LINEA FS FERRANDINA MATERA
 VIADOTTO RIDOLA PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	563.	0.	563.	252.
.50	26.	573.	3.	596.	267.
1.00	56.	584.	7.	633.	285.
1.50	91.	595.	10.	676.	304.
2.00	131.	606.	14.	723.	327.
2.50	175.	616.	17.	774.	352.
3.00	224.	882.	20.	1085.	493.
3.50	278.	892.	24.	1146.	522.
4.00	336.	903.	27.	1212.	555.
4.50	399.	914.	31.	1282.	589.
5.00	467.	925.	34.	1357.	626.
5.50	539.	935.	37.	1437.	666.
6.00	616.	946.	41.	1521.	708.
6.50	697.	957.	44.	1610.	752.
7.00	782.	968.	48.	1702.	798.
7.50	866.	978.	51.	1793.	843.
8.00	944.	1294.	54.	2184.	1023.
8.50	1025.	1356.	58.	2324.	1090.
9.00	1110.	1418.	61.	2467.	1159.
9.50	1199.	1479.	64.	2613.	1230.
10.00	1291.	1541.	68.	2764.	1303.
10.50	1387.	1603.	71.	2918.	1377.
11.00	1487.	1664.	75.	3077.	1454.
11.50	1591.	1726.	78.	3239.	1533.
12.00	1698.	1788.	81.	3404.	1614.
12.50	1809.	1849.	85.	3574.	1697.
13.00	1924.	1911.	88.	3747.	1781.
13.50	2043.	1972.	92.	3924.	1868.
14.00	2166.	2034.	95.	4105.	1957.
14.50	2292.	2096.	98.	4289.	2048.
15.00	2422.	2157.	102.	4478.	2140.
15.50	2556.	2219.	105.	4670.	2235.
16.00	2693.	2281.	109.	4865.	2332.
16.50	2835.	2342.	112.	5065.	2430.
17.00	2980.	2404.	115.	5268.	2531.
17.50	3133.	2466.	119.	5480.	2636.
18.00	3318.	3108.	122.	6304.	3018.
18.50	3511.	3140.	126.	6526.	3131.
19.00	3710.	3172.	129.	6752.	3246.
19.50	3911.	3203.	132.	6982.	3363.
20.00	4114.	3235.	136.	7214.	3480.
20.50	4319.	3267.	139.	7447.	3599.
21.00	4525.	3299.	143.	7681.	3718.
21.50	4733.	3330.	146.	7917.	3838.
22.00	4942.	3362.	149.	8155.	3959.
22.50	5153.	3394.	153.	8394.	4081.
23.00	5365.	3426.	156.	8635.	4204.
23.50	5579.	3458.	159.	8877.	4327.
24.00	5795.	3489.	163.	9121.	4452.
24.50	6012.	3521.	166.	9367.	4577.
25.00	6230.	3553.	170.	9614.	4703.
25.50	6451.	3585.	173.	9862.	4829.
26.00	6672.	3617.	176.	10112.	4957.
26.50	6896.	3648.	180.	10364.	5085.
27.00	7120.	3680.	183.	10617.	5215.
27.50	7347.	3712.	187.	10872.	5344.
28.00	7573.	3744.	190.	11126.	5474.
28.50	7799.	3775.	193.	11381.	5604.
29.00	8025.	3807.	197.	11635.	5734.
29.50	8251.	3839.	200.	11890.	5864.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI12

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 1200001	A	35 di 36

pag./ 11

LINEA FS FERRANDINA MATERA
VIADOTTO RIDOLA PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
30.00	8477.	3871.	204.	12145.	5994.
30.50	8704.	3903.	207.	12399.	6124.
31.00	8930.	3934.	210.	12654.	6254.
31.50	9156.	3966.	214.	12908.	6384.
32.00	9382.	3998.	217.	13163.	6514.
32.50	9627.	4030.	221.	13436.	6653.
33.00	9985.	5655.	224.	15416.	7567.
33.50	10362.	5655.	227.	15790.	7762.
34.00	10739.	5655.	231.	16164.	7957.
34.50	11116.	5655.	234.	16537.	8152.
35.00	11493.	5655.	238.	16911.	8347.
35.50	11870.	5655.	241.	17284.	8542.
36.00	12247.	5655.	244.	17658.	8738.
36.50	12624.	5655.	248.	18032.	8933.
37.00	13001.	5655.	251.	18405.	9128.
37.50	13378.	5655.	254.	18779.	9323.

Lp = Lunghezza utile del palo
 Q11 = Portata laterale limite
 Qb1 = Portata di base limite
 Wp = Peso efficace del palo
 Qu = Portata totale limite
 Qd = Portata di progetto = $Q11/FS,1 + Qb1/FS,b - Wp$

PROGETTO DEFINITIVO

 Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
 VI12

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 1200001	A	36 di 36

7. APPENDICE B: PARAMETRO α_M E MOMENTO LUNGO IL PALO. TABULATI DI CALCOLO LPAL

7.1 D=1200 mm

 LINEA FERRANDINA MATERA
 VI RIDOLA D1200

Lunghezza palo	Lp =	25.00 m
Diametro palo	D =	1.20 m
Modulo elastico palo	Ep =	30000000. kPa
Rigidezza flessionale palo	EJ =	3053629. kN*m ²

Definizione del modulo di reazione del terreno E

Prof. m	E kN/m ²
.00	17500.0
3.00	17500.0
3.10	26250.0
8.00	26250.0
8.10	35000.0
18.00	70000.0
18.10	96250.0
33.00	115500.0
33.10	120000.0
40.00	120000.0

Azioni/Spostamenti a testa palo

Forza orizzontale	To =	100.00 kN
Rigidezza a traslazione	Kyo =	0. kN/m
Rotazione	Rpo =	.000 mRad

 Sollecitazioni, deformazioni e pressioni mobilitate
 lungo il fusto del palo

prof. m	T kN	M kN*m	Yp mm	Rp mRad	Pr kN/m
.00	100.02	-260.89	.992	.000	17.35
.78	86.67	-188.01	.968	.057	16.94
1.56	73.93	-125.36	.907	.097	15.87
2.34	62.18	-72.30	.820	.122	14.35
3.13	50.50	-27.94	.719	.135	18.87
3.91	36.87	5.98	.612	.138	16.06
4.69	25.41	30.11	.506	.133	13.27
5.47	16.10	46.12	.405	.123	10.64
6.25	8.23	55.62	.314	.110	8.25
7.50	.47	60.73	.192	.086	5.03
8.75	-5.37	57.42	.100	.061	3.72
10.00	-8.62	48.25	.037	.040	1.54
11.25	-9.49	36.62	-.001	.022	-.06
12.50	-8.63	25.02	-.021	.010	-1.06
14.58	-5.83	9.56	-.027	-.002	-1.59
16.67	-2.79	.76	-.019	-.005	-1.26
18.75	-.54	-2.64	-.009	-.004	-.90
21.88	.66	-1.56	.000	-.002	-.02
25.00	.00	.00	.004	-.001	.42