

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 VI03

SCALA:

-

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

I A 5 F 0 3 D 0 9 G E V I 0 3 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
								ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili, Gestione delle varianti per la Linea S. Maria Vittoria Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° 4207/8

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	5
3.3	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	8
3.4	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	13
4.	PALIFICATE DI FONDAZIONE	15
4.1	CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI.....	15
	4.1.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo.....	15
	4.1.2 Calcolo della capacità portante	15
4.2	MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO	19
4.3	PARAMETRO A_M E ANDAMENTO DEL MOMENTO LUNGO IL PALO.....	19
4.4	CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI.....	21
5.	VERIFICA RISCHIO POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	22
6.	APPENDICE A: VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI. TABULATI DI CALCOLO PAL ..	24
6.1	PALO D=1200 MM_ SPA E P1.....	24
7.	APPENDICE B: PARAMETRO A_M E MOMENTO LUNGO IL PALO. TABULATI DI CALCOLO LPAL	29
7.1	D=1200 MM	29

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI03

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0300001	A	3 di 29

1. PREMESSA

Nella presente relazione si riporta la caratterizzazione geotecnica finalizzata alla verifica delle fondazioni del Viadotto esistente Croce (VI03) 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).

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

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 11+567.553 e km 11+747.323.

In corrispondenza dell'opera è disponibile un sondaggio della campagna pregressa (1984) S2 eseguito nelle vicinanze del viadotto; inoltre sono state eseguite le indagini integrative nel 2018/2019 elencate nella seguente tabella. Il sondaggio S4_DH_50 è ubicato in corrispondenza della spalla A del viadotto, l'altro sondaggio è fuori dal viadotto ed è stato utilizzato per meglio definire i parametri geotecnici e per il livello di falda.

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
S4 DH 50	55.0	141.448	6	-	9	2	1	-	DH[55]
S6 PZ 30	30.0	135.616	5	-	9	2	1		TA [1.5;6]
MASW4	-	-	-	-	-	-	-	-	-

DH [m]: prova Down Hole [profondità prova]

TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]

Dalle misure piezometriche disponibili il livello di falda massimo è a circa 1 m da p.c. (S6_PZ_30), a quota + 134.656 m s.l.m..

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 massima profondità investigata (55 m). Il sondaggio S4_DH_50 è stato eseguito dal rilevato di approccio alla spalla e quindi ha intercettato anche uno spessore superficiale di 6.5 m circa di terreno di rilevato stradale.

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

Di seguito si riporta uno stralcio del profilo geologico nuovo basato su tutte le informazioni ad oggi disponibili e quello del progetto del 1984 (Figura 2) con ubicazione del sondaggio S2.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI03

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0300001	A	6 di 29

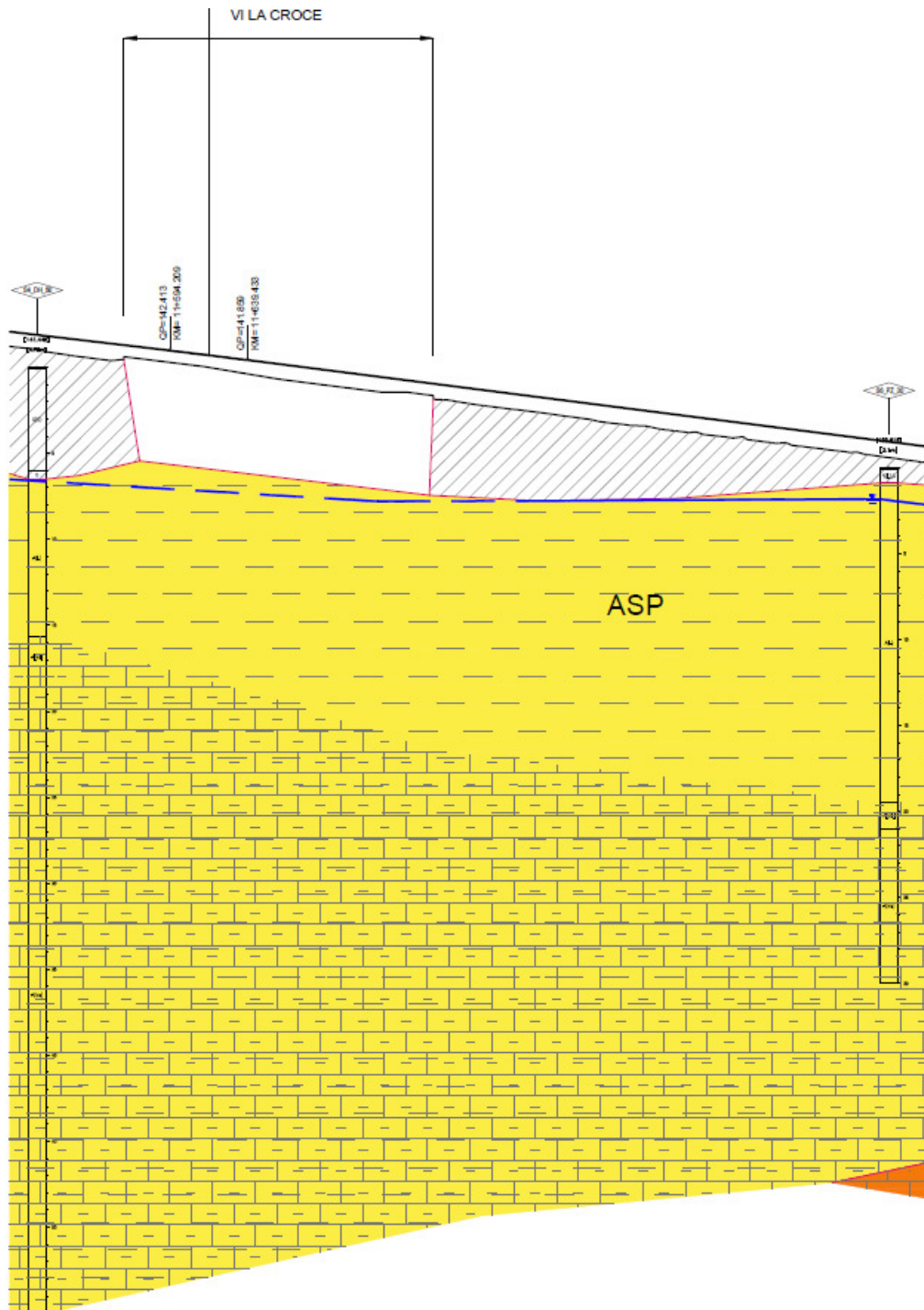


Figura 1 – Profilo geologico

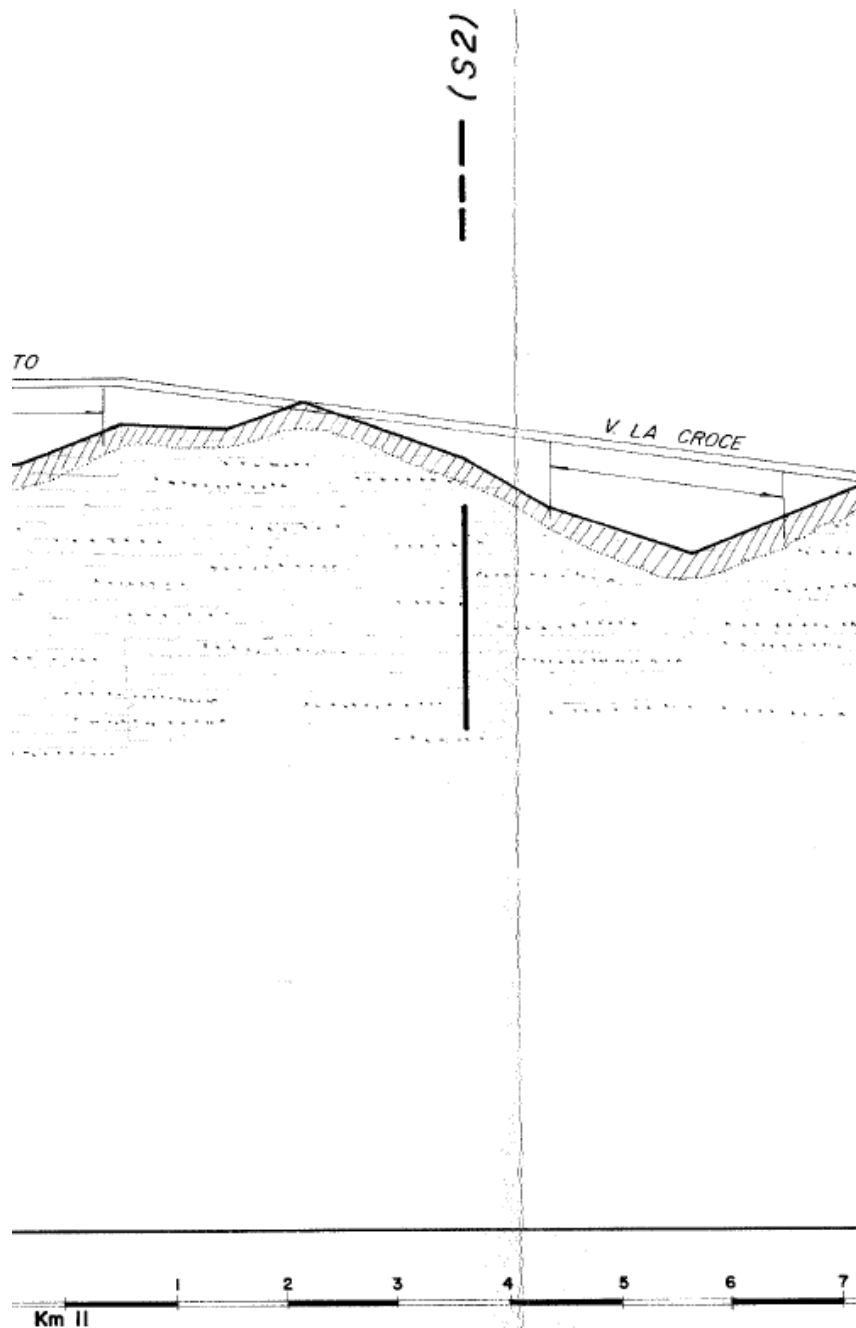


Figura 2 – Profilo geologico 1984

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 la definizione dei parametri di resistenza drenati dell'unità ASP si fa riferimento all'insieme di tutti i risultati di laboratorio dei sondaggi dell'intero tracciato.

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
$c_u = 100 \div 400 \text{ kPa}$	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

Nel seguito si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le unità intercettate.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI03

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0300001	A	9 di 29

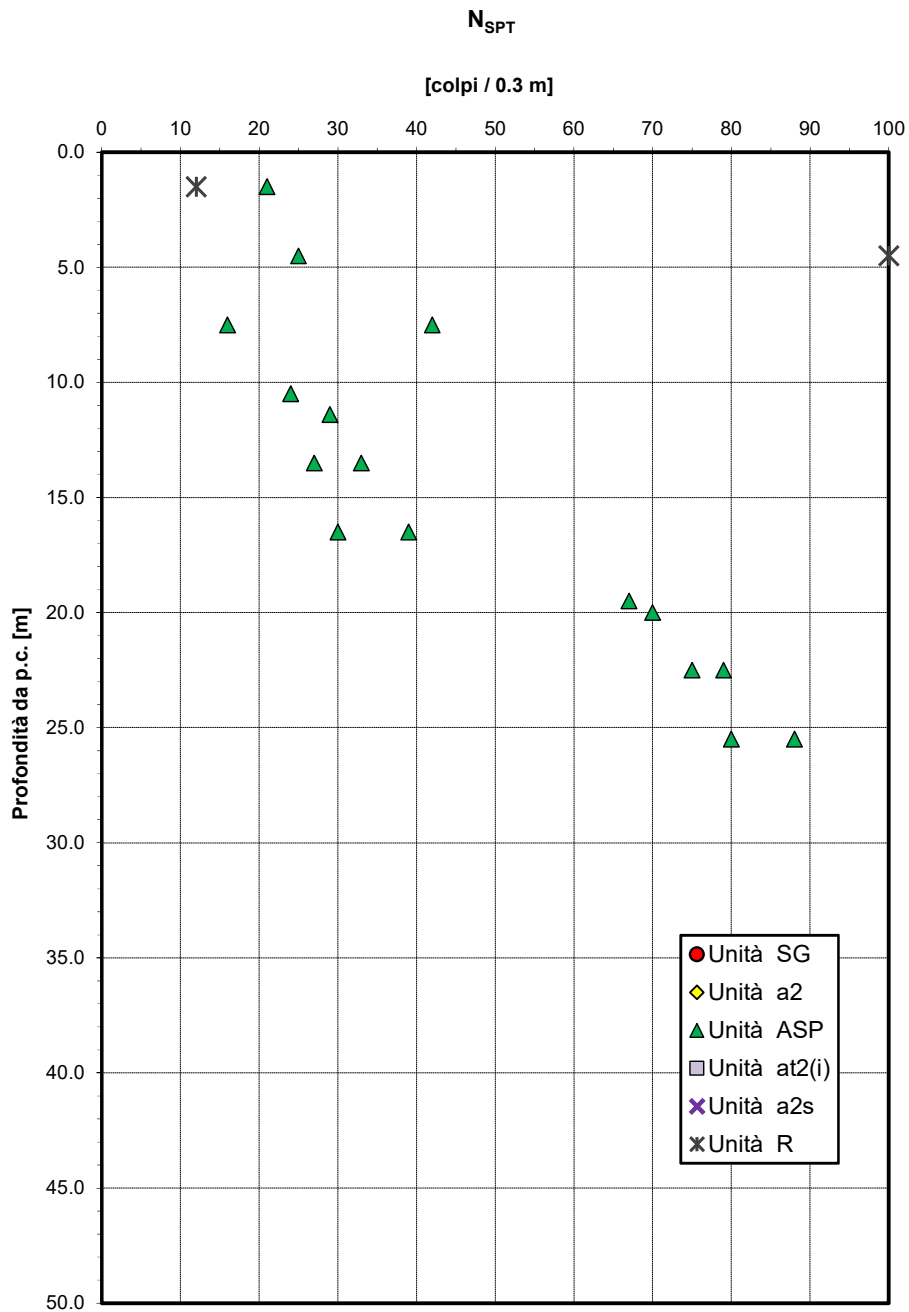


Figura 3 – Valori di N_{SPT}

Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche

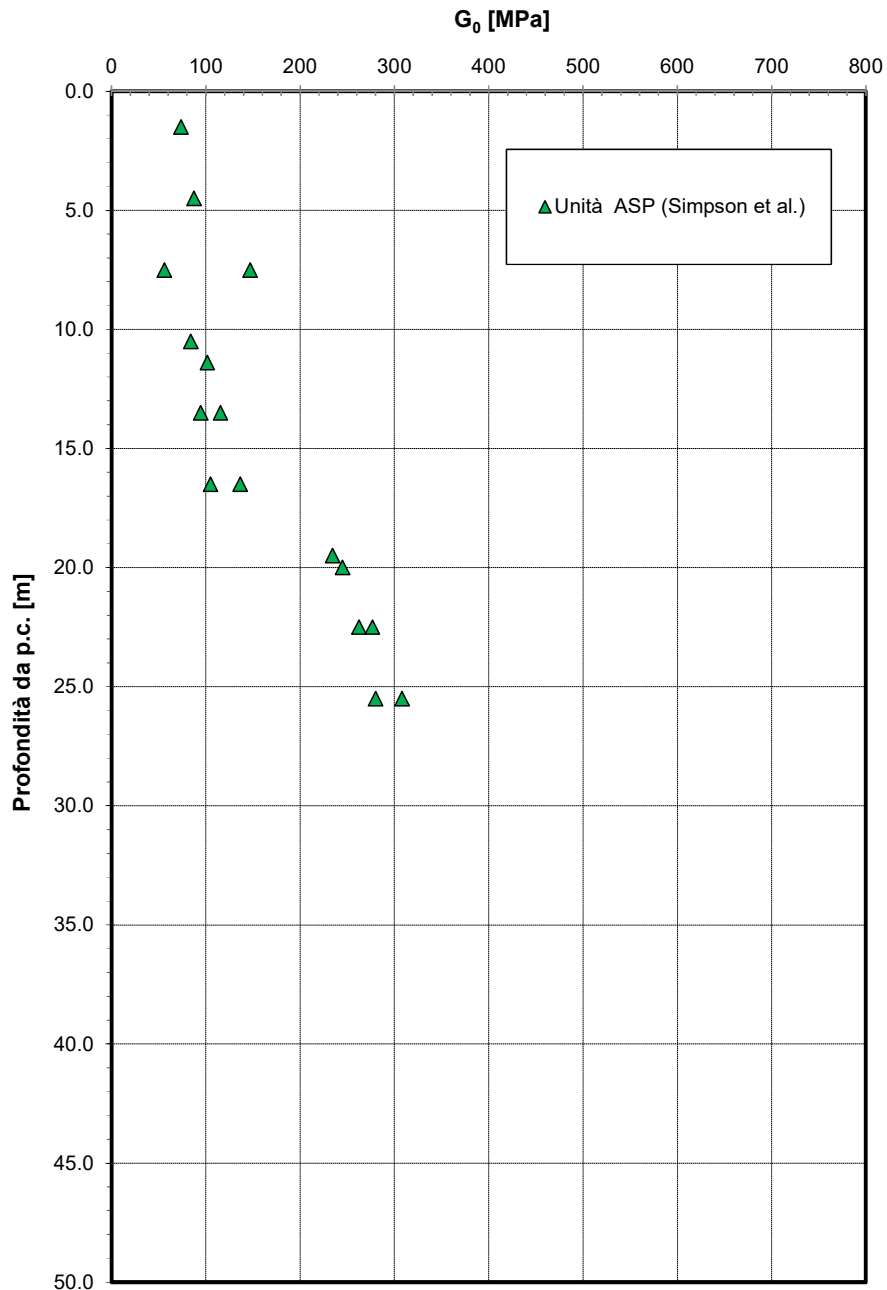


Figura 4 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT

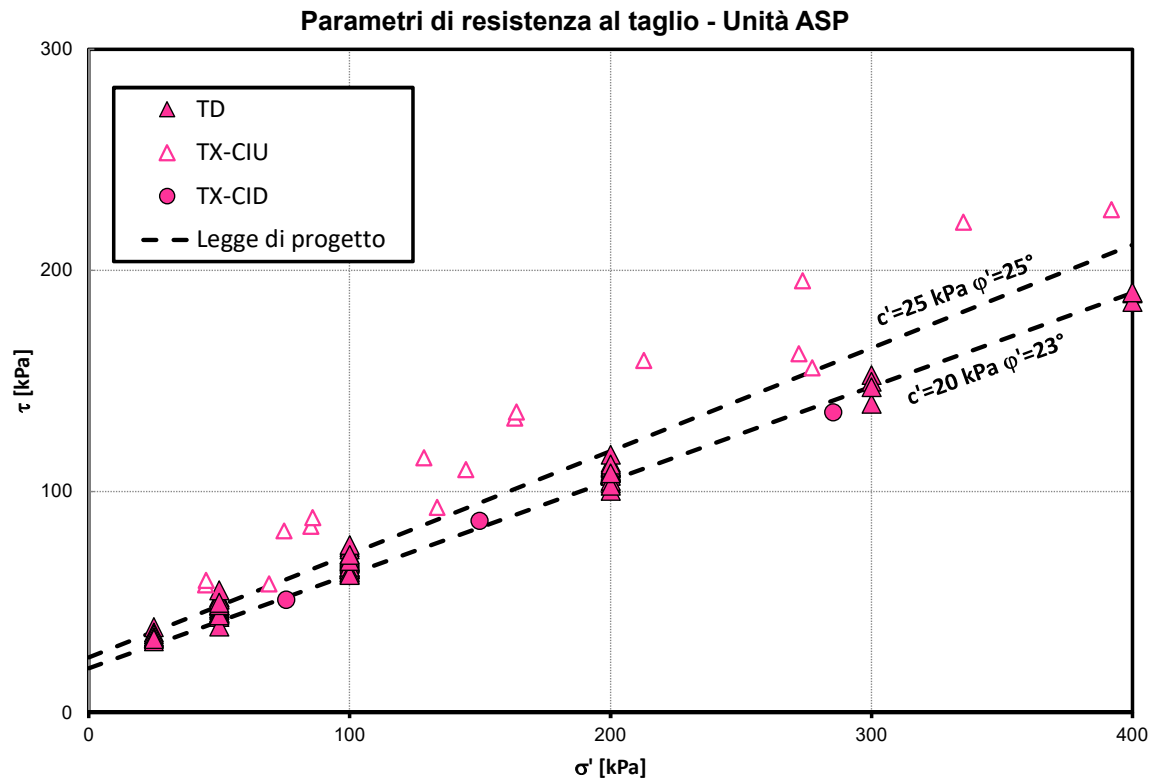


Figura 5 – Parametri di resistenza (tutti i valori dei sondaggi della linea)

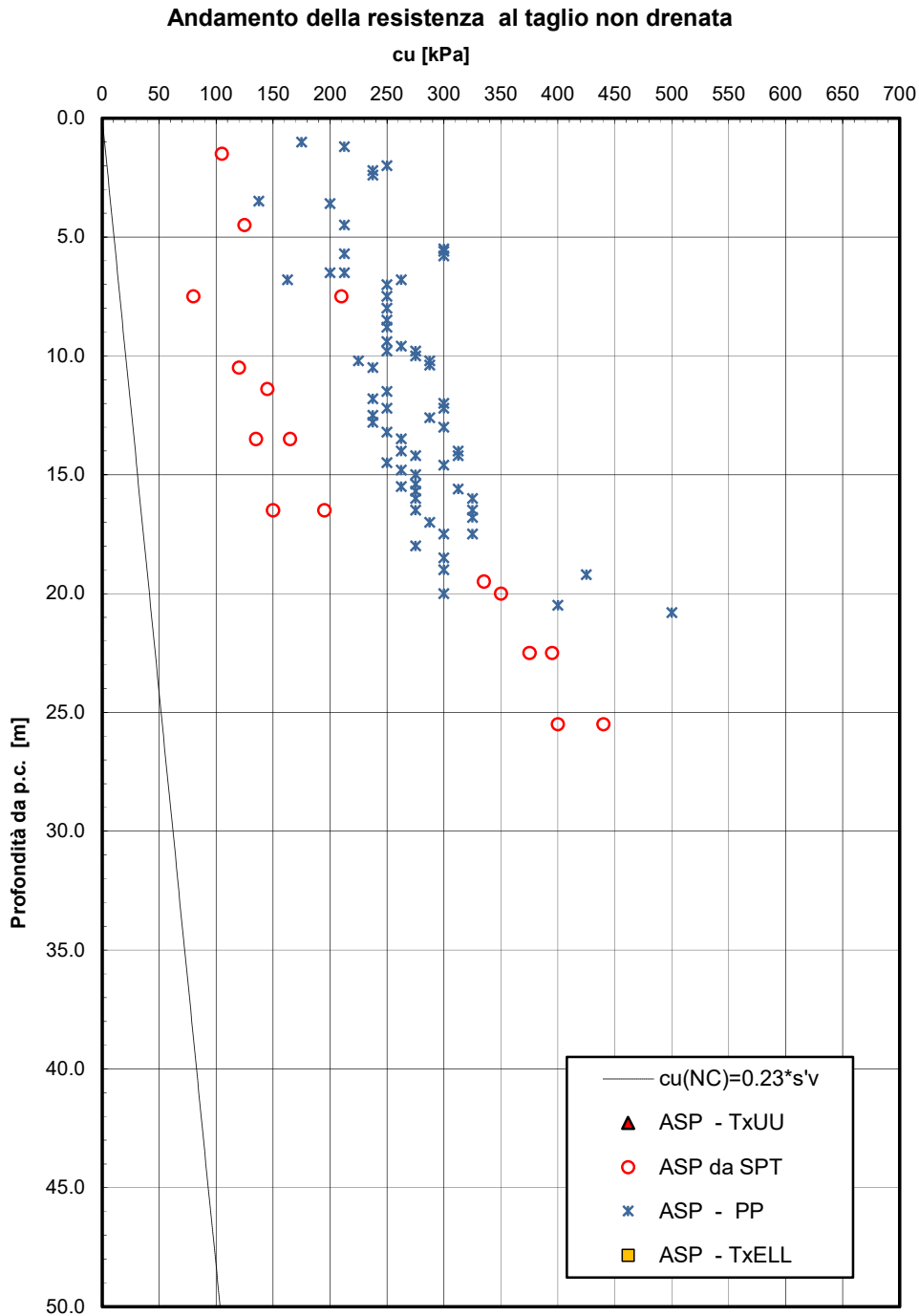
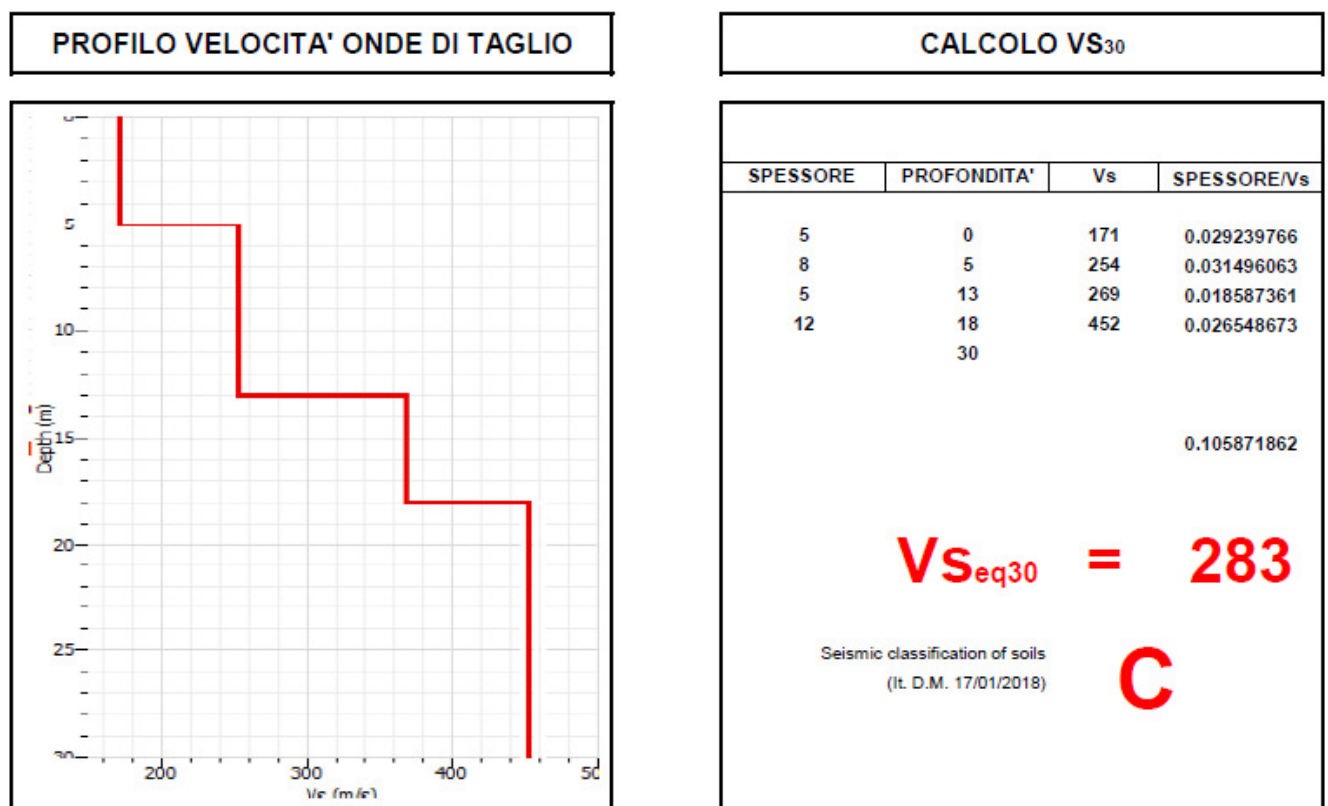


Figura 6 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate

3.4 Categoria di sottosuolo

Dall'indagine sismica Down-Hole (S4_DH_50) e dalla Masw 4 si definisce una categoria di sottosuolo sismica di tipo C con $V_{s,eq}$ rispettivamente di 229 m/s e 283 m/s (vedasi tabelle seguenti).

Tabella 1 – Masw4

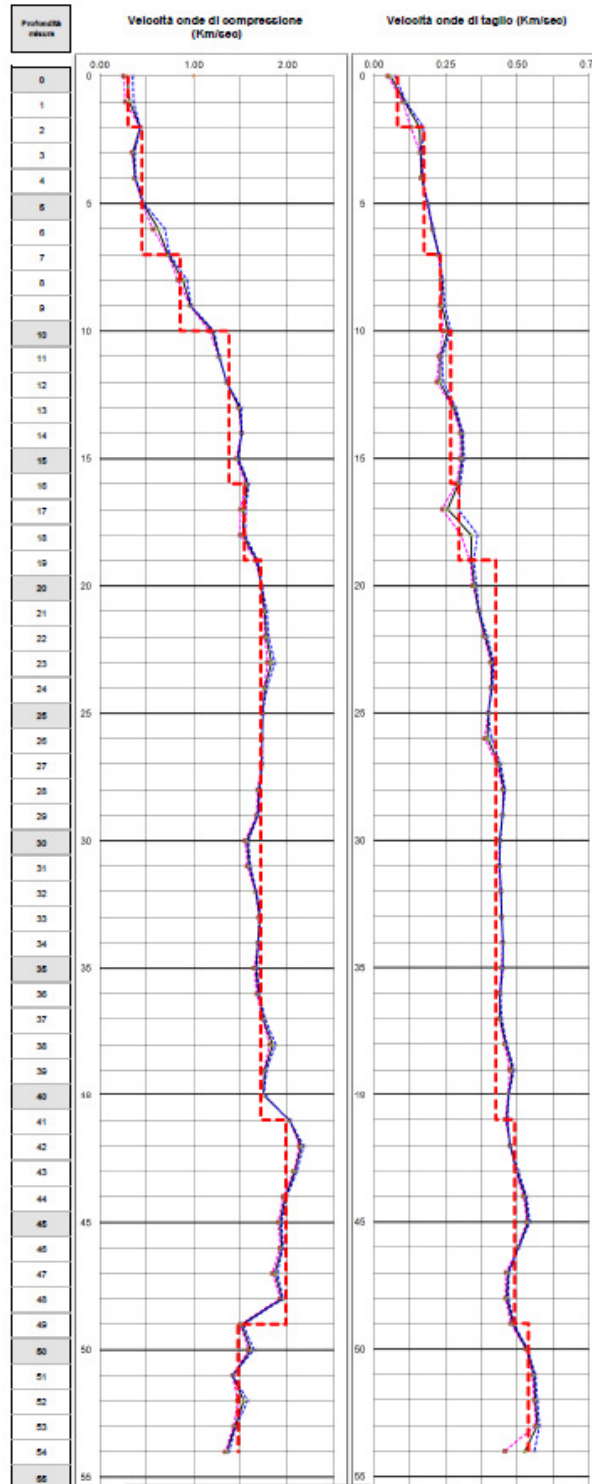


PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI03

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0300001	A	14 di 29

Tabella 2 – S4_DH_50



4. PALIFICATE DI FONDAZIONE

4.1 Capacità portante dei pali

Nel presente capitolo si riporta il calcolo 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 dal sondaggio eseguito che individua la presenza delle argille subappenniniche fino alla massima profondità investigata.

Nella seguente tabella si riporta la stratigrafia ed i parametri geotecnici principali per il calcolo della capacità portante dei pali della Spalla A e Pila 1.

Tabella 3 - VI03 – stratigrafia e parametri di calcolo SPA_P1

Profondità [m]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	C_u [kPa]	φ' [°]	q_b [kPa]
da 0.0 a 40.0	ASP	19.0	100÷150 (0.0 < z < 10 m) 150÷200 (10.0 < z < 20 m) 350 (20 < z < 40 m)	-	$9 \cdot c_u + \sigma_v$
Dove: γ = peso di volume naturale c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate φ' = angolo di resistenza al taglio q_b = portata limite di base 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. 1 verticale di indagine, da cui $\xi_3 = 1.70$,
- F_{SL} = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ($=\xi_3 \cdot \gamma_s = 1.96$).
- F_{SB} = fattore di sicurezza per la portata di base ($=\xi_3 \cdot \gamma_b = 2.3$).

Inoltre si è considerato cautelativamente:

- 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 4 – VI03 - Capacità portante palo SPA e P1 D=1200 mm - A1+M1+R3

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

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	1199.	0.	1199.	521.
.50	26.	1235.	3.	1257.	547.
1.00	56.	1271.	7.	1320.	574.
1.50	91.	1307.	10.	1388.	605.
2.00	131.	1344.	14.	1461.	637.
2.50	175.	1380.	17.	1538.	672.
3.00	224.	1416.	20.	1620.	710.
3.50	278.	1452.	24.	1706.	749.
4.00	336.	1488.	27.	1797.	791.
4.50	399.	1525.	31.	1893.	836.
5.00	467.	1561.	34.	1993.	883.
5.50	539.	1597.	37.	2098.	932.
6.00	616.	1633.	41.	2208.	984.
6.50	697.	1669.	44.	2323.	1038.
7.00	784.	1706.	48.	2442.	1094.
7.50	875.	1742.	51.	2566.	1153.
8.00	971.	1778.	54.	2694.	1214.
8.50	1071.	1815.	58.	2828.	1278.
9.00	1177.	1851.	61.	2967.	1344.
9.50	1287.	1888.	64.	3110.	1413.
10.00	1403.	1924.	68.	3259.	1484.
10.50	1523.	1961.	71.	3413.	1558.
11.00	1648.	1997.	75.	3571.	1635.
11.50	1775.	2033.	78.	3731.	1712.
12.00	1905.	2070.	81.	3893.	1790.
12.50	2036.	2106.	85.	4057.	1870.
13.00	2168.	2143.	88.	4223.	1950.
13.50	2303.	2179.	92.	4391.	2031.
14.00	2440.	2216.	95.	4561.	2113.
14.50	2578.	2252.	98.	4732.	2196.
15.00	2719.	2289.	102.	4906.	2280.
15.50	2861.	2325.	105.	5081.	2366.
16.00	3005.	2362.	109.	5259.	2452.
16.50	3151.	2398.	112.	5438.	2539.
17.00	3299.	2435.	115.	5619.	2627.
17.50	3454.	2471.	119.	5807.	2718.
18.00	3643.	4009.	122.	7530.	3480.
18.50	3843.	4020.	126.	7737.	3583.
19.00	4047.	4031.	129.	7949.	3688.
19.50	4256.	4042.	132.	8166.	3796.
20.00	4470.	4053.	136.	8387.	3907.
20.50	4689.	4064.	139.	8614.	4020.
21.00	4912.	4075.	143.	8845.	4136.
21.50	5139.	4086.	146.	9079.	4252.
22.00	5365.	4097.	149.	9313.	4369.
22.50	5591.	4108.	153.	9547.	4486.
23.00	5817.	4119.	156.	9780.	4603.
23.50	6043.	4130.	159.	10014.	4720.
24.00	6270.	4141.	163.	10248.	4836.
24.50	6496.	4152.	166.	10482.	4953.
25.00	6722.	4163.	170.	10716.	5070.
25.50	6948.	4174.	173.	10950.	5187.
26.00	7174.	4185.	176.	11183.	5304.
26.50	7401.	4196.	180.	11417.	5421.
27.00	7627.	4208.	183.	11651.	5537.
27.50	7853.	4219.	187.	11885.	5654.
28.00	8079.	4230.	190.	12119.	5771.
28.50	8305.	4241.	193.	12353.	5888.
29.00	8532.	4252.	197.	12586.	6005.
29.50	8758.	4263.	200.	12820.	6121.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI03

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0300001	A	17 di 29

30.00	8984.	4274.	204.	13054.	6238.
30.50	9210.	4285.	207.	13288.	6355.
31.00	9436.	4296.	210.	13522.	6472.
31.50	9663.	4298.	214.	13746.	6585.
32.00	9889.	4298.	217.	13969.	6697.
32.50	10115.	4298.	221.	14192.	6809.
33.00	10341.	4298.	224.	14415.	6921.
33.50	10567.	4298.	227.	14638.	7033.
34.00	10793.	4298.	231.	14860.	7145.
34.50	11020.	4298.	234.	15083.	7257.
35.00	11246.	4298.	238.	15306.	7369.
35.50	11472.	4298.	241.	15529.	7481.
36.00	11698.	4298.	244.	15752.	7593.
36.50	11924.	4298.	248.	15974.	7705.
37.00	12151.	4298.	251.	16197.	7817.
37.50	12377.	4298.	254.	16420.	7929.

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 = $Ql1/FS,1 + Qb1/FS,b - Wp$

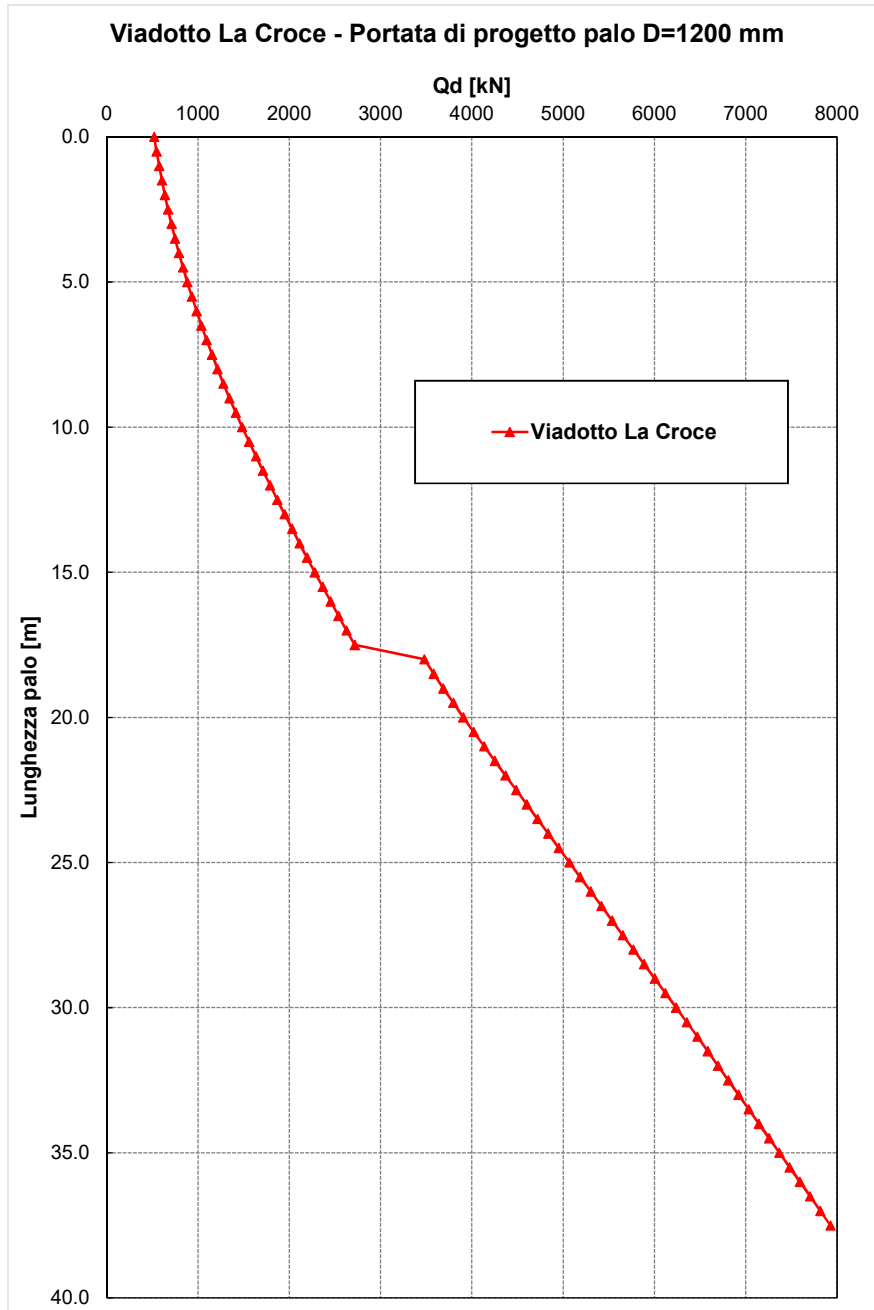


Figura 7 – Capacità portante palo D=1200 mm _ SPA e P1

PROGETTO DEFINITIVO

 Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
 VI03

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0300001	A	19 di 29

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 3;

$$E_{MR,max} = 120000 \text{ kN/m}^2.$$

Si riportano di seguito i profili del modulo di reazione orizzontale palo-terreno con la profondità da testa palo (2.5 m da p.c.):

Prof. m	E kN/m ²
.00	35000.0
7.50	52500.0
17.50	70000.0
17.51	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 i valori 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 32 m e applicando un taglio a testa palo $H_o=100$ kN.

Tabella 5 – VI03 - Valori di α_m

VI03	α_m [m]
D=1200mm	-2.2

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 6 – Andamento di taglio e momento lungo il palo D=1200 mm – VI03

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	100.00	-214.84	.600	.000	21.18
1.00	78.65	-125.50	.570	.055	21.28
2.00	58.02	-57.36	.498	.085	19.76
3.00	39.54	-8.92	.407	.095	17.08
4.00	24.08	22.48	.312	.093	13.82
5.00	11.96	40.09	.224	.082	10.45
6.00	3.10	47.22	.149	.068	7.28
7.00	-2.78	47.04	.089	.052	4.55
8.00	-6.37	42.28	.044	.038	2.34
9.60	-7.93	30.23	.000	.018	.00
11.20	-6.94	17.99	-.019	.006	-1.10
12.80	-4.92	8.42	-.022	-.001	-1.35
14.40	-2.89	2.24	-.018	-.004	-1.15
16.00	-1.23	-1.02	-.012	-.004	-.78
18.67	.07	-2.36	-.003	-.002	-.39
21.33	.45	-1.28	.000	-.001	.04
24.00	.23	-.29	.001	.000	.09
28.00	.01	.08	.000	.000	.03
32.00	.00	.00	.000	.000	-.02

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 $FS = \gamma_T \cdot \xi_3 = 1.30 \cdot 1.7 = 2.21$ (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: $H_d = H_{lim} / 2.21$.

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]
Spalle	1200	32	235	3224.15	1458.9
Pile	1200	32	235	1669.98	755.6

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 $q_{c1N} > 180$ 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_{c1N} 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 8 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 9 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

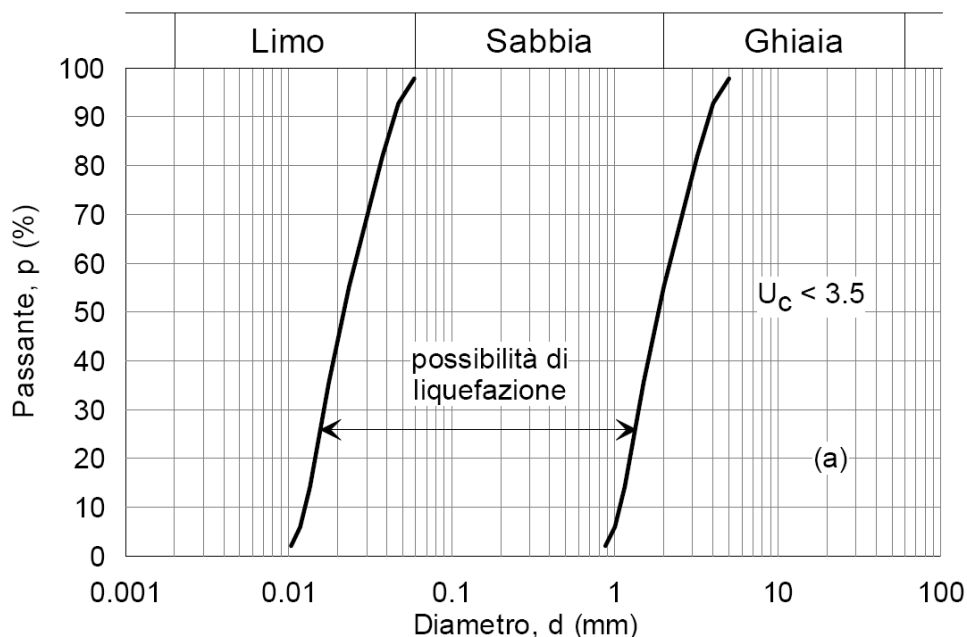


Figura 8. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c < 3.5$

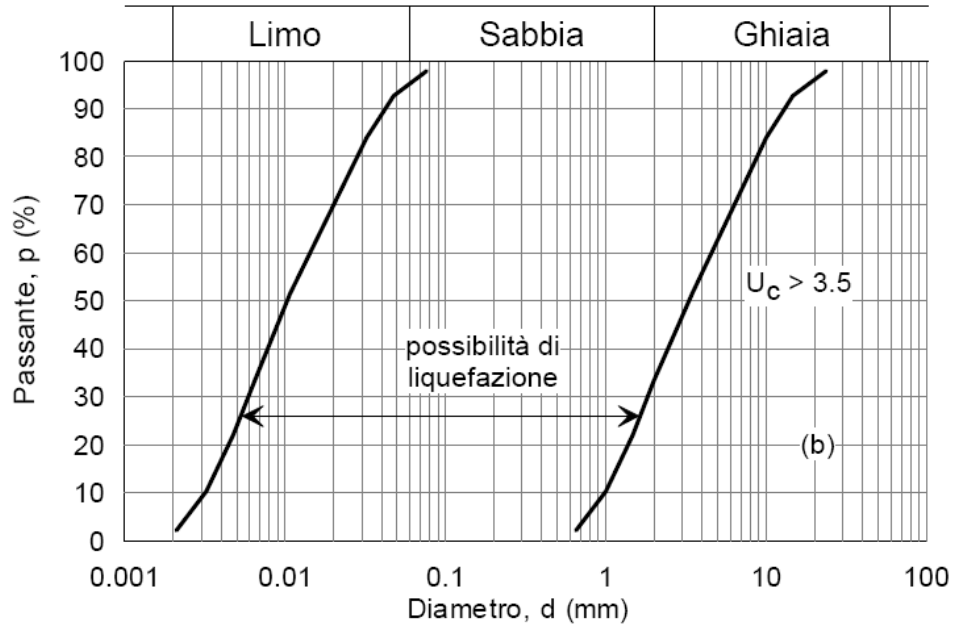


Figura 9. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c > 3.5$

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.

6. APPENDICE A: VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' PORTANTE DEI PALI. TABULATI DI CALCOLO PAL

6.1 Palo D=1200 mm_SPA e P1

*** P A L ***
Programma per l'analisi della capacita' portante
assiale di un palo di fondazione

(C) G.Guiducci - Studio SINTESI (RN - Italy)
ottobre 2006

pag./ 2

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

Quota testa palo da p.c. = 2.50 m
Quota falda da p.c. = .00 m
Peso di volume del palo = 6.00 kN/m3
Fattore di sicurezza portata laterale = 1.96 (FS,l)
Fattore di sicurezza portata di base = 2.30 (FS,b)

Elemento cilindrico, Diametro fusto = 1200. mm

pag./ 3

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

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 1 "ASP " (Coesivo) da .00 a 10.00 m

Gn = 19.0 kN/m3 Ge = 9.0 kN/m3

Tau = alfa * Cu < 120.0 kPa Criterio alfa(Cu) nel seguito
 Tau > .23 * S'v
 Tau < .55 * S'v

Qb = 9.0 * Cu + Sv

Cu variabile lin. da 100.0 a 150.0 kPa

Strato 2 "ASP " (Coesivo) da 10.00 a 20.00 m

Gn = 19.5 kN/m3 Ge = 9.5 kN/m3

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI03

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0300001	A	25 di 29

$\tau = \alpha \cdot C_u < 120.0 \text{ kPa}$
Criterio $\alpha(C_u)$ nel seguito

$\tau > .23 \cdot S'v$
 $\tau < .55 \cdot S'v$

$Q_b = 9.0 \cdot C_u + S_v$

C_u variabile lin. da 150.0 a 200.0 kPa

Strato 3 "ASP " (Coesivo) da 20.00 a 40.00 m

$G_n = 19.5 \text{ kN/m}^3$ $G_e = 9.5 \text{ kN/m}^3$

$\tau = \alpha \cdot C_u < 120.0 \text{ kPa}$
Criterio $\alpha(C_u)$ nel seguito

$\tau > .23 \cdot S'v$
 $\tau < .55 \cdot S'v$

$Q_b = 9.0 \cdot C_u + S_v < 3800. \text{ kPa}$

C_u variabile lin. da 350.0 a 350.0 kPa

pag./ 4

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

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. τ	Molt. Q_b	Molt. C_u
1 "ASP "	1.00	1.00	1.00
2 "ASP "	1.00	1.00	1.00
3 "ASP "	1.00	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

pag./ 5

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI03

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0300001	A	26 di 29

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	112.5	.55	12.4	1060.
3.00	27.0	57.0	115.0	.55	14.9	1092.
3.50	31.5	66.5	117.5	.55	17.3	1124.
4.00	36.0	76.0	120.0	.55	19.8	1156.
4.50	40.5	85.5	122.5	.55	22.3	1188.
5.00	45.0	95.0	125.0	.55	24.8	1220.
5.50	49.5	104.5	127.5	.55	27.2	1252.
6.00	54.0	114.0	130.0	.55	29.7	1284.
6.50	58.5	123.5	132.5	.55	32.2	1316.
7.00	63.0	133.0	135.0	.55	34.7	1348.
7.50	67.5	142.5	137.5	.55	37.1	1380.
8.00	72.0	152.0	140.0	.55	39.6	1412.
8.50	76.5	161.5	142.5	.55	42.1	1444.
9.00	81.0	171.0	145.0	.55	44.5	1476.
9.50	85.5	180.5	147.5	.55	47.0	1508.
10.00	90.0	190.0	150.0	.55	49.5	1540.
10.50	94.8	199.8	152.5	.55	52.1	1572.
11.00	99.5	209.5	155.0	.55	54.7	1605.
11.50	104.3	219.3	157.5	.55	57.3	1637.
12.00	109.0	229.0	160.0	.55	60.0	1669.
12.50	113.8	238.8	162.5	.55	62.6	1701.
13.00	118.5	248.5	165.0	.55	65.2	1734.
13.50	123.3	258.3	167.5	.54	67.0	1766.
14.00	128.0	268.0	170.0	.53	68.0	1798.
14.50	132.8	277.8	172.5	.52	69.0	1830.
15.00	137.5	287.5	175.0	.51	70.0	1863.
15.50	142.3	297.3	177.5	.50	71.0	1895.
16.00	147.0	307.0	180.0	.49	72.0	1927.
16.50	151.8	316.8	182.5	.48	73.0	1959.
17.00	156.5	326.5	185.0	.47	74.0	1992.
17.50	161.3	336.3	187.5	.47	75.0	2024.
18.00	166.0	346.0	190.0	.46	76.0	2056.
18.50	170.8	355.8	192.5	.45	77.0	2088.
19.00	175.5	365.5	195.0	.44	78.0	2121.
19.50	180.3	375.3	197.5	.44	79.0	2153.
20.00	185.0	385.0	200.0	.49	90.9	2185.
20.50	189.8	394.8	350.0	.55	104.4	3545.
21.00	194.5	404.5	350.0	.55	107.0	3555.
21.50	199.3	414.3	350.0	.55	109.6	3564.
22.00	204.0	424.0	350.0	.55	112.2	3574.
22.50	208.8	433.8	350.0	.55	114.8	3584.
23.00	213.5	443.5	350.0	.55	117.4	3594.
23.50	218.3	453.3	350.0	.55	120.0	3603.
24.00	223.0	463.0	350.0	.54	120.0	3613.
24.50	227.8	472.8	350.0	.53	120.0	3623.
25.00	232.5	482.5	350.0	.52	120.0	3633.
25.50	237.3	492.3	350.0	.51	120.0	3642.
26.00	242.0	502.0	350.0	.50	120.0	3652.
26.50	246.8	511.8	350.0	.49	120.0	3662.
27.00	251.5	521.5	350.0	.48	120.0	3672.
27.50	256.3	531.3	350.0	.47	120.0	3681.
28.00	261.0	541.0	350.0	.46	120.0	3691.
28.50	265.8	550.8	350.0	.45	120.0	3701.
29.00	270.5	560.5	350.0	.44	120.0	3711.
29.50	275.3	570.3	350.0	.44	120.0	3720.
30.00	280.0	580.0	350.0	.43	120.0	3730.
30.50	284.8	589.8	350.0	.42	120.0	3740.
31.00	289.5	599.5	350.0	.41	120.0	3750.
31.50	294.3	609.3	350.0	.41	120.0	3759.
32.00	299.0	619.0	350.0	.40	120.0	3769.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
VI03

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0300001	A	27 di 29

pag./ 7

LINEA FS FERRANDINA MATERA
VIADOTTO LA CROCE 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	303.8	628.8	350.0	.40	120.0	3779.
33.00	308.5	638.5	350.0	.39	120.0	3789.
33.50	313.3	648.3	350.0	.38	120.0	3798.
34.00	318.0	658.0	350.0	.38	120.0	3800.
34.50	322.8	667.8	350.0	.37	120.0	3800.
35.00	327.5	677.5	350.0	.37	120.0	3800.
35.50	332.3	687.3	350.0	.36	120.0	3800.
36.00	337.0	697.0	350.0	.36	120.0	3800.
36.50	341.8	706.8	350.0	.35	120.0	3800.
37.00	346.5	716.5	350.0	.35	120.0	3800.
37.50	351.3	726.3	350.0	.34	120.0	3800.
38.00	356.0	736.0	350.0	.34	120.0	3800.
38.50	360.8	745.8	350.0	.33	120.0	3800.
39.00	365.5	755.5	350.0	.33	120.0	3800.
39.50	370.3	765.3	350.0	.32	120.0	3800.
40.00	375.0	775.0	350.0	.32	120.0	3800.

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

pag./ 8

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

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	1199.	0.	1199.	521.
.50	26.	1235.	3.	1257.	547.
1.00	56.	1271.	7.	1320.	574.
1.50	91.	1307.	10.	1388.	605.
2.00	131.	1344.	14.	1461.	637.
2.50	175.	1380.	17.	1538.	672.
3.00	224.	1416.	20.	1620.	710.
3.50	278.	1452.	24.	1706.	749.
4.00	336.	1488.	27.	1797.	791.
4.50	399.	1525.	31.	1893.	836.
5.00	467.	1561.	34.	1993.	883.
5.50	539.	1597.	37.	2098.	932.
6.00	616.	1633.	41.	2208.	984.
6.50	697.	1669.	44.	2323.	1038.
7.00	784.	1706.	48.	2442.	1094.
7.50	875.	1742.	51.	2566.	1153.
8.00	971.	1778.	54.	2694.	1214.
8.50	1071.	1815.	58.	2828.	1278.
9.00	1177.	1851.	61.	2967.	1344.
9.50	1287.	1888.	64.	3110.	1413.
10.00	1403.	1924.	68.	3259.	1484.
10.50	1523.	1961.	71.	3413.	1558.
11.00	1648.	1997.	75.	3571.	1635.
11.50	1775.	2033.	78.	3731.	1712.
12.00	1905.	2070.	81.	3893.	1790.

PROGETTO DEFINITIVO

 Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni
 VI03

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0300001	A	28 di 29

12.50	2036.	2106.	85.	4057.	1870.
13.00	2168.	2143.	88.	4223.	1950.
13.50	2303.	2179.	92.	4391.	2031.
14.00	2440.	2216.	95.	4561.	2113.
14.50	2578.	2252.	98.	4732.	2196.

pag./ 9

 LINEA FS FERRANDINA MATERA
 VIADOTTO LA CROCE 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
15.00	2719.	2289.	102.	4906.	2280.
15.50	2861.	2325.	105.	5081.	2366.
16.00	3005.	2362.	109.	5259.	2452.
16.50	3151.	2398.	112.	5438.	2539.
17.00	3299.	2435.	115.	5619.	2627.
17.50	3454.	2471.	119.	5807.	2718.
18.00	3643.	4009.	122.	7530.	3480.
18.50	3843.	4020.	126.	7737.	3583.
19.00	4047.	4031.	129.	7949.	3688.
19.50	4256.	4042.	132.	8166.	3796.
20.00	4470.	4053.	136.	8387.	3907.
20.50	4689.	4064.	139.	8614.	4020.
21.00	4912.	4075.	143.	8845.	4136.
21.50	5139.	4086.	146.	9079.	4252.
22.00	5365.	4097.	149.	9313.	4369.
22.50	5591.	4108.	153.	9547.	4486.
23.00	5817.	4119.	156.	9780.	4603.
23.50	6043.	4130.	159.	10014.	4720.
24.00	6270.	4141.	163.	10248.	4836.
24.50	6496.	4152.	166.	10482.	4953.
25.00	6722.	4163.	170.	10716.	5070.
25.50	6948.	4174.	173.	10950.	5187.
26.00	7174.	4185.	176.	11183.	5304.
26.50	7401.	4196.	180.	11417.	5421.
27.00	7627.	4208.	183.	11651.	5537.
27.50	7853.	4219.	187.	11885.	5654.
28.00	8079.	4230.	190.	12119.	5771.
28.50	8305.	4241.	193.	12353.	5888.
29.00	8532.	4252.	197.	12586.	6005.
29.50	8758.	4263.	200.	12820.	6121.
30.00	8984.	4274.	204.	13054.	6238.
30.50	9210.	4285.	207.	13288.	6355.
31.00	9436.	4296.	210.	13522.	6472.
31.50	9663.	4298.	214.	13746.	6585.
32.00	9889.	4298.	217.	13969.	6697.
32.50	10115.	4298.	221.	14192.	6809.
33.00	10341.	4298.	224.	14415.	6921.
33.50	10567.	4298.	227.	14638.	7033.
34.00	10793.	4298.	231.	14860.	7145.
34.50	11020.	4298.	234.	15083.	7257.
35.00	11246.	4298.	238.	15306.	7369.
35.50	11472.	4298.	241.	15529.	7481.
36.00	11698.	4298.	244.	15752.	7593.
36.50	11924.	4298.	248.	15974.	7705.
37.00	12151.	4298.	251.	16197.	7817.
37.50	12377.	4298.	254.	16420.	7929.

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 = $Q11/FS,1 + Qb1/FS,b - Wp$

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

7.1 D=1200 mm

LINEA FERRANDINA MATERA
VI LA CROCE D1200

Lunghezza palo Lp = 32.00 m
 Diametro palo D = 1.20 m
 Modulo elastico palo Ep = 30000000. kPa
 Rigidezza flessionale palo EJ = 3053629. kN*m²

Definizione del modulo di reazione del terreno E

Prof. m	E kN/m ²
.00	35000.0
7.50	52500.0
17.50	70000.0
17.51	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	100.00	-214.84	.600	.000	21.18
1.00	78.65	-125.50	.570	.055	21.28
2.00	58.02	-57.36	.498	.085	19.76
3.00	39.54	-8.92	.407	.095	17.08
4.00	24.08	22.48	.312	.093	13.82
5.00	11.96	40.09	.224	.082	10.45
6.00	3.10	47.22	.149	.068	7.28
7.00	-2.78	47.04	.089	.052	4.55
8.00	-6.37	42.28	.044	.038	2.34
9.60	-7.93	30.23	.000	.018	.00
11.20	-6.94	17.99	-.019	.006	-1.10
12.80	-4.92	8.42	-.022	-.001	-1.35
14.40	-2.89	2.24	-.018	-.004	-1.15
16.00	-1.23	-1.02	-.012	-.004	-.78
18.67	.07	-2.36	-.003	-.002	-.39
21.33	.45	-1.28	.000	-.001	.04
24.00	.23	-.29	.001	.000	.09
28.00	.01	.08	.000	.000	.03
32.00	.00	.00	.000	.000	-.02