

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA

OPERE PRINCIPALI – PONTI E VIADOTTI

VI14 - Ponte ferroviario a Singolo Binario - Ltot=55 m

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

SCALA:

-

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


RS3E 50 D 09 RH VI1403 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autocollato	Data
A	Emissione esecutiva	S.Gasperoni	Novembre 2019	M.E. D'Effremo	Novembre 2019	F.Sparacino	Novembre 2019		

ITALFERR S.p.A.
 U.O. Opere Civili e Gestione delle Varianti
 Dott. Ing. Roberto Villozzi
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
 N° A/20763

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	6
3.3	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	7
3.4	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	7
4.	PALIFICATE DI FONDAZIONE	8
4.1	CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI.....	8
4.1.1	<i>Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo.....</i>	8
4.1.2	<i>Calcolo della capacità portante</i>	8
4.2	MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO.....	14
4.3	MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO.....	14
4.4	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE AI CARICHI VERTICALI SINGOLO PALO	16
4.5	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI	16
4.6	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE GRUPPO DI PALI	17
4.7	STIMA CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI.....	18
5.	APPENDICE A: VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI. TABULATI DI CALCOLO PAL ..	20
5.1	COMPRESSIONE. PALO D=1500 MM	20
5.2	TRAZIONE. PALO D=1500 MM	26
6.	APPENDICE B: VALUTAZIONE DEL MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO. TABULATI DI CALCOLO MR.....	33
6.1	D=1500 MM	33

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI1403 001	REV. A	FOGLIO 3 di 34

1. PREMESSA

Nella presente relazione si riporta il dimensionamento delle fondazioni del Viadotto VI14 nell'ambito del Progetto Definitivo lotto 5 della tratta denominata Dittaino – Catenanuova relativa al Nuovo Collegamento ferroviario Palermo-Catania.

In particolare verranno affrontati i seguenti aspetti:

- condizioni geotecniche;
- valutazione della capacità portante verticale dei pali di fondazione;
- definizione del modulo di reazione orizzontale palo-terreno;
- valutazione del momento adimensionale lungo il palo e del parametro alfa (rapporto momento taglio in testa palo nell'ipotesi di rotazione impedita);
- verifica capacità portante ai carichi verticali del singolo palo;
- verifica a carico limite orizzontale dei pali;
- verifica capacità portante gruppo di pali;
- stima dei cedimenti delle fondazioni.

Tutte le analisi svolte nel seguito sono eseguite in conformità alla normativa italiana vigente sulle opere civili (DM 14/01/2008).

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI1403 001	REV. A	FOGLIO 4 di 34

2. **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

2.1 **Normativa di riferimento**

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-2008 (NTC-2008).
- [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]. RS0L 00 D78 RH GE0005 001B - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa. Progetto Definitivo. Relazione geotecnica generale.
- [DC2]. Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa. Progetto Definitivo. Profilo longitudinale geotecnico.
- [DC3]. RS3E 50 D 09 RB VI0000 001 A - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa. Progetto Definitivo. Relazione Tecnico-Descrittiva – Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni profonde.

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.

La stratigrafia di riferimento finalizzata al dimensionamento delle palificate di fondazione è rappresentata nel profilo stratigrafico longitudinale [DC2].

Per maggiori dettagli sulla caratterizzazione geotecnica si rimanda alla Relazione geotecnica generale (doc. rif. [DC1]).

3.1 Indagini geotecniche eseguite

Nelle vicinanze dell'opera sono state eseguite le indagini in sito elencate nella tabella seguente, di cui il sondaggio D15 più vicino all'opera è utilizzato per la stratigrafia; le altre indagini per la caratterizzazione geotecnica delle unità comuni.

INDAGINI IN SITO									
Sondaggi / pozzetti	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	n. campioni litoidi	N. prove SPT	n. prove Lefranc /Lugeon	n. prove pressiometriche	Piezometro TA; CC
D15	30.0	184.2	3	10	-	5	2	2	TA[3÷18]
S8	30.0	185.3	1	7	-	4	1	-	TA[3÷12]
TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]									

Inoltre è disponibile l'indagine sismica MASW-VI06.

Le misure piezometriche forniscono nell'area un livello massimo di falda a quota +173 m s.l.m. (D15).

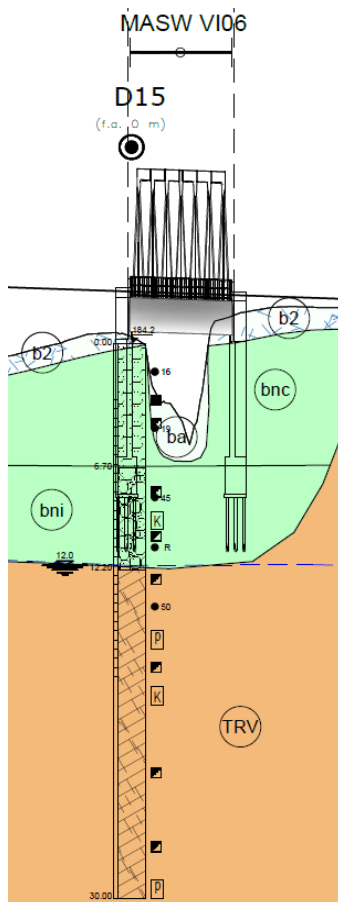
3.2 Stratigrafia

In accordo a quanto riportato anche negli elaborati geologici (planimetria e profilo) si definisce la seguente stratigrafia per l'opera in progetto; questa è definita da un p.c. a quota +184 m s.l.m..

STRATIGRAFIA		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
b2	Limi argilloso sabbiosi Depositi eluvio colluviali	0.0÷1.0
bnc	Alluvioni terrazzate coesive	1.0÷7.0
bni	Alluvioni terrazzate incoerenti	7.0÷12.5
TRV	Argilla marnosa Formazione Terravecchia	12.5÷40.0

FALDA: +173 m s.l.m.

Di seguito si riporta uno stralcio del profilo geotecnico:



3.3 Categoria di sottosuolo

Dall'indagine sismica Masw-VI06 si definisce una categoria di sottosuolo sismica di tipo E.

3.4 Sintesi dei parametri geotecnici di progetto

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

Tabella 1 – VI14 – Parametri geotecnici

	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	V_s [m/s]	G_o [MPa]	E_o [MPa]	$E'_{op,1}$ [MPa]	$E'_{op,2}$ [MPa]
b2	19.0	-	0	25	120(*)	30	70	$E_o / 3$	$E_o / 10$
bnc	19.5	100	0	25	200÷300(*)	80÷170	200÷450	$E_o / 3$	$E_o / 10$
bni	19.5	-	0	35	300÷400(*)	150÷300	300÷700	$E_o / 3$	$E_o / 10$
TRV	20.5	180 (z<20 m) 300 (z>20 m)	5	24	410÷830 (*)	325÷1000	500÷1000	$E_o / 3$	$E_o / 10$

Dove:

γ = peso di volume naturale

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

V_s = velocità delle onde di taglio

G_o = modulo di deformazione a taglio iniziale, ovvero a piccole deformazioni

E_o = modulo di deformazione elastico iniziale, ovvero a piccole deformazioni

$E'_{op,1}$ = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette

$E'_{op,2}$ = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti dei rilevati.

(*) da indagine sismica Masw.

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 sono riportate nella Relazione Tecnico-Descrittiva – Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni profonde (doc. rif. [DC3]).

4.1.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

Nella seguente tabella si riportano la stratigrafia ed i parametri geotecnici principali per il calcolo della capacità portante dei pali dell'opera in esame. La stratigrafia per il calcolo della capacità portante dei pali è stata definita con riferimento a quota p.c. + 178 m s.l.m..

Tabella 2 – VI14 – Parametri geotecnici

Profondità [m]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	cu [kPa]	φ' [°]	qb [kPa]
da 0.0 a 1.0	bnc	19.5	100	-	$9 \cdot cu + \sigma_v$
da 1.0 a 6.5	bni	19.5	-	38	$23 \cdot \sigma'_v \leq 5800$
da 6.5 a 40.0	TRV	20.5	180 z<21m 300 z>21m	-	$9 \cdot cu + \sigma_v$

Dove:
 γ = peso di volume naturale
cu = resistenza al taglio in condizioni non drenate
 φ' = angolo di resistenza al taglio
qb = 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 di grande diametro D=1500 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 ($=\xi_3 \cdot \gamma_s = 1.96$).
- $F_{SL,t}$ = fattore di sicurezza per la portata laterale a trazione ($=\xi_3 \cdot \gamma_{st} = 2.13$).
- F_{SB} = fattore di sicurezza per la portata di base ($=\xi_3 \cdot \gamma_b = 2.3$).

Quindi per la verifica di capacità portante del palo si dovranno verificare le seguenti due condizioni:

- $N_{max,SLU} < Q_d$, la massima sollecitazione assiale (sia statica, che sismica) allo SLU dovrà essere inferiore alla portata di progetto del palo (riportata nelle seguenti tabelle);
- $N_{max,SLE} < Q_{II} / 1.25$ la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA dovrà essere inferiore alla portata laterale limite del palo (Q_{II} , riportata nelle seguenti tabelle) con un fattore di sicurezza di 1.25.

Inoltre si è considerato cautelativamente:

- testa palo a 2 m di profondità da p.c.;
- falda a 2 m da p.c..

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

Tabella 3– VI14 – Capacità portante palo D=1500 mm - A1+M1+R3 Compressione

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacità portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA capacità portante e relativi contributi

Lp m	Q _{II} kN	Q _{bI} kN	W _p kN	Q _u kN	Q _d kN
.00	0.	1585.	0.	1585.	689.
.50	53.	1752.	5.	1800.	784.
1.00	113.	1919.	11.	2021.	881.
1.50	178.	2086.	16.	2248.	982.
2.00	250.	2253.	21.	2481.	1086.
2.50	328.	2419.	27.	2721.	1193.
3.00	412.	2586.	32.	2966.	1303.
3.50	502.	2753.	37.	3218.	1416.
4.00	598.	2920.	42.	3475.	1532.
4.50	711.	3087.	48.	3750.	1657.
5.00	890.	3105.	53.	3942.	1751.
5.50	1080.	3123.	58.	4145.	1851.
6.00	1272.	3141.	64.	4350.	1951.
6.50	1466.	3159.	69.	4556.	2052.
7.00	1660.	3177.	74.	4763.	2154.
7.50	1856.	3195.	80.	4972.	2257.
8.00	2053.	3214.	85.	5182.	2360.
8.50	2251.	3232.	90.	5393.	2463.
9.00	2450.	3250.	95.	5605.	2568.
9.50	2651.	3268.	101.	5818.	2673.
10.00	2853.	3286.	106.	6033.	2778.
10.50	3056.	3304.	111.	6249.	2885.
11.00	3261.	3322.	117.	6466.	2991.
11.50	3466.	3340.	122.	6685.	3099.
12.00	3673.	3358.	127.	6904.	3207.
12.50	3881.	3377.	133.	7125.	3316.
13.00	4090.	3395.	138.	7347.	3425.
13.50	4301.	3413.	143.	7571.	3535.
14.00	4513.	3431.	148.	7795.	3646.
14.50	4726.	3449.	154.	8021.	3757.
15.00	4940.	3467.	159.	8248.	3869.
15.50	5156.	3485.	164.	8476.	3981.
16.00	5372.	3503.	170.	8706.	4095.
16.50	5590.	3521.	175.	8937.	4208.
17.00	5809.	3540.	180.	9169.	4323.

17.50	6030.	3558.	186.	9402.	4438.
18.00	6252.	3576.	191.	9637.	4553.
18.50	6475.	3594.	196.	9872.	4670.
19.00	6706.	3612.	201.	10117.	4790.
19.50	6981.	3842.	207.	10617.	5026.
20.00	7264.	4072.	212.	11124.	5265.
20.50	7547.	4303.	217.	11632.	5504.
21.00	7830.	4533.	223.	12140.	5743.
21.50	8112.	4763.	228.	12647.	5982.
22.00	8395.	4993.	233.	13155.	6221.
22.50	8678.	5223.	239.	13663.	6460.
23.00	8961.	5453.	244.	14170.	6699.
23.50	9243.	5684.	249.	14678.	6938.
24.00	9526.	5702.	254.	14973.	7085.
24.50	9809.	5720.	260.	15269.	7232.
25.00	10092.	5738.	265.	15564.	7378.
25.50	10374.	5756.	270.	15860.	7525.
26.00	10657.	5774.	276.	16156.	7672.
26.50	10940.	5792.	281.	16451.	7819.
27.00	11223.	5810.	286.	16747.	7966.
27.50	11505.	5828.	292.	17042.	8113.
28.00	11788.	5847.	297.	17338.	8259.
28.50	12071.	5865.	302.	17633.	8406.
29.00	12354.	5883.	307.	17929.	8553.
29.50	12636.	5901.	313.	18224.	8700.
30.00	12919.	5919.	318.	18520.	8847.
30.50	13202.	5937.	323.	18816.	8994.
31.00	13485.	5955.	329.	19111.	9140.
31.50	13767.	5973.	334.	19407.	9287.
32.00	14050.	5992.	339.	19702.	9434.
32.50	14333.	6010.	345.	19998.	9581.
33.00	14616.	6028.	350.	20293.	9728.
33.50	14898.	6046.	355.	20589.	9875.
34.00	15181.	6064.	360.	20884.	10021.
34.50	15464.	6082.	366.	21180.	10168.
35.00	15746.	6100.	371.	21476.	10315.
35.50	16029.	6118.	376.	21771.	10462.
36.00	16312.	6136.	382.	22067.	10609.
36.50	16595.	6155.	387.	22362.	10756.
37.00	16877.	6173.	392.	22658.	10902.
37.50	17160.	6191.	398.	22953.	11049.
38.00	17443.	6209.	403.	23249.	11196.

Ip = Lunghezza utile del palo

Q1l = Portata laterale limite

Qb1 = Portata di base limite

Wp = Peso efficace del palo

Qu = Portata totale limite

Qd = Portata di progetto = $Q1l/FS,1 + Qb1/FS,b - Wp$

Tabella 4– VI14 – Capacità portante palo D=1500 mm - A1+M1+R3 Trazione

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14

Capacità portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

STAMPA capacità portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	0.	0.	0.	0.
.50	38.	0.	-13.	51.	31.
1.00	81.	0.	-27.	107.	64.
1.50	127.	0.	-40.	167.	100.
2.00	179.	0.	-53.	232.	137.
2.50	234.	0.	-66.	300.	176.
3.00	294.	0.	-80.	374.	218.
3.50	358.	0.	-93.	451.	261.
4.00	427.	0.	-106.	533.	307.
4.50	514.	0.	-119.	634.	361.
5.00	690.	0.	-133.	822.	456.
5.50	880.	0.	-146.	1026.	559.
6.00	1072.	0.	-159.	1231.	663.
6.50	1266.	0.	-172.	1438.	767.
7.00	1460.	0.	-186.	1646.	871.
7.50	1656.	0.	-199.	1855.	976.
8.00	1853.	0.	-212.	2065.	1082.
8.50	2051.	0.	-225.	2276.	1188.
9.00	2250.	0.	-239.	2489.	1295.
9.50	2451.	0.	-252.	2703.	1403.
10.00	2653.	0.	-265.	2918.	1511.
10.50	2856.	0.	-278.	3134.	1619.
11.00	3060.	0.	-292.	3352.	1728.
11.50	3266.	0.	-305.	3571.	1838.
12.00	3473.	0.	-318.	3791.	1949.
12.50	3681.	0.	-331.	4012.	2060.
13.00	3890.	0.	-345.	4235.	2171.
13.50	4101.	0.	-358.	4459.	2283.
14.00	4313.	0.	-371.	4684.	2396.
14.50	4526.	0.	-384.	4910.	2509.
15.00	4740.	0.	-398.	5138.	2623.
15.50	4955.	0.	-411.	5366.	2737.
16.00	5172.	0.	-424.	5596.	2852.
16.50	5390.	0.	-437.	5828.	2968.
17.00	5609.	0.	-451.	6060.	3084.
17.50	5830.	0.	-464.	6294.	3201.
18.00	6052.	0.	-477.	6529.	3318.
18.50	6274.	0.	-490.	6765.	3436.
19.00	6506.	0.	-504.	7010.	3558.
19.50	6781.	0.	-517.	7298.	3701.
20.00	7064.	0.	-530.	7594.	3847.
20.50	7347.	0.	-543.	7890.	3993.
21.00	7630.	0.	-557.	8186.	4139.
21.50	7912.	0.	-570.	8482.	4285.
22.00	8195.	0.	-583.	8778.	4431.
22.50	8478.	0.	-596.	9074.	4577.
23.00	8761.	0.	-610.	9370.	4723.
23.50	9043.	0.	-623.	9666.	4869.
24.00	9326.	0.	-636.	9962.	5015.
24.50	9609.	0.	-649.	10258.	5161.
25.00	9892.	0.	-663.	10554.	5307.
25.50	10174.	0.	-676.	10850.	5453.
26.00	10457.	0.	-689.	11146.	5599.
26.50	10740.	0.	-702.	11442.	5745.
27.00	11023.	0.	-716.	11738.	5891.
27.50	11305.	0.	-729.	12034.	6037.
28.00	11588.	0.	-742.	12330.	6183.
28.50	11871.	0.	-755.	12626.	6329.
29.00	12154.	0.	-769.	12922.	6475.
29.50	12436.	0.	-782.	13218.	6621.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1403 001	A	12 di 34

30.00	12719.	0.	-795.	13514.	6767.
30.50	13002.	0.	-808.	13810.	6913.
31.00	13284.	0.	-822.	14106.	7059.
31.50	13567.	0.	-835.	14402.	7205.
32.00	13850.	0.	-848.	14698.	7351.
32.50	14133.	0.	-861.	14994.	7497.
33.00	14415.	0.	-875.	15290.	7643.
33.50	14698.	0.	-888.	15586.	7789.
34.00	14981.	0.	-901.	15882.	7935.
34.50	15264.	0.	-914.	16178.	8081.
35.00	15546.	0.	-928.	16474.	8227.
35.50	15829.	0.	-941.	16770.	8373.
36.00	16112.	0.	-954.	17066.	8519.
36.50	16395.	0.	-968.	17362.	8665.
37.00	16677.	0.	-981.	17658.	8811.
37.50	16960.	0.	-994.	17954.	8957.
38.00	17243.	0.	-1007.	18250.	9103.

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

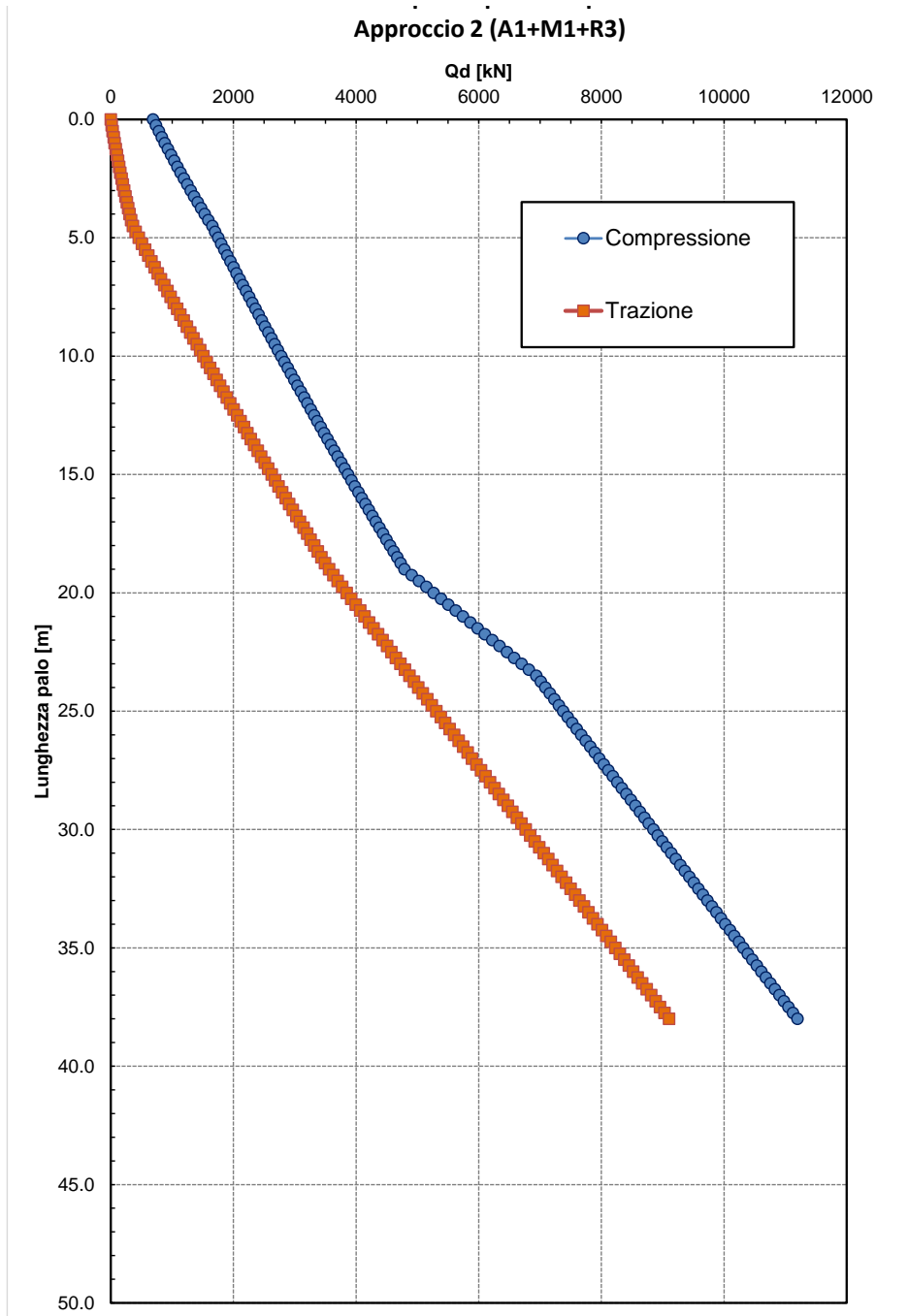


Figura 1 – Capacità portante palo D=1500 mm

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 Tecnico-Descrittiva – Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni profonde (doc. rif. [DC3]).

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

- nei depositi coesivi $\xi = 350$;
- nelle alluvioni incoerenti ghiaiose $kh = 8000 \text{ kN/m}^3$.

Quindi considerando la stratigrafia ed i parametri geotecnici, precedentemente esposti, si ottiene il seguente profilo del modulo di reazione orizzontale palo-terreno, definito da testa palo (a 2.0 m da p.c. locale):

Prof. m	E kN/m ²
.000	16000.00
4.500	52000.00
4.510	63000.00
19.000	63000.00
19.100	105000.00
40.000	105000.00

Nell'analisi delle fondazioni, tale profilo del modulo di reazione orizzontale palo-terreno, è stato cautelativamente fattorizzato con coefficiente pari a 0.8 per tenere conto che la deformabilità dei pali in gruppo è maggiore della deformabilità del singolo palo immerso nello stesso terreno.

4.3 Momento adimensionale lungo il palo

Per ricavare il momento adimensionalizzato lungo il fusto del palo 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} , che verrà definito nel seguente paragrafo), si ricorre al metodo degli elementi finiti, adimensionalizzando la soluzione come segue:

$$M_0 = \alpha_m \cdot H_0$$

$$M(z) = M_0 \cdot M_{ad}(z)$$

essendo:

H_0 = azione tagliante in testa palo [F];

M_0 = azione flettente, conseguente ad H_0 , in testa al palo;

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

M_{ad} = momento flettente adimensionale lungo il fusto del palo.

Le metodologie di calcolo sono riportate nella Relazione Tecnico-Descrittiva – Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni profonde (doc. rif. [DC3]).

Nella seguente tabella si riportano i valori del parametro alfa (α_m) ed a seguire il momento adimensionale lungo il palo. La valutazione è stata fatta con riferimento ad una lunghezza palo indicativa di 30m.

Tabella 5 – VI14 – Valori di α_m

VI14	α_m [m]
D=1500mm	3.14

I tabulati di calcolo sono riportati in **Appendice B**.

Tabella 6 Momento adimensionale lungo il palo D=1500 mm

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI14 D=1500

Momento adimensionale lungo il fusto del palo
con sommità impedita di ruotare

z m	Mad -
.000	1.0000
.938	.7137
1.875	.4579
2.813	.2396
3.750	.0625
4.688	-.0725
5.625	-.1624
6.563	-.2143
7.500	-.2371

VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1403 001	A	16 di 34

9.000	-.2315
10.500	-.1971
12.000	-.1515
13.500	-.1061
15.000	-.0668
17.500	-.0202
20.000	.0054
22.500	.0118
26.250	.0053
30.000	.0000

Momento: $M(z) = M_o * Mad(z)$

4.4 Verifica capacità portante ai carichi verticali singolo palo

Nel presente paragrafo si riporta la verifica della capacità portante ai carichi verticali del singolo palo. La verifica di capacità portante è sempre soddisfatta in quanto la portata di progetto del singolo palo è sempre maggiore della massima sollecitazione assiale sia a compressione che a trazione. Inoltre si è anche verificato che, per la lunghezza palo di progetto, la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA sia inferiore alla portata laterale limite del palo (QII) con un fattore di sicurezza di 1.25.

Spalla/Pila	Nmax,c SLU/SLV [kN]	Qd,c [kN]	Nmax,t SLU/SLV [kN]	Qd,t [kN]	Nmax,c SLE [kN]	QII [kN]	Lpalo [kN]
Spalle	9129	9434	892	7351	6399	14050	32.0

Dove:

Nmax,c =sollecitazione assiale massima a compressione

Nmax,t =sollecitazione assiale massima a trazione

QII = portata laterale limite

Qd,c = portata di progetto a compressione

Qd,t = portata di progetto a trazione

4.5 Verifica a carico limite orizzontale dei pali

Per la verifica 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 Tecnico-Descrittiva – Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni profonde (doc. rif. [DC3]).

La verifica a carico limite è stata svolta includendo anche un fattore di effetto gruppo orizzontale di 0.8. In particolare il fattore di sicurezza di normativa per la verifica a carico orizzontale è $FS = \gamma_T \cdot \xi_3 = 1.30 \cdot 1.70 = 2.21$ (da normativa vigente per verifica A1+M1+R3 Includendo anche il fattore di effetto gruppo si ha: $FS_g = 2.76$).

Quindi la resistenza di progetto è valutata a partire dalla resistenza caratteristica (calcolata con Broms), fattorizzata con FSg, da cui: $H_d = H_{max} / 2.76$.

Il valore caratteristico della resistenza (Hk) è stato valutato con riferimento ad un momento di plasticizzazione My pari a 9640.7 kNm, considerando il diametro del palo D=1500 mm, l'armatura di 46+46φ26 e la combinazione di carico più gravosa (con taglio massimo associato a sollecitazione massima di trazione).

Nella seguente tabella sono esplicitati i termini della verifica da cui si evince che la verifica è soddisfatta risultando la resistenza laterale di progetto maggiore della sollecitazione orizzontale massima ($H_d > F_d$).

OPERA	φ [°]	Cu [kPa]	Hmax [kN]	Hd [kN]	Fd [kN]
VI14	-	210	5869.3	2124.6	1814

4.6 Verifica capacità portante gruppo di pali

Nel presente paragrafo si riporta la verifica della capacità portante ai carichi verticali della palificata.

La valutazione del carico limite verticale di una palificata è eseguito con la seguente relazione:

$$R_{d,G} = N \cdot E \cdot R_{d, \text{ singolo palo}}$$

La resistenza a carico verticale della palificata è data dal prodotto della resistenza del palo singolo per il numero N di pali del gruppo e per il fattore E di efficienza della palificata. In particolare l'efficienza è valutata con la formulazione empirica di Converse Labarre. Per le metodologie generali si rimanda alla relazione geotecnica generale.

Le fondazioni delle spalle del viadotto VI14 sono caratterizzate da 9 pali D=1500 mm.

La verifica è stata eseguita considerando il carico assiale massimo individuato in tutto il viadotto che è pari a Nmax= 51231 kN (combinazione SLU STR).

Nella seguente tabella si riportano i risultati delle verifiche da cui si evince che la capacità portante del gruppo di pali è sempre soddisfatta in quanto il fattore di sicurezza FS (= $Q_{d, \text{ gruppo}} / N_{max}$) è sempre > 1.0 .

Portanza Pali in Gruppo

SPALLE

Diametro	1.5 [m]
interasse	4.5 [m]
n. pali per fila	3 [-]
m n. file	3 [-]
Φ	18.435 [°]

E efficienza	0.73 [-]
---------------------	-----------------

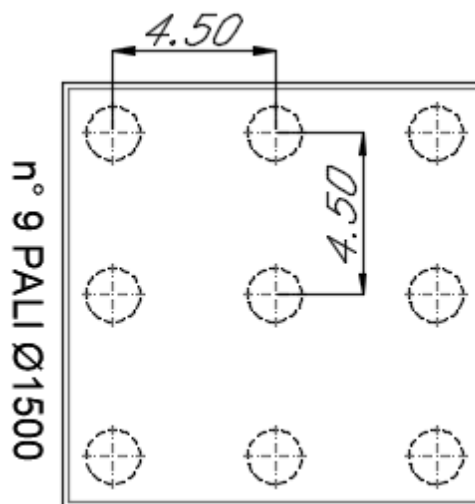
Palo Singolo

Rd = Q_d	9434 [kN]
---------------------------	------------------

Gruppo di pali

N_{max,SLU}	51231 [kN]
Q_{d Gruppo}	61717 [kN]

FS	1.20 [-]
-----------	-----------------



4.7 Stima cedimenti delle fondazioni

Per una valutazione semplificata dei cedimenti delle palificate sono state usate delle formulazioni empiriche. Il cedimento del singolo palo (w) è stimato con la formula empirica di Meyerhof (1959). Il cedimento del gruppo di pali è stimato moltiplicando il cedimento del singolo palo isolato per un coefficiente di amplificazione (R_g). Questo fattore R_g è determinato con la formulazione di Mandolini et al. (1997). Per le metodologie generali si rimanda alla relazione geotecnica generale.

Nella seguente tabella sono riportate le stime dei cedimenti eseguite per le palificate in esame.

Spalle

Dati

Diametro	1.5 [m]
Lunghezza	32.0 [m]
s	4.5 [m]
n	9 [-]
Q_{lim}	19702 [kN]
Q_{SLE}	6374 [kN]

Tipo di Palo	Trivellato
Natura prevalente del terreno	Coesivo

Cedimento Palo singolo (Meyerhof, 1959)

w	0.005 [m]
---	-----------

Cedimento Palo di gruppo

R	1.125 [-]
R_g	0.547 [-]
w_{gruppo} [m]	0.02 [m]



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA

PROGETTO DEFINITIVO

VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1403 001	A	20 di 34

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

5.1 Compressione. Palo D=1500 mm

*** 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 PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

Quota testa palo da p.c. = 2.00 m
Quota falda da p.c. = 2.00 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 = 1500. mm

Criterio per la determinazione della portata di base in uno strato "i"
quando la $Q_{b,i}$ ad esso attribuibile e' superiore a quella degli
strati adiacenti:

La base del palo deve essere situata almeno: $3.0 * 1.500 = 4.50$ m
entro lo strato se quello sovrastante e' piu' debole

La base del palo deve essere situata almeno: $3.0 * 1.500 = 4.50$ m
sopra lo strato sottostante se esso e' piu' debole

La variazione di Q_b viene assunta lineare dal passaggio di strato

pag./ 3

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 1 "bnc " (Coesivo) da .00 a 1.00 m

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

$$\tau = \alpha * C_u < 100.0 \text{ kPa}$$

Criterio $\alpha(C_u)$ nel seguito

$$\tau > .23 * S'v$$

$$\tau < .55 * S'v$$

$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$

$$C_u \text{ variabile lin. da } 100.0 \text{ a } 100.0 \text{ kPa}$$

Strato 2 "bni " (Incoerente) da 1.00 a 6.50 m

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

$$\tau = K * \tan(\delta) * S'v < 150.0 \text{ kPa}$$

$$K = .70 \quad \delta = 38.0 \text{ deg}$$

$$Q_b = 23.0 * S'v < 5800. \text{ kPa}$$

Strato 3 "TRV " (Coesivo) da 6.50 a 21.00 m

$$G_n = 20.5 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 10.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\tau = \beta * S'v < 120.0 \text{ kPa}$$

$$\beta = .10 + .40 C_u/S'v$$

$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$

$$C_u \text{ variabile lin. da } 180.0 \text{ a } 180.0 \text{ kPa}$$

pag./ 4

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 4 "TRV " (Coesivo) da 21.00 a 40.00 m

$$G_n = 20.5 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 10.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\tau = \beta * S'v < 120.0 \text{ kPa}$$

$$\beta = .10 + .40 C_u/S'v$$

$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$

$$C_u \text{ variabile lin. da } 300.0 \text{ a } 300.0 \text{ kPa}$$

pag./ 5

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14

Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "bnc "	1.00	1.00	1.00
2 "bni "	1.00	1.00	-
3 "TRV "	1.00	1.00	1.00
4 "TRV "	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./ 6

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14

Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU 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
2.00	39.0	39.0	--	.55	21.3	897.
2.50	43.8	48.8	--	.55	23.9	991.
3.00	48.5	58.5	--	.55	26.5	1086.
3.50	53.3	68.3	--	.55	29.1	1180.
4.00	58.0	78.0	--	.55	31.7	1275.
4.50	62.8	87.8	--	.55	34.3	1369.
5.00	67.5	97.5	--	.55	36.9	1464.
5.50	72.3	107.3	--	.55	39.5	1558.
6.00	77.0	117.0	--	.55	42.1	1652.
6.50	81.8	126.8	--	.76	62.4	1747.
7.00	87.0	137.0	180.0	.93	80.7	1757.
7.50	92.3	147.3	180.0	.88	81.2	1767.
8.00	97.5	157.5	180.0	.84	81.8	1778.
8.50	102.8	167.8	180.0	.80	82.3	1788.
9.00	108.0	178.0	180.0	.77	82.8	1798.
9.50	113.3	188.3	180.0	.74	83.3	1808.
10.00	118.5	198.5	180.0	.71	83.8	1819.
10.50	123.8	208.8	180.0	.68	84.4	1829.
11.00	129.0	219.0	180.0	.66	84.9	1839.

VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1403 001	A	23 di 34

11.50	134.3	229.3	180.0	.64	85.4	1849.
12.00	139.5	239.5	180.0	.62	86.0	1860.
12.50	144.8	249.8	180.0	.60	86.5	1870.
13.00	150.0	260.0	180.0	.58	87.0	1880.
13.50	155.3	270.3	180.0	.56	87.5	1890.
14.00	160.5	280.5	180.0	.55	88.0	1901.
14.50	165.8	290.8	180.0	.53	88.6	1911.
15.00	171.0	301.0	180.0	.52	89.1	1921.
15.50	176.3	311.3	180.0	.51	89.6	1931.
16.00	181.5	321.5	180.0	.50	90.2	1942.
16.50	186.8	331.8	180.0	.49	90.7	1952.

pag. / 7

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU 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
17.00	192.0	342.0	180.0	.47	91.2	1962.
17.50	197.3	352.3	180.0	.47	91.7	1972.
18.00	202.5	362.5	180.0	.46	92.3	1983.
18.50	207.8	372.8	180.0	.45	92.8	1993.
19.00	213.0	383.0	180.0	.44	93.3	2003.
19.50	218.3	393.3	180.0	.43	93.8	2013.
20.00	223.5	403.5	180.0	.42	94.4	2024.
20.50	228.8	413.8	180.0	.41	94.9	2034.
21.00	234.0	424.0	180.0	.46	107.7	2044.
21.50	239.3	434.3	300.0	.50	120.0	2174.
22.00	244.5	444.5	300.0	.49	120.0	2305.
22.50	249.8	454.8	300.0	.48	120.0	2435.
23.00	255.0	465.0	300.0	.47	120.0	2565.
23.50	260.3	475.3	300.0	.46	120.0	2695.
24.00	265.5	485.5	300.0	.45	120.0	2826.
24.50	270.8	495.8	300.0	.44	120.0	2956.
25.00	276.0	506.0	300.0	.43	120.0	3086.
25.50	281.3	516.3	300.0	.43	120.0	3216.
26.00	286.5	526.5	300.0	.42	120.0	3227.
26.50	291.8	536.8	300.0	.41	120.0	3237.
27.00	297.0	547.0	300.0	.40	120.0	3247.
27.50	302.3	557.3	300.0	.40	120.0	3257.
28.00	307.5	567.5	300.0	.39	120.0	3268.
28.50	312.8	577.8	300.0	.38	120.0	3278.
29.00	318.0	588.0	300.0	.38	120.0	3288.
29.50	323.3	598.3	300.0	.37	120.0	3298.
30.00	328.5	608.5	300.0	.37	120.0	3309.
30.50	333.8	618.8	300.0	.36	120.0	3319.
31.00	339.0	629.0	300.0	.35	120.0	3329.
31.50	344.3	639.3	300.0	.35	120.0	3339.

pag. / 8

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1403 001	A	24 di 34

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
32.00	349.5	649.5	300.0	.34	120.0	3350.
32.50	354.8	659.8	300.0	.34	120.0	3360.
33.00	360.0	670.0	300.0	.33	120.0	3370.
33.50	365.3	680.3	300.0	.33	120.0	3380.
34.00	370.5	690.5	300.0	.32	120.0	3391.
34.50	375.8	700.8	300.0	.32	120.0	3401.
35.00	381.0	711.0	300.0	.31	120.0	3411.
35.50	386.3	721.3	300.0	.31	120.0	3421.
36.00	391.5	731.5	300.0	.31	120.0	3432.
36.50	396.8	741.8	300.0	.30	120.0	3442.
37.00	402.0	752.0	300.0	.30	120.0	3452.
37.50	407.3	762.3	300.0	.29	120.0	3462.
38.00	412.5	772.5	300.0	.29	120.0	3473.
38.50	417.8	782.8	300.0	.29	120.0	3483.
39.00	423.0	793.0	300.0	.28	120.0	3493.
39.50	428.3	803.3	300.0	.28	120.0	3503.
40.00	433.5	813.5	300.0	.28	120.0	3514.

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. / 9

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	1585.	0.	1585.	689.
.50	53.	1752.	5.	1800.	784.
1.00	113.	1919.	11.	2021.	881.
1.50	178.	2086.	16.	2248.	982.
2.00	250.	2253.	21.	2481.	1086.
2.50	328.	2419.	27.	2721.	1193.
3.00	412.	2586.	32.	2966.	1303.
3.50	502.	2753.	37.	3218.	1416.
4.00	598.	2920.	42.	3475.	1532.
4.50	711.	3087.	48.	3750.	1657.
5.00	890.	3105.	53.	3942.	1751.
5.50	1080.	3123.	58.	4145.	1851.
6.00	1272.	3141.	64.	4350.	1951.
6.50	1466.	3159.	69.	4556.	2052.
7.00	1660.	3177.	74.	4763.	2154.
7.50	1856.	3195.	80.	4972.	2257.
8.00	2053.	3214.	85.	5182.	2360.
8.50	2251.	3232.	90.	5393.	2463.
9.00	2450.	3250.	95.	5605.	2568.
9.50	2651.	3268.	101.	5818.	2673.
10.00	2853.	3286.	106.	6033.	2778.
10.50	3056.	3304.	111.	6249.	2885.
11.00	3261.	3322.	117.	6466.	2991.
11.50	3466.	3340.	122.	6685.	3099.
12.00	3673.	3358.	127.	6904.	3207.

VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1403 001	A	25 di 34

12.50	3881.	3377.	133.	7125.	3316.
13.00	4090.	3395.	138.	7347.	3425.
13.50	4301.	3413.	143.	7571.	3535.
14.00	4513.	3431.	148.	7795.	3646.
14.50	4726.	3449.	154.	8021.	3757.

pag./ 10

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
15.00	4940.	3467.	159.	8248.	3869.
15.50	5156.	3485.	164.	8476.	3981.
16.00	5372.	3503.	170.	8706.	4095.
16.50	5590.	3521.	175.	8937.	4208.
17.00	5809.	3540.	180.	9169.	4323.
17.50	6030.	3558.	186.	9402.	4438.
18.00	6252.	3576.	191.	9637.	4553.
18.50	6475.	3594.	196.	9872.	4670.
19.00	6706.	3612.	201.	10117.	4790.
19.50	6981.	3842.	207.	10617.	5026.
20.00	7264.	4072.	212.	11124.	5265.
20.50	7547.	4303.	217.	11632.	5504.
21.00	7830.	4533.	223.	12140.	5743.
21.50	8112.	4763.	228.	12647.	5982.
22.00	8395.	4993.	233.	13155.	6221.
22.50	8678.	5223.	239.	13663.	6460.
23.00	8961.	5453.	244.	14170.	6699.
23.50	9243.	5684.	249.	14678.	6938.
24.00	9526.	5702.	254.	14973.	7085.
24.50	9809.	5720.	260.	15269.	7232.
25.00	10092.	5738.	265.	15564.	7378.
25.50	10374.	5756.	270.	15860.	7525.
26.00	10657.	5774.	276.	16156.	7672.
26.50	10940.	5792.	281.	16451.	7819.
27.00	11223.	5810.	286.	16747.	7966.
27.50	11505.	5828.	292.	17042.	8113.
28.00	11788.	5847.	297.	17338.	8259.
28.50	12071.	5865.	302.	17633.	8406.
29.00	12354.	5883.	307.	17929.	8553.
29.50	12636.	5901.	313.	18224.	8700.

pag./ 11

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
30.00	12919.	5919.	318.	18520.	8847.

30.50	13202.	5937.	323.	18816.	8994.
31.00	13485.	5955.	329.	19111.	9140.
31.50	13767.	5973.	334.	19407.	9287.
32.00	14050.	5992.	339.	19702.	9434.
32.50	14333.	6010.	345.	19998.	9581.
33.00	14616.	6028.	350.	20293.	9728.
33.50	14898.	6046.	355.	20589.	9875.
34.00	15181.	6064.	360.	20884.	10021.
34.50	15464.	6082.	366.	21180.	10168.
35.00	15746.	6100.	371.	21476.	10315.
35.50	16029.	6118.	376.	21771.	10462.
36.00	16312.	6136.	382.	22067.	10609.
36.50	16595.	6155.	387.	22362.	10756.
37.00	16877.	6173.	392.	22658.	10902.
37.50	17160.	6191.	398.	22953.	11049.
38.00	17443.	6209.	403.	23249.	11196.

 Lp = Lunghezza utile del palo
 Q_{l1} = Portata laterale limite
 Q_{b1} = Portata di base limite
 W_p = Peso efficace del palo
 Q_u = Portata totale limite
 Q_d = Portata di progetto = $Q_{l1}/FS,1 + Q_{b1}/FS,b - W_p$

5.2 Trazione. Palo D=1500 mm

*** 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 PALOMBA-CATENANUOVA VI14
 Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

Quota testa palo da p.c. = 2.00 m
 Quota falda da p.c. = 2.00 m
 Peso di volume del palo = -15.00 kN/m³
 Fattore di sicurezza portata laterale = 2.13 (FS,1)
 Fattore di sicurezza portata di base = 1.00 (FS,b)

Elemento cilindrico, Diametro fusto = 1500. mm

Criterio per la determinazione della portata di base in uno strato "i"
 quando la Q_{b,i} ad esso attribuibile e' superiore a quella degli
 strati adiacenti:

La base del palo deve essere situata almeno: $3.0 * 1.500 = 4.50$ m
 entro lo strato se quello sovrastante e' piu' debole

La base del palo deve essere situata almeno: $3.0 * 1.500 = 4.50$ m
sopra lo strato sottostante se esso e' piu' debole

La variazione di Q_b viene assunta lineare dal passaggio di strato

pag./ 3

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 1 "bnc " (Coesivo) da .00 a 1.00 m

$G_n = 19.5$ kN/m³ $G_e = 9.5$ kN/m³
 $\tau = \alpha * C_u < 100.0$ kPa Criterio $\alpha(C_u)$ nel seguito
 $\tau > .23 * S'v$
 $\tau < .55 * S'v$

Q_b variabile lin. da 0. a 0. kPa

C_u variabile lin. da 100.0 a 100.0 kPa

Strato 2 "bni " (Incoerente) da 1.00 a 6.50 m

$G_n = 19.5$ kN/m³ $G_e = 9.5$ kN/m³
 $\tau = K * \tan(\delta) * S'v < 150.0$ kPa
 $K = .50$ $\delta = 38.0$ deg

Q_b variabile lin. da 0. a 0. kPa

Strato 3 "TRV " (Coesivo) da 6.50 a 21.00 m

$G_n = 20.5$ kN/m³ $G_e = 10.5$ kN/m³
 $\tau = \beta * S'v < 120.0$ kPa
 $\beta = .10 + .40 C_u/S'v$

Q_b variabile lin. da 0. a 0. kPa

C_u variabile lin. da 180.0 a 180.0 kPa

pag./ 4

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1403 001	A	28 di 34

Strato 4 "TRV " (Coesivo) da 21.00 a 40.00 m

Gn = 20.5 kN/m³ Ge = 10.5 kN/m³

Tau = beta * S'v < 120.0 kPa
beta = .10 + .40 Cu/S'v

Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

Cu variabile lin. da 300.0 a 300.0 kPa

pag./ 5

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "bnc "	1.00	1.00	1.00
2 "bni "	1.00	1.00	-
3 "TRV "	1.00	1.00	1.00
4 "TRV "	1.00	1.00	1.00

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

Per terreni coesivi: Criterio Tau = alfa * Cu

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./ 6

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
2.00	39.0	39.0	--	.39	15.2	0.
2.50	43.8	48.8	--	.39	17.1	0.

VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1403 001	A	29 di 34

3.00	48.5	58.5	--	.39	18.9	0.
3.50	53.3	68.3	--	.39	20.8	0.
4.00	58.0	78.0	--	.39	22.7	0.
4.50	62.8	87.8	--	.39	24.5	0.
5.00	67.5	97.5	--	.39	26.4	0.
5.50	72.3	107.3	--	.39	28.2	0.
6.00	77.0	117.0	--	.39	30.1	0.
6.50	81.8	126.8	--	.69	56.1	0.
7.00	87.0	137.0	180.0	.93	80.7	0.
7.50	92.3	147.3	180.0	.88	81.2	0.
8.00	97.5	157.5	180.0	.84	81.8	0.
8.50	102.8	167.8	180.0	.80	82.3	0.
9.00	108.0	178.0	180.0	.77	82.8	0.
9.50	113.3	188.3	180.0	.74	83.3	0.
10.00	118.5	198.5	180.0	.71	83.8	0.
10.50	123.8	208.8	180.0	.68	84.4	0.
11.00	129.0	219.0	180.0	.66	84.9	0.
11.50	134.3	229.3	180.0	.64	85.4	0.
12.00	139.5	239.5	180.0	.62	86.0	0.
12.50	144.8	249.8	180.0	.60	86.5	0.
13.00	150.0	260.0	180.0	.58	87.0	0.
13.50	155.3	270.3	180.0	.56	87.5	0.
14.00	160.5	280.5	180.0	.55	88.0	0.
14.50	165.8	290.8	180.0	.53	88.6	0.
15.00	171.0	301.0	180.0	.52	89.1	0.
15.50	176.3	311.3	180.0	.51	89.6	0.
16.00	181.5	321.5	180.0	.50	90.2	0.
16.50	186.8	331.8	180.0	.49	90.7	0.

pag. / 7

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz	S'v	Sv	Cu	Tau/S'v	Tau	qb
m	kPa	kPa	kPa	-	kPa	kPa
17.00	192.0	342.0	180.0	.47	91.2	0.
17.50	197.3	352.3	180.0	.47	91.7	0.
18.00	202.5	362.5	180.0	.46	92.3	0.
18.50	207.8	372.8	180.0	.45	92.8	0.
19.00	213.0	383.0	180.0	.44	93.3	0.
19.50	218.3	393.3	180.0	.43	93.8	0.
20.00	223.5	403.5	180.0	.42	94.4	0.
20.50	228.8	413.8	180.0	.41	94.9	0.
21.00	234.0	424.0	180.0	.46	107.7	0.
21.50	239.3	434.3	300.0	.50	120.0	0.
22.00	244.5	444.5	300.0	.49	120.0	0.
22.50	249.8	454.8	300.0	.48	120.0	0.
23.00	255.0	465.0	300.0	.47	120.0	0.
23.50	260.3	475.3	300.0	.46	120.0	0.
24.00	265.5	485.5	300.0	.45	120.0	0.
24.50	270.8	495.8	300.0	.44	120.0	0.
25.00	276.0	506.0	300.0	.43	120.0	0.
25.50	281.3	516.3	300.0	.43	120.0	0.
26.00	286.5	526.5	300.0	.42	120.0	0.
26.50	291.8	536.8	300.0	.41	120.0	0.
27.00	297.0	547.0	300.0	.40	120.0	0.
27.50	302.3	557.3	300.0	.40	120.0	0.
28.00	307.5	567.5	300.0	.39	120.0	0.
28.50	312.8	577.8	300.0	.38	120.0	0.
29.00	318.0	588.0	300.0	.38	120.0	0.
29.50	323.3	598.3	300.0	.37	120.0	0.

VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1403 001	A	30 di 34

30.00	328.5	608.5	300.0	.37	120.0	0.
30.50	333.8	618.8	300.0	.36	120.0	0.
31.00	339.0	629.0	300.0	.35	120.0	0.
31.50	344.3	639.3	300.0	.35	120.0	0.

pag./ 8

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
32.00	349.5	649.5	300.0	.34	120.0	0.
32.50	354.8	659.8	300.0	.34	120.0	0.
33.00	360.0	670.0	300.0	.33	120.0	0.
33.50	365.3	680.3	300.0	.33	120.0	0.
34.00	370.5	690.5	300.0	.32	120.0	0.
34.50	375.8	700.8	300.0	.32	120.0	0.
35.00	381.0	711.0	300.0	.31	120.0	0.
35.50	386.3	721.3	300.0	.31	120.0	0.
36.00	391.5	731.5	300.0	.31	120.0	0.
36.50	396.8	741.8	300.0	.30	120.0	0.
37.00	402.0	752.0	300.0	.30	120.0	0.
37.50	407.3	762.3	300.0	.29	120.0	0.
38.00	412.5	772.5	300.0	.29	120.0	0.
38.50	417.8	782.8	300.0	.29	120.0	0.
39.00	423.0	793.0	300.0	.28	120.0	0.
39.50	428.3	803.3	300.0	.28	120.0	0.
40.00	433.5	813.5	300.0	.28	120.0	0.

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./ 9

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	0.	0.	0.	0.
.50	38.	0.	-13.	51.	31.
1.00	81.	0.	-27.	107.	64.
1.50	127.	0.	-40.	167.	100.
2.00	179.	0.	-53.	232.	137.
2.50	234.	0.	-66.	300.	176.
3.00	294.	0.	-80.	374.	218.
3.50	358.	0.	-93.	451.	261.

VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1403 001	A	31 di 34

4.00	427.	0.	-106.	533.	307.
4.50	514.	0.	-119.	634.	361.
5.00	690.	0.	-133.	822.	456.
5.50	880.	0.	-146.	1026.	559.
6.00	1072.	0.	-159.	1231.	663.
6.50	1266.	0.	-172.	1438.	767.
7.00	1460.	0.	-186.	1646.	871.
7.50	1656.	0.	-199.	1855.	976.
8.00	1853.	0.	-212.	2065.	1082.
8.50	2051.	0.	-225.	2276.	1188.
9.00	2250.	0.	-239.	2489.	1295.
9.50	2451.	0.	-252.	2703.	1403.
10.00	2653.	0.	-265.	2918.	1511.
10.50	2856.	0.	-278.	3134.	1619.
11.00	3060.	0.	-292.	3352.	1728.
11.50	3266.	0.	-305.	3571.	1838.
12.00	3473.	0.	-318.	3791.	1949.
12.50	3681.	0.	-331.	4012.	2060.
13.00	3890.	0.	-345.	4235.	2171.
13.50	4101.	0.	-358.	4459.	2283.
14.00	4313.	0.	-371.	4684.	2396.
14.50	4526.	0.	-384.	4910.	2509.

pag. / 10

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
15.00	4740.	0.	-398.	5138.	2623.
15.50	4955.	0.	-411.	5366.	2737.
16.00	5172.	0.	-424.	5596.	2852.
16.50	5390.	0.	-437.	5828.	2968.
17.00	5609.	0.	-451.	6060.	3084.
17.50	5830.	0.	-464.	6294.	3201.
18.00	6052.	0.	-477.	6529.	3318.
18.50	6274.	0.	-490.	6765.	3436.
19.00	6506.	0.	-504.	7010.	3558.
19.50	6781.	0.	-517.	7298.	3701.
20.00	7064.	0.	-530.	7594.	3847.
20.50	7347.	0.	-543.	7890.	3993.
21.00	7630.	0.	-557.	8186.	4139.
21.50	7912.	0.	-570.	8482.	4285.
22.00	8195.	0.	-583.	8778.	4431.
22.50	8478.	0.	-596.	9074.	4577.
23.00	8761.	0.	-610.	9370.	4723.
23.50	9043.	0.	-623.	9666.	4869.
24.00	9326.	0.	-636.	9962.	5015.
24.50	9609.	0.	-649.	10258.	5161.
25.00	9892.	0.	-663.	10554.	5307.
25.50	10174.	0.	-676.	10850.	5453.
26.00	10457.	0.	-689.	11146.	5599.
26.50	10740.	0.	-702.	11442.	5745.
27.00	11023.	0.	-716.	11738.	5891.
27.50	11305.	0.	-729.	12034.	6037.
28.00	11588.	0.	-742.	12330.	6183.
28.50	11871.	0.	-755.	12626.	6329.
29.00	12154.	0.	-769.	12922.	6475.
29.50	12436.	0.	-782.	13218.	6621.

VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1403 001	A	32 di 34

pag. / 11

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI14
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
30.00	12719.	0.	-795.	13514.	6767.
30.50	13002.	0.	-808.	13810.	6913.
31.00	13284.	0.	-822.	14106.	7059.
31.50	13567.	0.	-835.	14402.	7205.
32.00	13850.	0.	-848.	14698.	7351.
32.50	14133.	0.	-861.	14994.	7497.
33.00	14415.	0.	-875.	15290.	7643.
33.50	14698.	0.	-888.	15586.	7789.
34.00	14981.	0.	-901.	15882.	7935.
34.50	15264.	0.	-914.	16178.	8081.
35.00	15546.	0.	-928.	16474.	8227.
35.50	15829.	0.	-941.	16770.	8373.
36.00	16112.	0.	-954.	17066.	8519.
36.50	16395.	0.	-968.	17362.	8665.
37.00	16677.	0.	-981.	17658.	8811.
37.50	16960.	0.	-994.	17954.	8957.
38.00	17243.	0.	-1007.	18250.	9103.

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

6. APPENDICE B: VALUTAZIONE DEL MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO. TABULATI DI CALCOLO MR

6.1 D=1500 mm

Coef. di Matlock e Reese-palo VI14 D=1500

Lunghezza palo	Lp	=	30.00 m
Diametro palo	D	=	1.50 m
Modulo elastico palo	Ep	=	30000.00 MPa
Rigidezza flessionale	EJ	=	7455148.00 kN*m2

Definizione per punti del modulo di reazione del terreno E

Prof. m	E kN/m2
.000	12800.00
4.500	41600.00
4.510	50400.00
19.000	50400.00
19.100	84000.00
40.000	84000.00

Per il primo segmento:

Modulo iniziale	Eo	=	12800.000 kN/m2
Gradiente del modulo	Kh	=	6400.000 kN/m3

Lunghezza elastica	$T = (EJ/Kh)^{0.20}$	=	4.104 m
$R = Eo/(Kh*T)$		=	.487
$Z_{max} = Lp/T$		=	7.309

Coefficienti adimensionali di flessibilita' della sommita' del palo:

Ay =	1.5000
As = By =	1.1160
Bs =	1.4593

Spostamento:	$d = Ay Fo T^3/EJ + By Mo T^2/EJ$
Rotazione:	$r = As Fo T^2/EJ + Bs Mo T / EJ$

Per sommita' palo impedita di ruotare:

$Mo = - (T As/Bs) * Fo = - \alpha * Fo$	$\alpha = 3.1391 m$
---	---------------------

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

Taglio:	$F = Av Fo + Bv Mo/T$
Momento:	$M = Am Fo T + Bm Mo$

VI14 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1403 001	A	34 di 34

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI14 D=1500

Momento adimensionale lungo il fusto del palo
con sommita' impedita di ruotare

z m	Mad -
.000	1.0000
.938	.7137
1.875	.4579
2.813	.2396
3.750	.0625
4.688	-.0725
5.625	-.1624
6.563	-.2143
7.500	-.2371
9.000	-.2315
10.500	-.1971
12.000	-.1515
13.500	-.1061
15.000	-.0668
17.500	-.0202
20.000	.0054
22.500	.0118
26.250	.0053
30.000	.0000

Momento: $M(z) = M_0 * Mad(z)$

Coefficienti adimensionali di Matlock e Reese

z/T	Av	Am	Bv	Bm
.000	1.0000	.0000	.0000	1.0000
.228	.8104	.2075	-.1322	.9849
.457	.5973	.3686	-.2593	.9399
.685	.3829	.4804	-.3658	.8677
.914	.1847	.5446	-.4418	.7745
1.142	.0071	.5662	-.4838	.6679
1.370	-.1420	.5491	-.4909	.5555
1.599	-.2353	.5046	-.4664	.4454
1.827	-.2872	.4441	-.4179	.3436
2.193	-.3004	.3342	-.3306	.2054
2.558	-.2680	.2288	-.2360	.1021
2.924	-.2139	.1403	-.1524	.0319
3.289	-.1557	.0728	-.0863	-.0109
3.655	-.0992	.0259	-.0354	-.0329
4.264	-.0398	-.0152	.0059	-.0400
4.873	-.0035	-.0273	.0212	-.0303
5.482	.0159	-.0216	.0203	-.0165
6.395	.0129	-.0063	.0083	-.0029
7.309	.0000	.0000	.0000	.0000