

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

VI21 - Ponte ferroviario a Singolo Binario su deviata provvisoria della L.S. - Ltot=40 m

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

SCALA:

-

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

RS3E 50 D 09 RB VI2103 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	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. Angelo Viorzelli
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° 4073
19/11/2019

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.....	8
4.	PALIFICATE DI FONDAZIONE	9
4.1	CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI.....	9
4.1.1	<i>Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo.....</i>	<i>9</i>
4.1.2	<i>Calcolo della capacità portante</i>	<i>9</i>
4.2	MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO.....	15
4.3	MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO.....	15
4.4	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE AI CARICHI VERTICALI SINGOLO PALO	17
4.5	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI	17
4.6	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE GRUPPO DI PALI	18
4.7	STIMA CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI.....	19
5.	APPENDICE A: VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI. TABULATI DI CALCOLO PAL ..	21
5.1	COMPRESSIONE. PALO D=1500 MM.....	21
5.2	TRAZIONE. PALO D=1500 MM	27
6.	APPENDICE B: VALUTAZIONE DEL MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO. TABULATI DI CALCOLO MR.....	34
6.1	D=1500 MM.....	34

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2103 001	REV. A	FOGLIO 3 di 35

1. PREMESSA

Nella presente relazione si riporta il dimensionamento delle fondazioni del Viadotto VI21 della variante provvisoria linea storica 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					
VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2103 001	REV. A	FOGLIO 4 di 35

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]. Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa. Progetto Definitivo. Profilo longitudinale geotecnico – variante definitiva linea storica.
- [DC4]. RS3E 50 D 09 RB VI1803 002 A - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa. Progetto Definitivo. Analisi risposta sismica locale.
- [DC5]. 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.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2103 001	REV. A	FOGLIO 5 di 35

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 longitudinale geotecnico – variante definitiva linea storica [DC3].

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

3.1 Indagini geotecniche eseguite

L'opera in esame è ubicata in corrispondenza della variante provvisoria alla linea storica ed è previsto circa parallelo al viadotto VI10 tra le progressive km 12+569 e km 12+609 della linea ferroviaria principale (vedasi stralcio planimetrico di figura seguente).

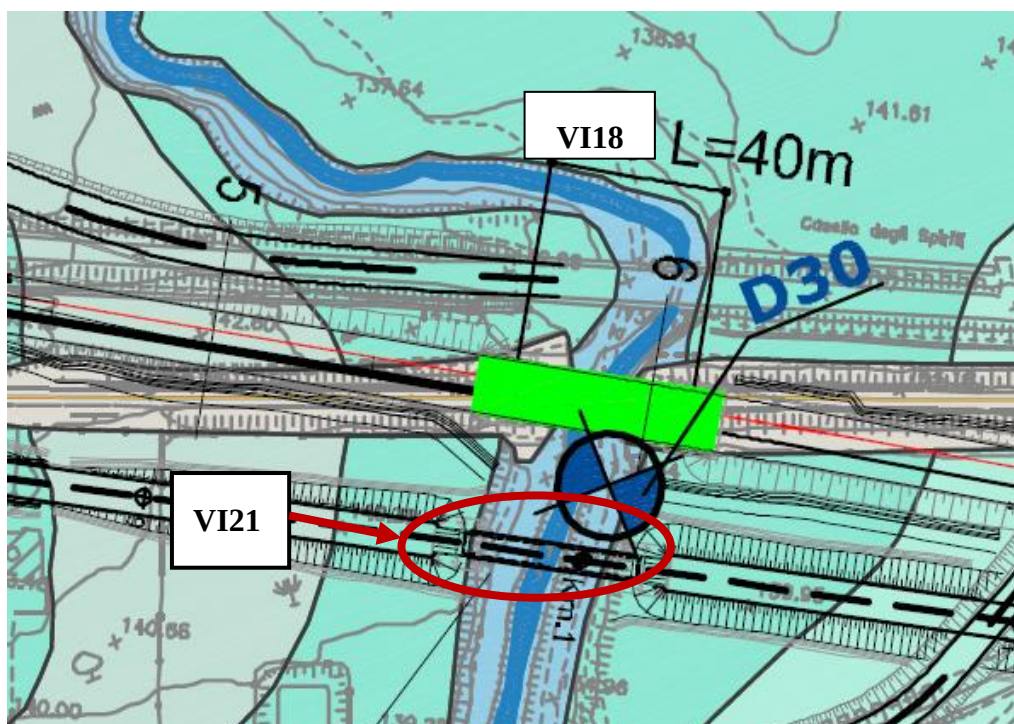


Figura 1 – stralcio planimetrico ubicazione opera

Le indagini più prossime all'opera sono le seguenti:

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 / Prova DH
D30	30.0	134.6	2	7	-	5	2	2	TA[4÷9]
D31	30.0	139.7	2	8	-	6	2	2	DH [30]
TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]									
CC [m]: piezometro del tipo a cella di Casagrande [quota cella]									

Per l'opera VI21, la stratigrafia ed il livello di falda sono definiti con riferimento al sondaggio D30; il sondaggio D31 è impiegato per meglio caratterizzare le unità geotecniche comuni.

In corrispondenza dell'opera è stata eseguita l'indagine sismica Masw-VI10.

Dalle misure piezometriche disponibili il livello di falda massimo è a quota +130 m s.l.m..

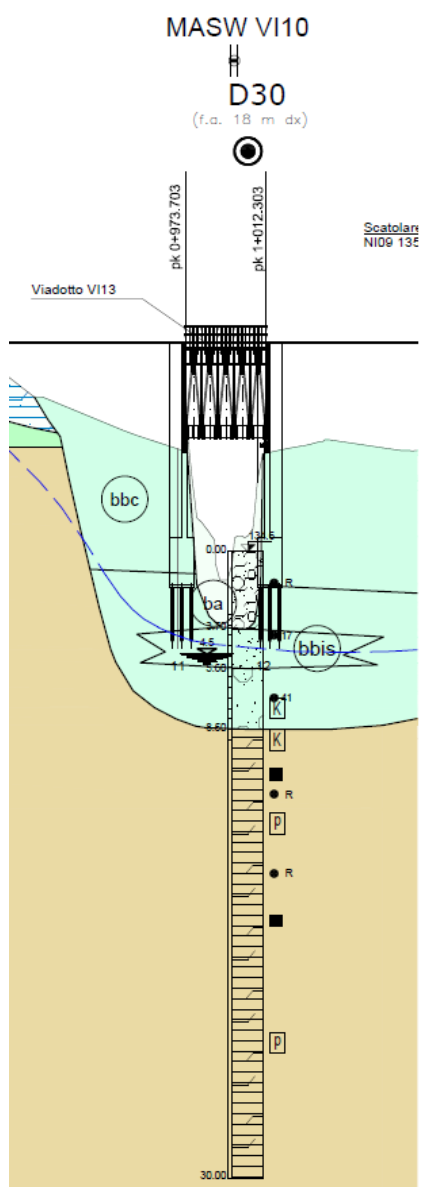
3.2 Stratigrafia

Nell'area in esame la stratigrafia è la seguente, con p.c. di riferimento a quota +141.0 m s.l.m.:

STRATIGRAFIA		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
bbc	Alluvioni recenti coesive	0.0-6.5
bbi/ba	Alluvioni recenti ghiaiose/ Sabbia con limo e ghiaia Alluvioni attuali	6.5 – 10.5
bbis	Alluvioni recenti sabbiose	10.5 – 12.5
bbi	Alluvioni recenti ghiaiose	12.5-15.0
AAC	Argille limose marnose di Catenanuova	15.0-30.0
FALDA: a +130 m s.l.m.		

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2103 001	REV. A FOGLIO 7 di 35

Di seguito si riporta uno stralcio del profilo geotecnico:



3.3 Categoria di sottosuolo

Per l'opera è stata appositamente eseguita una analisi di risposta sismica locale (doc. rif. [DC4]), i cui risultati sono riportati in apposito documento, a cui si rimanda.

3.4 Sintesi dei parametri geotecnici di progetto

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

Tabella 1 – VI21 – 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]
bbc	19.5	80	0	25	150÷250 (*)	40÷120	100÷300	$E_o / 3$	$E_o / 10$
bbi/ba	19.5	-	0	38	250÷300 (*)	120÷170	300÷450	$E_o / 3$	$E_o / 10$
bbis	19.5	-	0	32	170÷270 (*)	100	250-300	$E_o / 3$	$E_o / 10$
AAC	20.5	160 (z<15 m) 250÷350 (z>15 m)	5	24	500÷800 (*)	500÷400	400÷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 indagini sismiche (MASW e DH)

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 Tecnico-Descrittiva – Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni profonde (doc. rif. [DC5]) a cui si rimanda.

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 quota di imposta delle fondazioni è stata piuttosto abbassata rispetto al p.c. locale, in modo da rimanere circa sotto il fondo alveo. Quindi per la portanza dei pali la stratigrafia è definita da p.c. a quota +130 m s.l.m. (quota testa palo).

Tabella 2 – VI21 – Parametri geotecnici

Profondità [m]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	ϕ' [°]	q_b [kPa]
da 0.0 a 1.5	bbis	19.5	-	32	$10 \cdot \sigma'_v \leq 4300$
da 1.5 a 4.0	bbi	19.5	-	38	$23 \cdot \sigma'_v \leq 5800$
da 4.0 a 40.0	AAC	20.5	160 (z<15m) 250÷350 (z>15m)	-	$9 \cdot c_u + \sigma_v$

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

z = profondità da p.c.

σ_v = tensione verticale totale

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

Inoltre si è considerato, cautelativamente per la presenza del fiume:

- testa palo a p.c.;
- falda a p.c..

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

Tabella 3 – VI21 – Capacità portante palo D=1500 mm - A1+M1+R3 Compressione

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI21
 Capacità portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA capacità portante e relativi contributi

Lp m	Q _{ll} kN	Q _{bl} kN	W _p kN	Q _u kN	Q _d kN
.00	0.	0.	0.	0.	0.
.50	2.	84.	5.	81.	32.
1.00	10.	168.	11.	167.	67.
1.50	22.	252.	16.	258.	105.
2.00	43.	481.	21.	503.	210.
2.50	71.	711.	27.	755.	319.
3.00	105.	940.	32.	1013.	430.
3.50	144.	1170.	37.	1277.	545.
4.00	204.	1399.	42.	1561.	670.
4.50	351.	1560.	48.	1863.	809.
5.00	512.	1720.	53.	2180.	956.
5.50	675.	1881.	58.	2498.	1104.
6.00	839.	2042.	64.	2818.	1252.
6.50	1005.	2203.	69.	3138.	1401.
7.00	1171.	2363.	74.	3460.	1551.
7.50	1339.	2524.	80.	3783.	1701.
8.00	1508.	2685.	85.	4108.	1852.
8.50	1678.	2846.	90.	4434.	2003.
9.00	1850.	2864.	95.	4618.	2093.
9.50	2022.	2882.	101.	4803.	2184.
10.00	2196.	2900.	106.	4990.	2275.
10.50	2372.	2918.	111.	5178.	2367.
11.00	2548.	2936.	117.	5368.	2460.
11.50	2726.	2954.	122.	5558.	2553.
12.00	2905.	2972.	127.	5750.	2647.
12.50	3085.	2990.	133.	5943.	2742.
13.00	3266.	3009.	138.	6137.	2837.
13.50	3449.	3027.	143.	6332.	2932.
14.00	3633.	3045.	148.	6529.	3029.
14.50	3818.	3063.	154.	6727.	3126.

VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2103 001	A	11 di 35

15.00	4015.	3081.	159.	6937.	3229.
15.50	4278.	3290.	164.	7403.	3449.
16.00	4554.	3499.	170.	7883.	3675.
16.50	4834.	3708.	175.	8367.	3903.
17.00	5116.	3917.	180.	8853.	4133.
17.50	5399.	4126.	186.	9339.	4363.
18.00	5681.	4335.	191.	9825.	4593.
18.50	5964.	4544.	196.	10312.	4822.
19.00	6247.	4753.	201.	10798.	5052.
19.50	6530.	4962.	207.	11285.	5282.
20.00	6812.	5012.	212.	11612.	5443.
20.50	7095.	5062.	217.	11939.	5603.
21.00	7378.	5111.	223.	12267.	5764.
21.50	7661.	5161.	228.	12594.	5925.
22.00	7943.	5211.	233.	12921.	6085.
22.50	8226.	5261.	239.	13249.	6246.
23.00	8509.	5311.	244.	13576.	6407.
23.50	8792.	5361.	249.	13904.	6567.
24.00	9074.	5411.	254.	14231.	6728.
24.50	9357.	5461.	260.	14558.	6889.
25.00	9640.	5511.	265.	14886.	7049.
25.50	9923.	5561.	270.	15213.	7210.
26.00	10205.	5611.	276.	15540.	7371.
26.50	10488.	5661.	281.	15868.	7531.
27.00	10771.	5711.	286.	16195.	7692.
27.50	11054.	5760.	292.	16522.	7853.
28.00	11336.	5810.	297.	16850.	8013.
28.50	11619.	5860.	302.	17177.	8174.
29.00	11902.	5910.	307.	17505.	8335.
29.50	12185.	5960.	313.	17832.	8495.
30.00	12467.	6010.	318.	18159.	8656.
30.50	12750.	6060.	323.	18487.	8817.
31.00	13033.	6110.	329.	18814.	8977.
31.50	13316.	6160.	334.	19141.	9138.
32.00	13598.	6210.	339.	19469.	9298.
32.50	13881.	6260.	345.	19796.	9459.
33.00	14164.	6310.	350.	20123.	9620.
33.50	14446.	6360.	355.	20451.	9780.
34.00	14729.	6409.	360.	20778.	9941.
34.50	15012.	6459.	366.	21106.	10102.
35.00	15295.	6509.	371.	21433.	10262.
35.50	15577.	6559.	376.	21760.	10423.
36.00	15860.	6609.	382.	22088.	10584.
36.50	16143.	6659.	387.	22415.	10744.
37.00	16426.	6709.	392.	22742.	10905.
37.50	16708.	6759.	398.	23070.	11066.
38.00	16991.	6809.	403.	23397.	11226.
38.50	17274.	6859.	408.	23724.	11387.
39.00	17557.	6909.	414.	24052.	11548.
39.50	17839.	6959.	419.	24379.	11708.
40.00	18122.	7009.	424.	24707.	11869.

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

Tabella 4 – VI21 – Capacità portante palo D=1500 mm - A1+M1+R3 - Trazione

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI21

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

STAMPA capacità portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	0.	0.	0.	0.
.50	2.	0.	-13.	15.	14.
1.00	7.	0.	-27.	34.	30.
1.50	16.	0.	-40.	56.	47.
2.00	31.	0.	-53.	84.	68.
2.50	51.	0.	-66.	117.	90.
3.00	75.	0.	-80.	154.	115.
3.50	103.	0.	-93.	196.	141.
4.00	152.	0.	-106.	258.	177.
4.50	296.	0.	-119.	416.	258.
5.00	458.	0.	-133.	590.	348.
5.50	621.	0.	-146.	767.	437.
6.00	785.	0.	-159.	944.	528.
6.50	950.	0.	-172.	1122.	618.
7.00	1117.	0.	-186.	1302.	710.
7.50	1285.	0.	-199.	1483.	802.
8.00	1454.	0.	-212.	1666.	894.
8.50	1624.	0.	-225.	1849.	988.
9.00	1795.	0.	-239.	2034.	1081.
9.50	1968.	0.	-252.	2220.	1176.
10.00	2142.	0.	-265.	2407.	1271.
10.50	2317.	0.	-278.	2596.	1366.
11.00	2494.	0.	-292.	2785.	1462.
11.50	2671.	0.	-305.	2976.	1559.
12.00	2850.	0.	-318.	3168.	1656.
12.50	3030.	0.	-331.	3362.	1754.
13.00	3212.	0.	-345.	3556.	1853.
13.50	3394.	0.	-358.	3752.	1952.
14.00	3578.	0.	-371.	3949.	2051.
14.50	3763.	0.	-384.	4148.	2151.
15.00	3960.	0.	-398.	4358.	2257.
15.50	4223.	0.	-411.	4634.	2394.
16.00	4500.	0.	-424.	4924.	2537.
16.50	4779.	0.	-437.	5217.	2681.
17.00	5062.	0.	-451.	5512.	2827.
17.50	5344.	0.	-464.	5808.	2973.
18.00	5627.	0.	-477.	6104.	3119.
18.50	5910.	0.	-490.	6400.	3265.
19.00	6193.	0.	-504.	6696.	3411.
19.50	6475.	0.	-517.	6992.	3557.
20.00	6758.	0.	-530.	7288.	3703.
20.50	7041.	0.	-543.	7584.	3849.
21.00	7324.	0.	-557.	7880.	3995.
21.50	7606.	0.	-570.	8176.	4141.
22.00	7889.	0.	-583.	8472.	4287.
22.50	8172.	0.	-596.	8768.	4433.
23.00	8454.	0.	-610.	9064.	4579.
23.50	8737.	0.	-623.	9360.	4725.
24.00	9020.	0.	-636.	9656.	4871.
24.50	9303.	0.	-649.	9952.	5017.
25.00	9585.	0.	-663.	10248.	5163.
25.50	9868.	0.	-676.	10544.	5309.
26.00	10151.	0.	-689.	10840.	5455.
26.50	10434.	0.	-702.	11136.	5601.
27.00	10716.	0.	-716.	11432.	5747.
27.50	10999.	0.	-729.	11728.	5893.
28.00	11282.	0.	-742.	12024.	6039.
28.50	11565.	0.	-755.	12320.	6185.
29.00	11847.	0.	-769.	12616.	6331.
29.50	12130.	0.	-782.	12912.	6477.

VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2103 001	A	13 di 35

30.00	12413.	0.	-795.	13208.	6623.
30.50	12696.	0.	-808.	13504.	6769.
31.00	12978.	0.	-822.	13800.	6915.
31.50	13261.	0.	-835.	14096.	7061.
32.00	13544.	0.	-848.	14392.	7207.
32.50	13827.	0.	-861.	14688.	7353.
33.00	14109.	0.	-875.	14984.	7499.
33.50	14392.	0.	-888.	15280.	7645.
34.00	14675.	0.	-901.	15576.	7791.
34.50	14958.	0.	-914.	15872.	7937.
35.00	15240.	0.	-928.	16168.	8083.
35.50	15523.	0.	-941.	16464.	8229.
36.00	15806.	0.	-954.	16760.	8375.
36.50	16089.	0.	-968.	17056.	8521.
37.00	16371.	0.	-981.	17352.	8667.
37.50	16654.	0.	-994.	17648.	8813.
38.00	16937.	0.	-1007.	17944.	8959.
38.50	17220.	0.	-1021.	18240.	9105.
39.00	17502.	0.	-1034.	18536.	9251.
39.50	17785.	0.	-1047.	18832.	9397.
40.00	18068.	0.	-1060.	19128.	9543.

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 = $Q_{l1}/FS,1 + Q_{b1}/FS,b - Wp$

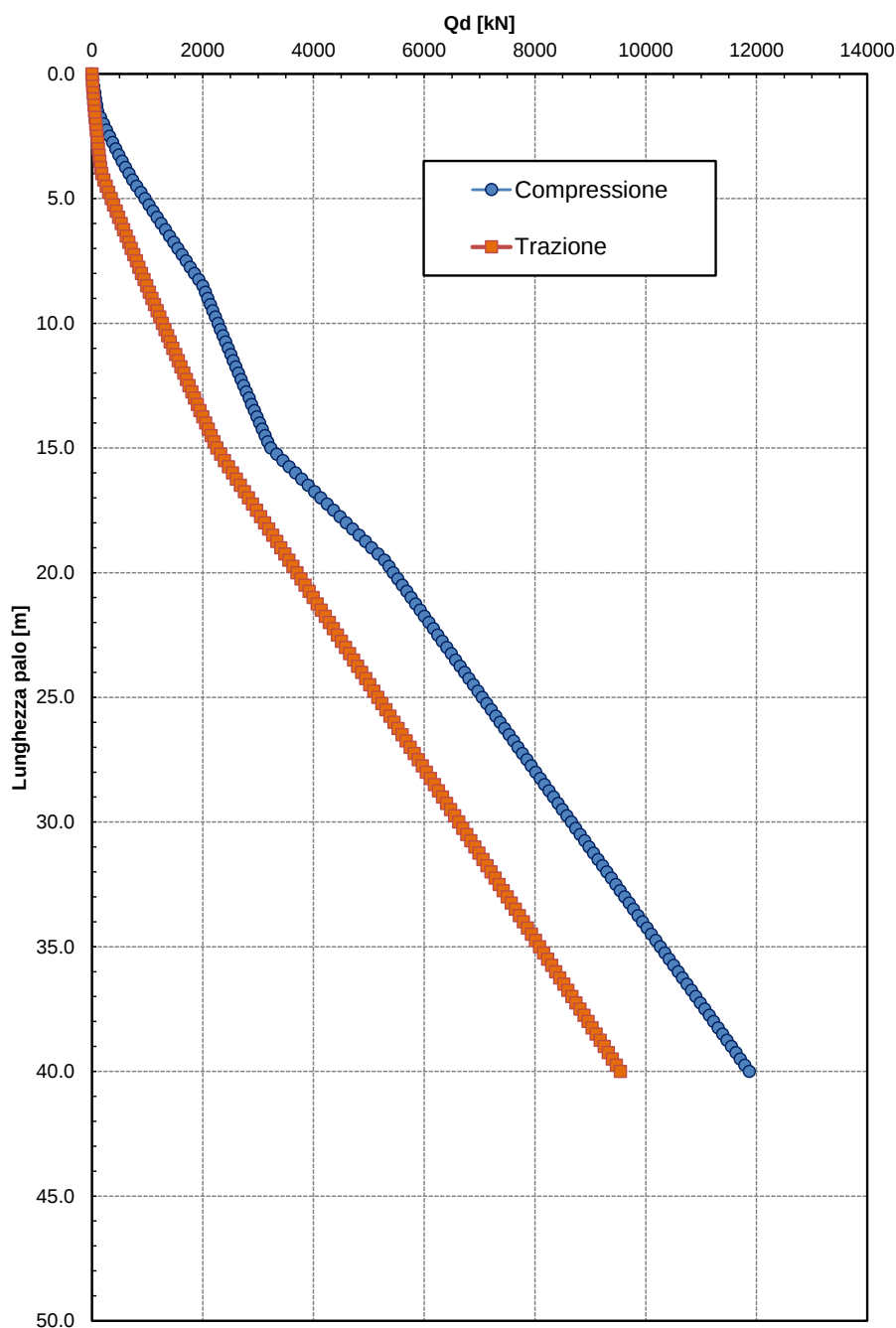


Figura 2 – Capacità portante palo D=1500 mm (A1+M1+R3)

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 sottotondo 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 generali sono illustrate nella Relazione Tecnico-Descrittiva – Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni profonde (doc. rif. [DC5]) a cui si rimanda.

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

nei depositi coesivi $\xi = 350$;

nelle alluvioni sabbiose $k_h = 6000 \text{ kN/m}^3$;

nelle alluvioni ghiaiose $k_h = 8000 \text{ kN/m}^3$.

Considerando la stratigrafia ed i parametri geotecnici precedentemente definiti, si ottiene il seguente profilo del modulo di reazione orizzontale palo-terreno, definito da testa palo:

Prof. m	E kN/m ²
0.000	6000.00
4.000	32000.00
4.100	56000.00
15.000	56000.00
15.100	87500.00
40.000	122500.00

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 generali sono illustrate nella Relazione Tecnico-Descrittiva – Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni profonde (doc. rif. [DC5]) a cui si rimanda.

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

Tabella 5 – VI21 – Valori di α_m

VI21	α_m [m]
D=1500mm	3.55

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

Tabella 6 – VI21 – Momento adimensionale lungo il palo D=1500 mm

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI18 D=1500
 Momento adimensionale lungo il fusto del palo
 con sommità' impedita di ruotare

z	Mad
m	-
.000	1.0000
.938	.7416
1.875	.5007
2.813	.2842
3.750	.0970
4.688	-.0530
5.625	-.1540

6.563	-.2153
7.500	-.2457
9.000	-.2486
10.500	-.2181
12.000	-.1727
13.500	-.1244
15.000	-.0798
17.500	-.0235
20.000	.0034
22.500	.0106
26.250	.0051
30.000	.0000

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

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 (Qll) con un fattore di sicurezza di 1.25.

Spalle	N _{max,c} SLU/SLV [kN]	Q _{d,c} [kN]	N _{max,t} SLU/SLV [kN]	Q _{d,t} [kN]	N _{max,c} SLE [kN]	Qll [kN]	Lpalo [kN]
Spalle	6497	8013	872	6039	5148	11336	28.0
Dove: N _{max,c} =sollecitazione assiale massima a compressione N _{max,t} =sollecitazione assiale massima a trazione Qll = portata laterale limite Q _{d,c} = portata di progetto a compressione Q _{d,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 generali sono illustrate nella Relazione Tecnico-Descrittiva – Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni profonde (doc. rif. [DC5]) a cui si rimanda.

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 $FS = \gamma_T \cdot \xi_3 = 1.30 \cdot 1.70 = 2.21$

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) è fattorizzata con FS_g , da cui: $H_d = H_{max} / 2.76$.

Il valore caratteristico della resistenza (H_k) è stato valutato con riferimento ad un momento di plasticizzazione M_y pari a 8476.6 kNm, considerando il diametro del palo $D=1500$ mm, l'armatura di 40+40 ϕ 26 e combinazione di carico più gravosa con taglio massimo associato a sollecitazione assiale 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 [°]	C_u [kPa]	H_{max} [kN]	H_d [kN]	F_d [kN]
VI21	-	200	5258.72	1905.3	1502

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 del viadotto sono caratterizzate da 12 pali $D=1500$ mm.

La verifica è stata eseguita considerando il carico assiale massimo individuato in tutto il viadotto.

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	4 [-]
m n. file	3 [-]
Φ	18.435 [°]

E efficienza	0.71 [-]
--------------	----------

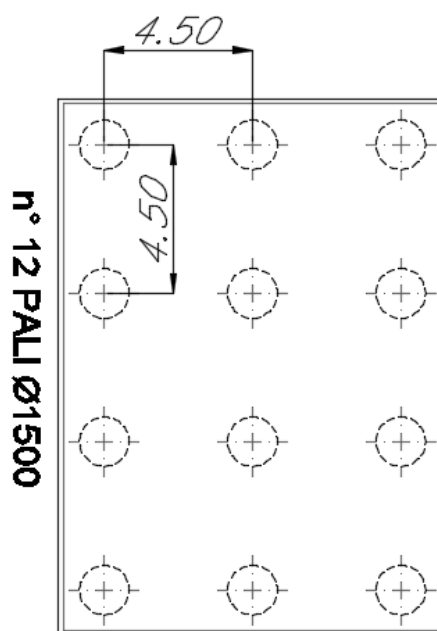
Palo Singolo

Rd = Q_d	8013 [kN]
------------	-----------

Gruppo di pali

$N_{max,SLU}$	49827 [kN]
Q_d Gruppo	68253 [kN]

FS	1.37 [-]
----	----------



4.7 Stima cedimenti delle fondazioni

Relativamente alle palificate delle spalle, si osserva che i rilevati di approccio presentano un'altezza intorno 5 m circa e si sviluppano su terreni alluvionali recenti fino a 15 m circa di cui 6 m coesivi e poi incoerenti ed a seguire il substrato di base rappresentato dalla Argille limose marnose di Catenanuova. In relazione alla tipologia di terreno in fondazione ed alle dimensioni dei rilevati, si è ritenuto opportuno eseguire una stima dei cedimenti del palo in presenza di attrito negativo indotto dai cedimenti di consolidazione del rilevato di approccio alle spalle.

Le valutazioni dei cedimenti dei rilevati e la determinazione della curva carico-cedimento in presenza di attrito negativo è svolta nella relazione geotecnica generale. Nella seguente figura si riporta la curva carico-cedimento per la valutazione dell'interazione palo-terreno in presenza di attrito negativo, dovuta ai cedimenti del rilevato di approccio.

Curva carico-cedimento palo D=1500 mm

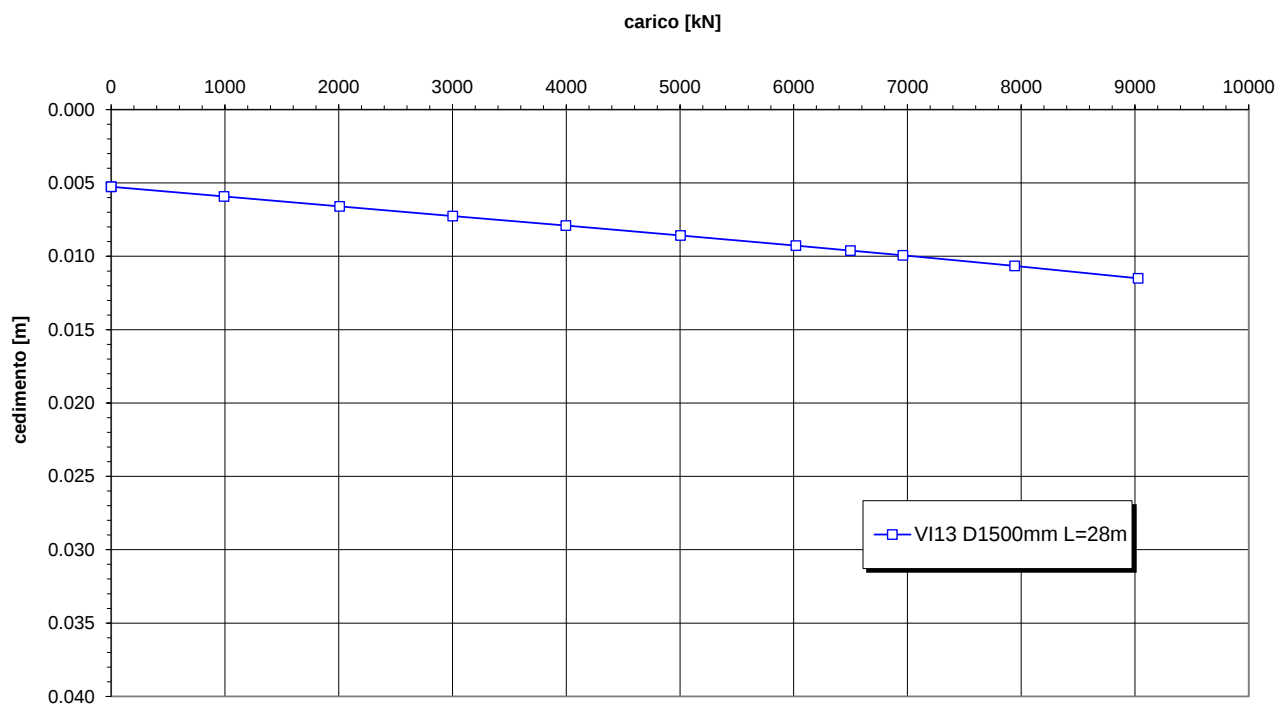


Figura 3 – Curva carico-cedimento in presenza di attrito negativo

La verifica dei cedimenti del singolo palo in presenza di attrito negativo consiste nel verificare che, per il palo di progetto, i cedimenti ai carichi di esercizio siano compatibili con la funzionalità delle sovrastrutture anche in presenza di attrito negativo.

Considerando un carico massimo assiale in condizioni SLE di circa 5148 kN si stimano, in condizioni di attrito negativo, cedimenti del singolo palo (s) dell'ordine di 9 mm e quindi compatibili con la funzionalità delle sovrastrutture.

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 VI10 VI21
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

Quota testa palo da p.c.	=	.00 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 = 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 VI10 VI21
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 1 "bbis " (Incoerente) da .00 a 1.50 m

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

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

$$K = .70 \quad \delta = 32.0 \text{ deg}$$

$$Q_b = 10.0 * S'v < 4300. \text{ kPa}$$

Strato 2 "bbi " (Incoerente) da 1.50 a 4.00 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 "AAC " (Coesivo) da 4.00 a 15.00 m

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

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

$$\beta = .10 + .40 \text{ Cu/S'v}$$

$$Q_b = 9.0 * \text{Cu} + S_v$$

$$\text{Cu variabile lin. da } 160.0 \text{ a } 160.0 \text{ kPa}$$

pag./ 4

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 4 "AAC " (Coesivo) da 15.00 a 40.00 m

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

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

$$\beta = .10 + .40 \text{ Cu/S'v}$$

$$Q_b = 9.0 * \text{Cu} + S_v$$

$$\text{Cu variabile lin. da } 250.0 \text{ a } 350.0 \text{ kPa}$$

pag./ 5

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2103 001	A	23 di 35

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "bbis "	1.00	1.00	-
2 "bbi "	1.00	1.00	-
3 "AAC "	1.00	1.00	1.00
4 "AAC "	1.00	1.00	1.00

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

pag. / 6

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
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
.00	.0	.0	--	.00	.0	0.
.50	4.8	9.8	--	.44	2.1	48.
1.00	9.5	19.5	--	.44	4.2	95.
1.50	14.3	29.3	--	.49	7.0	143.
2.00	19.0	39.0	--	.55	10.4	272.
2.50	23.8	48.8	--	.55	13.0	402.
3.00	28.5	58.5	--	.55	15.6	532.
3.50	33.3	68.3	--	.55	18.2	662.
4.00	38.0	78.0	--	1.17	44.3	792.
4.50	43.3	88.3	160.0	1.58	68.3	883.
5.00	48.5	98.5	160.0	1.42	68.8	974.
5.50	53.8	108.8	160.0	1.29	69.4	1065.
6.00	59.0	119.0	160.0	1.18	69.9	1155.
6.50	64.3	129.3	160.0	1.10	70.4	1246.
7.00	69.5	139.5	160.0	1.02	70.9	1337.
7.50	74.8	149.8	160.0	.96	71.5	1428.
8.00	80.0	160.0	160.0	.90	72.0	1519.
8.50	85.3	170.3	160.0	.85	72.5	1610.
9.00	90.5	180.5	160.0	.81	73.1	1621.
9.50	95.8	190.8	160.0	.77	73.6	1631.
10.00	101.0	201.0	160.0	.73	74.1	1641.
10.50	106.3	211.3	160.0	.70	74.6	1651.
11.00	111.5	221.5	160.0	.67	75.2	1662.
11.50	116.8	231.8	160.0	.65	75.7	1672.
12.00	122.0	242.0	160.0	.62	76.2	1682.
12.50	127.3	252.3	160.0	.60	76.7	1692.
13.00	132.5	262.5	160.0	.58	77.3	1703.
13.50	137.8	272.8	160.0	.56	77.8	1713.
14.00	143.0	283.0	160.0	.55	78.3	1723.
14.50	148.3	293.3	160.0	.53	78.8	1733.

pag. / 7

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
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
15.00	153.5	303.5	160.0	.63	97.3	1744.
15.50	158.8	313.8	252.0	.73	116.7	1862.
16.00	164.0	324.0	254.0	.72	118.0	1980.
16.50	169.3	334.3	256.0	.71	119.3	2098.
17.00	174.5	344.5	258.0	.69	120.0	2217.
17.50	179.8	354.8	260.0	.67	120.0	2335.
18.00	185.0	365.0	262.0	.65	120.0	2453.
18.50	190.3	375.3	264.0	.63	120.0	2571.
19.00	195.5	385.5	266.0	.61	120.0	2690.
19.50	200.8	395.8	268.0	.60	120.0	2808.
20.00	206.0	406.0	270.0	.58	120.0	2836.
20.50	211.3	416.3	272.0	.57	120.0	2864.
21.00	216.5	426.5	274.0	.55	120.0	2893.
21.50	221.8	436.8	276.0	.54	120.0	2921.
22.00	227.0	447.0	278.0	.53	120.0	2949.
22.50	232.3	457.3	280.0	.52	120.0	2977.
23.00	237.5	467.5	282.0	.51	120.0	3006.
23.50	242.8	477.8	284.0	.49	120.0	3034.
24.00	248.0	488.0	286.0	.48	120.0	3062.
24.50	253.3	498.3	288.0	.47	120.0	3090.
25.00	258.5	508.5	290.0	.46	120.0	3119.
25.50	263.8	518.8	292.0	.45	120.0	3147.
26.00	269.0	529.0	294.0	.45	120.0	3175.
26.50	274.3	539.3	296.0	.44	120.0	3203.
27.00	279.5	549.5	298.0	.43	120.0	3232.
27.50	284.8	559.8	300.0	.42	120.0	3260.
28.00	290.0	570.0	302.0	.41	120.0	3288.
28.50	295.3	580.3	304.0	.41	120.0	3316.
29.00	300.5	590.5	306.0	.40	120.0	3345.
29.50	305.8	600.8	308.0	.39	120.0	3373.

pag. / 8

 LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
 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
30.00	311.0	611.0	310.0	.39	120.0	3401.
30.50	316.3	621.3	312.0	.38	120.0	3429.
31.00	321.5	631.5	314.0	.37	120.0	3458.
31.50	326.8	641.8	316.0	.37	120.0	3486.
32.00	332.0	652.0	318.0	.36	120.0	3514.
32.50	337.3	662.3	320.0	.36	120.0	3542.
33.00	342.5	672.5	322.0	.35	120.0	3571.
33.50	347.8	682.8	324.0	.35	120.0	3599.
34.00	353.0	693.0	326.0	.34	120.0	3627.
34.50	358.3	703.3	328.0	.33	120.0	3655.
35.00	363.5	713.5	330.0	.33	120.0	3684.
35.50	368.8	723.8	332.0	.33	120.0	3712.
36.00	374.0	734.0	334.0	.32	120.0	3740.
36.50	379.3	744.3	336.0	.32	120.0	3768.
37.00	384.5	754.5	338.0	.31	120.0	3797.
37.50	389.8	764.8	340.0	.31	120.0	3825.
38.00	395.0	775.0	342.0	.30	120.0	3853.
38.50	400.3	785.3	344.0	.30	120.0	3881.

VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2103 001	A	25 di 35

39.00	405.5	795.5	346.0	.30	120.0	3910.
39.50	410.8	805.8	348.0	.29	120.0	3938.
40.00	416.0	816.0	350.0	.29	120.0	3966.

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 VI10 VI21
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.	0.	0.	0.	0.
.50	2.	84.	5.	81.	32.
1.00	10.	168.	11.	167.	67.
1.50	22.	252.	16.	258.	105.
2.00	43.	481.	21.	503.	210.
2.50	71.	711.	27.	755.	319.
3.00	105.	940.	32.	1013.	430.
3.50	144.	1170.	37.	1277.	545.
4.00	204.	1399.	42.	1561.	670.
4.50	351.	1560.	48.	1863.	809.
5.00	512.	1720.	53.	2180.	956.
5.50	675.	1881.	58.	2498.	1104.
6.00	839.	2042.	64.	2818.	1252.
6.50	1005.	2203.	69.	3138.	1401.
7.00	1171.	2363.	74.	3460.	1551.
7.50	1339.	2524.	80.	3783.	1701.
8.00	1508.	2685.	85.	4108.	1852.
8.50	1678.	2846.	90.	4434.	2003.
9.00	1850.	2864.	95.	4618.	2093.
9.50	2022.	2882.	101.	4803.	2184.
10.00	2196.	2900.	106.	4990.	2275.
10.50	2372.	2918.	111.	5178.	2367.
11.00	2548.	2936.	117.	5368.	2460.
11.50	2726.	2954.	122.	5558.	2553.
12.00	2905.	2972.	127.	5750.	2647.
12.50	3085.	2990.	133.	5943.	2742.
13.00	3266.	3009.	138.	6137.	2837.
13.50	3449.	3027.	143.	6332.	2932.
14.00	3633.	3045.	148.	6529.	3029.
14.50	3818.	3063.	154.	6727.	3126.

pag./ 10

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2103 001	A	26 di 35

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
15.00	4015.	3081.	159.	6937.	3229.
15.50	4278.	3290.	164.	7403.	3449.
16.00	4554.	3499.	170.	7883.	3675.
16.50	4834.	3708.	175.	8367.	3903.
17.00	5116.	3917.	180.	8853.	4133.
17.50	5399.	4126.	186.	9339.	4363.
18.00	5681.	4335.	191.	9825.	4593.
18.50	5964.	4544.	196.	10312.	4822.
19.00	6247.	4753.	201.	10798.	5052.
19.50	6530.	4962.	207.	11285.	5282.
20.00	6812.	5012.	212.	11612.	5443.
20.50	7095.	5062.	217.	11939.	5603.
21.00	7378.	5111.	223.	12267.	5764.
21.50	7661.	5161.	228.	12594.	5925.
22.00	7943.	5211.	233.	12921.	6085.
22.50	8226.	5261.	239.	13249.	6246.
23.00	8509.	5311.	244.	13576.	6407.
23.50	8792.	5361.	249.	13904.	6567.
24.00	9074.	5411.	254.	14231.	6728.
24.50	9357.	5461.	260.	14558.	6889.
25.00	9640.	5511.	265.	14886.	7049.
25.50	9923.	5561.	270.	15213.	7210.
26.00	10205.	5611.	276.	15540.	7371.
26.50	10488.	5661.	281.	15868.	7531.
27.00	10771.	5711.	286.	16195.	7692.
27.50	11054.	5760.	292.	16522.	7853.
28.00	11336.	5810.	297.	16850.	8013.
28.50	11619.	5860.	302.	17177.	8174.
29.00	11902.	5910.	307.	17505.	8335.
29.50	12185.	5960.	313.	17832.	8495.

pag. / 11

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
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
30.00	12467.	6010.	318.	18159.	8656.
30.50	12750.	6060.	323.	18487.	8817.
31.00	13033.	6110.	329.	18814.	8977.
31.50	13316.	6160.	334.	19141.	9138.
32.00	13598.	6210.	339.	19469.	9298.
32.50	13881.	6260.	345.	19796.	9459.
33.00	14164.	6310.	350.	20123.	9620.
33.50	14446.	6360.	355.	20451.	9780.
34.00	14729.	6409.	360.	20778.	9941.
34.50	15012.	6459.	366.	21106.	10102.
35.00	15295.	6509.	371.	21433.	10262.
35.50	15577.	6559.	376.	21760.	10423.
36.00	15860.	6609.	382.	22088.	10584.
36.50	16143.	6659.	387.	22415.	10744.
37.00	16426.	6709.	392.	22742.	10905.
37.50	16708.	6759.	398.	23070.	11066.
38.00	16991.	6809.	403.	23397.	11226.
38.50	17274.	6859.	408.	23724.	11387.
39.00	17557.	6909.	414.	24052.	11548.
39.50	17839.	6959.	419.	24379.	11708.

40.00 18122. 7009. 424. 24707. 11869.

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

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 VI10 VI21
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

Quota testa palo da p.c. = .00 m
Quota falda da p.c. = .00 m
Peso di volume del palo = -15.00 kN/m3
Fattore di sicurezza portata laterale = 2.13 (FS,l)
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 VI10 VI21
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2103 001	A	28 di 35

Strato 1 "bbis " (Incoerente) da .00 a 1.50 m

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

$\tau = K * \tan(\delta) * S'v < 150.0 \text{ kPa}$
K = .50 $\delta = 32.0 \text{ deg}$

Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

Strato 2 "bbi " (Incoerente) da 1.50 a 4.00 m

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

$\tau = K * \tan(\delta) * S'v < 150.0 \text{ kPa}$
K = .50 $\delta = 38.0 \text{ deg}$

Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

Strato 3 "AAC " (Coesivo) da 4.00 a 15.00 m

Gn = 20.5 kN/m3 Ge = 10.5 kN/m3

$\tau = \beta * S'v < 120.0 \text{ kPa}$
 $\beta = .10 + .40 C_u / S'v$

Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

Cu variabile lin. da 160.0 a 160.0 kPa

pag./ 4

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 4 "AAC " (Coesivo) da 15.00 a 40.00 m

Gn = 20.5 kN/m3 Ge = 10.5 kN/m3

$\tau = \beta * S'v < 120.0 \text{ kPa}$
 $\beta = .10 + .40 C_u / S'v$

Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

Cu variabile lin. da 250.0 a 350.0 kPa

pag./ 5

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2103 001	A	29 di 35

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "bbis "	1.00	1.00	-
2 "bbi "	1.00	1.00	-
3 "AAC "	1.00	1.00	1.00
4 "AAC "	1.00	1.00	1.00

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

pag./ 6

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
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
.00	.0	.0	--	.00	.0	0.
.50	4.8	9.8	--	.31	1.5	0.
1.00	9.5	19.5	--	.31	3.0	0.
1.50	14.3	29.3	--	.35	5.0	0.
2.00	19.0	39.0	--	.39	7.4	0.
2.50	23.8	48.8	--	.39	9.3	0.
3.00	28.5	58.5	--	.39	11.1	0.
3.50	33.3	68.3	--	.39	13.0	0.
4.00	38.0	78.0	--	1.09	41.3	0.
4.50	43.3	88.3	160.0	1.58	68.3	0.
5.00	48.5	98.5	160.0	1.42	68.8	0.
5.50	53.8	108.8	160.0	1.29	69.4	0.
6.00	59.0	119.0	160.0	1.18	69.9	0.
6.50	64.3	129.3	160.0	1.10	70.4	0.
7.00	69.5	139.5	160.0	1.02	70.9	0.
7.50	74.8	149.8	160.0	.96	71.5	0.
8.00	80.0	160.0	160.0	.90	72.0	0.
8.50	85.3	170.3	160.0	.85	72.5	0.
9.00	90.5	180.5	160.0	.81	73.1	0.
9.50	95.8	190.8	160.0	.77	73.6	0.
10.00	101.0	201.0	160.0	.73	74.1	0.
10.50	106.3	211.3	160.0	.70	74.6	0.
11.00	111.5	221.5	160.0	.67	75.2	0.
11.50	116.8	231.8	160.0	.65	75.7	0.
12.00	122.0	242.0	160.0	.62	76.2	0.
12.50	127.3	252.3	160.0	.60	76.7	0.
13.00	132.5	262.5	160.0	.58	77.3	0.
13.50	137.8	272.8	160.0	.56	77.8	0.
14.00	143.0	283.0	160.0	.55	78.3	0.
14.50	148.3	293.3	160.0	.53	78.8	0.

pag./ 7

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
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
15.00	153.5	303.5	160.0	.63	97.3	0.
15.50	158.8	313.8	252.0	.73	116.7	0.
16.00	164.0	324.0	254.0	.72	118.0	0.
16.50	169.3	334.3	256.0	.71	119.3	0.
17.00	174.5	344.5	258.0	.69	120.0	0.
17.50	179.8	354.8	260.0	.67	120.0	0.
18.00	185.0	365.0	262.0	.65	120.0	0.
18.50	190.3	375.3	264.0	.63	120.0	0.
19.00	195.5	385.5	266.0	.61	120.0	0.
19.50	200.8	395.8	268.0	.60	120.0	0.
20.00	206.0	406.0	270.0	.58	120.0	0.
20.50	211.3	416.3	272.0	.57	120.0	0.
21.00	216.5	426.5	274.0	.55	120.0	0.
21.50	221.8	436.8	276.0	.54	120.0	0.
22.00	227.0	447.0	278.0	.53	120.0	0.
22.50	232.3	457.3	280.0	.52	120.0	0.
23.00	237.5	467.5	282.0	.51	120.0	0.
23.50	242.8	477.8	284.0	.49	120.0	0.
24.00	248.0	488.0	286.0	.48	120.0	0.
24.50	253.3	498.3	288.0	.47	120.0	0.
25.00	258.5	508.5	290.0	.46	120.0	0.
25.50	263.8	518.8	292.0	.45	120.0	0.
26.00	269.0	529.0	294.0	.45	120.0	0.
26.50	274.3	539.3	296.0	.44	120.0	0.
27.00	279.5	549.5	298.0	.43	120.0	0.
27.50	284.8	559.8	300.0	.42	120.0	0.
28.00	290.0	570.0	302.0	.41	120.0	0.
28.50	295.3	580.3	304.0	.41	120.0	0.
29.00	300.5	590.5	306.0	.40	120.0	0.
29.50	305.8	600.8	308.0	.39	120.0	0.

pag./ 8

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
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
30.00	311.0	611.0	310.0	.39	120.0	0.
30.50	316.3	621.3	312.0	.38	120.0	0.
31.00	321.5	631.5	314.0	.37	120.0	0.
31.50	326.8	641.8	316.0	.37	120.0	0.
32.00	332.0	652.0	318.0	.36	120.0	0.
32.50	337.3	662.3	320.0	.36	120.0	0.
33.00	342.5	672.5	322.0	.35	120.0	0.
33.50	347.8	682.8	324.0	.35	120.0	0.
34.00	353.0	693.0	326.0	.34	120.0	0.
34.50	358.3	703.3	328.0	.33	120.0	0.
35.00	363.5	713.5	330.0	.33	120.0	0.
35.50	368.8	723.8	332.0	.33	120.0	0.
36.00	374.0	734.0	334.0	.32	120.0	0.
36.50	379.3	744.3	336.0	.32	120.0	0.
37.00	384.5	754.5	338.0	.31	120.0	0.
37.50	389.8	764.8	340.0	.31	120.0	0.
38.00	395.0	775.0	342.0	.30	120.0	0.
38.50	400.3	785.3	344.0	.30	120.0	0.
39.00	405.5	795.5	346.0	.30	120.0	0.

VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2103 001	A	31 di 35

39.50	410.8	805.8	348.0	.29	120.0	0.
40.00	416.0	816.0	350.0	.29	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 VI10 VI21
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	2.	0.	-13.	15.	14.
1.00	7.	0.	-27.	34.	30.
1.50	16.	0.	-40.	56.	47.
2.00	31.	0.	-53.	84.	68.
2.50	51.	0.	-66.	117.	90.
3.00	75.	0.	-80.	154.	115.
3.50	103.	0.	-93.	196.	141.
4.00	152.	0.	-106.	258.	177.
4.50	296.	0.	-119.	416.	258.
5.00	458.	0.	-133.	590.	348.
5.50	621.	0.	-146.	767.	437.
6.00	785.	0.	-159.	944.	528.
6.50	950.	0.	-172.	1122.	618.
7.00	1117.	0.	-186.	1302.	710.
7.50	1285.	0.	-199.	1483.	802.
8.00	1454.	0.	-212.	1666.	894.
8.50	1624.	0.	-225.	1849.	988.
9.00	1795.	0.	-239.	2034.	1081.
9.50	1968.	0.	-252.	2220.	1176.
10.00	2142.	0.	-265.	2407.	1271.
10.50	2317.	0.	-278.	2596.	1366.
11.00	2494.	0.	-292.	2785.	1462.
11.50	2671.	0.	-305.	2976.	1559.
12.00	2850.	0.	-318.	3168.	1656.
12.50	3030.	0.	-331.	3362.	1754.
13.00	3212.	0.	-345.	3556.	1853.
13.50	3394.	0.	-358.	3752.	1952.
14.00	3578.	0.	-371.	3949.	2051.
14.50	3763.	0.	-384.	4148.	2151.

pag./ 10

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2103 001	A	32 di 35

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
15.00	3960.	0.	-398.	4358.	2257.
15.50	4223.	0.	-411.	4634.	2394.
16.00	4500.	0.	-424.	4924.	2537.
16.50	4779.	0.	-437.	5217.	2681.
17.00	5062.	0.	-451.	5512.	2827.
17.50	5344.	0.	-464.	5808.	2973.
18.00	5627.	0.	-477.	6104.	3119.
18.50	5910.	0.	-490.	6400.	3265.
19.00	6193.	0.	-504.	6696.	3411.
19.50	6475.	0.	-517.	6992.	3557.
20.00	6758.	0.	-530.	7288.	3703.
20.50	7041.	0.	-543.	7584.	3849.
21.00	7324.	0.	-557.	7880.	3995.
21.50	7606.	0.	-570.	8176.	4141.
22.00	7889.	0.	-583.	8472.	4287.
22.50	8172.	0.	-596.	8768.	4433.
23.00	8454.	0.	-610.	9064.	4579.
23.50	8737.	0.	-623.	9360.	4725.
24.00	9020.	0.	-636.	9656.	4871.
24.50	9303.	0.	-649.	9952.	5017.
25.00	9585.	0.	-663.	10248.	5163.
25.50	9868.	0.	-676.	10544.	5309.
26.00	10151.	0.	-689.	10840.	5455.
26.50	10434.	0.	-702.	11136.	5601.
27.00	10716.	0.	-716.	11432.	5747.
27.50	10999.	0.	-729.	11728.	5893.
28.00	11282.	0.	-742.	12024.	6039.
28.50	11565.	0.	-755.	12320.	6185.
29.00	11847.	0.	-769.	12616.	6331.
29.50	12130.	0.	-782.	12912.	6477.

pag. / 11

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI10 VI21
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	12413.	0.	-795.	13208.	6623.
30.50	12696.	0.	-808.	13504.	6769.
31.00	12978.	0.	-822.	13800.	6915.
31.50	13261.	0.	-835.	14096.	7061.
32.00	13544.	0.	-848.	14392.	7207.
32.50	13827.	0.	-861.	14688.	7353.
33.00	14109.	0.	-875.	14984.	7499.
33.50	14392.	0.	-888.	15280.	7645.
34.00	14675.	0.	-901.	15576.	7791.
34.50	14958.	0.	-914.	15872.	7937.
35.00	15240.	0.	-928.	16168.	8083.
35.50	15523.	0.	-941.	16464.	8229.
36.00	15806.	0.	-954.	16760.	8375.
36.50	16089.	0.	-968.	17056.	8521.
37.00	16371.	0.	-981.	17352.	8667.
37.50	16654.	0.	-994.	17648.	8813.
38.00	16937.	0.	-1007.	17944.	8959.
38.50	17220.	0.	-1021.	18240.	9105.
39.00	17502.	0.	-1034.	18536.	9251.
39.50	17785.	0.	-1047.	18832.	9397.
40.00	18068.	0.	-1060.	19128.	9543.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA

PROGETTO DEFINITIVO

VI21 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2103 001	A	33 di 35

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

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

6.1 D=1500 mm

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI18 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	4800.00
4.000	25600.00
4.100	44800.00
15.000	44800.00
15.100	70000.00
40.000	98000.00

Per il primo segmento:

Modulo iniziale	Eo	=	4800.000 kN/m2
Gradiente del modulo	Kh	=	5200.000 kN/m3

Lunghezza elastica	$T = (EJ/Kh)^{0.20}$	=	4.278 m
$R = Eo/(Kh*T)$		=	.216
$Z_{max} = Lp/T$		=	7.012

Coefficienti adimensionali di flessibilita' della sommita' del palo:

Ay =	1.8034
As = By =	1.3107
Bs =	1.5811

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:

$Mo = - (T As/Bs) * Fo = - \alpha * Fo$ $\alpha = 3.5466 m$

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

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

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI18 D=1500

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

z m	Mad -
.000	1.0000
.938	.7416
1.875	.5007
2.813	.2842
3.750	.0970
4.688	-.0530
5.625	-.1540
6.563	-.2153
7.500	-.2457
9.000	-.2486
10.500	-.2181
12.000	-.1727
13.500	-.1244
15.000	-.0798
17.500	-.0235
20.000	.0034
22.500	.0106
26.250	.0051
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
.219	.8799	.2072	-.0820	.9916
.438	.7184	.3831	-.1813	.9629
.657	.5337	.5205	-.2793	.9122
.876	.3489	.6170	-.3620	.8413
1.096	.1006	.6679	-.4459	.7527
1.315	-.1028	.6656	-.4891	.6489
1.534	-.2378	.6266	-.4912	.5406
1.753	-.3216	.5644	-.4623	.4352
2.104	-.3620	.4416	-.3895	.2841
2.454	-.3412	.3163	-.2980	.1634
2.805	-.2879	.2052	-.2103	.0748
3.155	-.2246	.1153	-.1368	.0147
3.506	-.1609	.0473	-.0775	-.0227
4.090	-.0631	-.0192	-.0063	-.0467
4.675	-.0013	-.0344	.0252	-.0381
5.259	.0208	-.0267	.0262	-.0216
6.135	.0166	-.0077	.0118	-.0042
7.012	.0000	.0000	.0000	.0000