

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

VI22 - Ponte ferroviario a Singolo Binario su L.S. - Ltot=17,90 m

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

SCALA:

-

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

RS3E 50 D 09 RH VI2203 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	
A	Emissione esecutiva	S.Gasperoni	Novembre 2019	M.E. Di Effredo	Novembre 2019	F. Spadacino	Novembre 2019	

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dott. Ing. Roberto Tozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° 42043
11/11/2019

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	5
2.3	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE.....	5
2.4	STRATIGRAFIA	6
2.5	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	7
2.6	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	8
3.	PALIFICATE DI FONDAZIONE	9
3.1	CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI.....	9
	3.1.1 <i>Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo</i>	9
	3.1.2 <i>Calcolo della capacità portante</i>	9
3.2	MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO.....	15
3.3	MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO.....	16
3.4	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE AI CARICHI VERTICALI SINGOLO PALO	17
3.5	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI	18
3.6	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE GRUPPO DI PALI	18
3.7	STIMA CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI.....	19
4.	APPENDICE A: VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI. TABULATI DI CALCOLO PAL ..	21
4.1	COMPRESSIONE. PALO D=1200 MM	21
4.2	TRAZIONE. PALO D=1200 MM	27
5.	APPENDICE B: VALUTAZIONE DEL MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO. TABULATI DI CALCOLO MR.....	34
5.1	D=1200 MM	34

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2203 001	REV. A	FOGLIO 3 di 35

1. PREMESSA

Nella presente relazione si riporta il dimensionamento delle fondazioni del Viadotto VI22 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					
VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2203 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]. RS3E 50 D 09 RB VI1003 002 A - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa. Progetto Definitivo. Analisi risposta sismica locale.
- [DC4]. 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					
VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2203 001	REV. A	FOGLIO 5 di 35

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

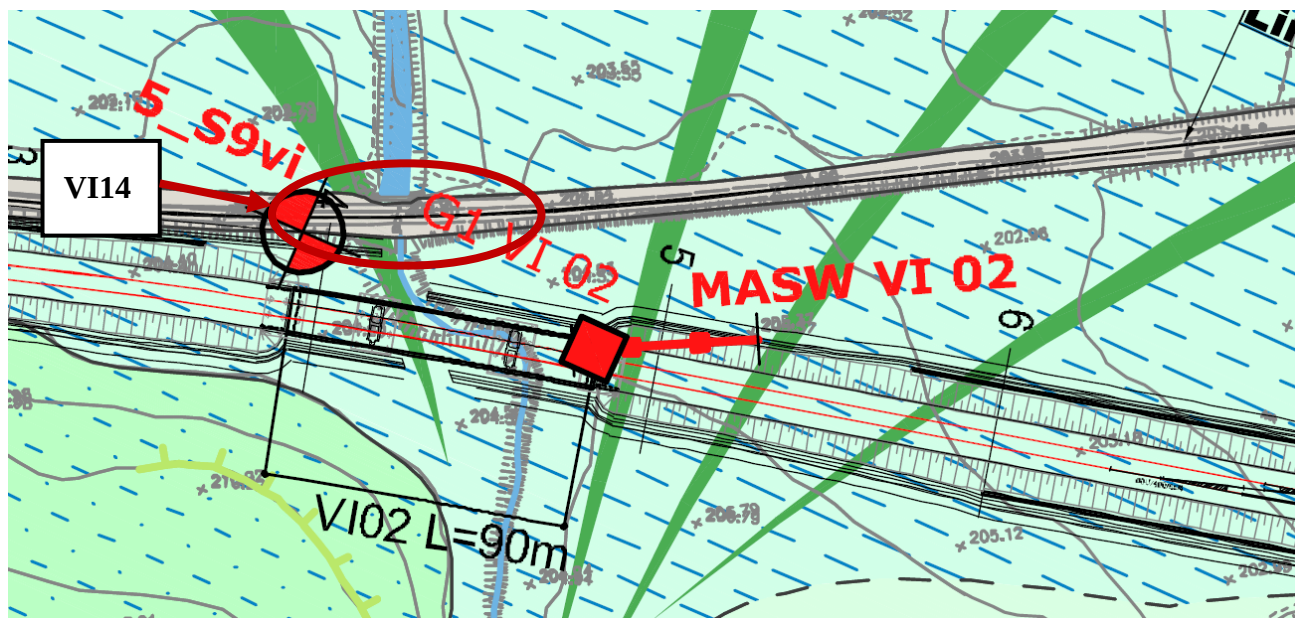
Nel presente capitolo si riporta la caratterizzazione geotecnica per il viadotto in esame, valutata sulla base dell'interpretazione delle indagini geotecniche svolte in prossimità dell'opera.

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]).

2.3 Indagini geotecniche eseguite

L'opera in esame è ubicata sulla linea storica ed è circa parallela alla linea ferroviaria in progetto tra le progressive km 1+422 e km 1+447 (circa in corrispondenza del VI02), come si evince dalla seguente figura.



	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2203 001	REV. A	FOGLIO 6 di 35

Le indagini più prossime all'opera sono le seguenti:

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
5_S09vi	40.0	204.0	3	2	-	5	2	-	TA[3÷10]

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

CC [m]: piezometro del tipo a cella di Casagrande [quota cella]

Inoltre è disponibile l'indagine sismica MASW-VI02.

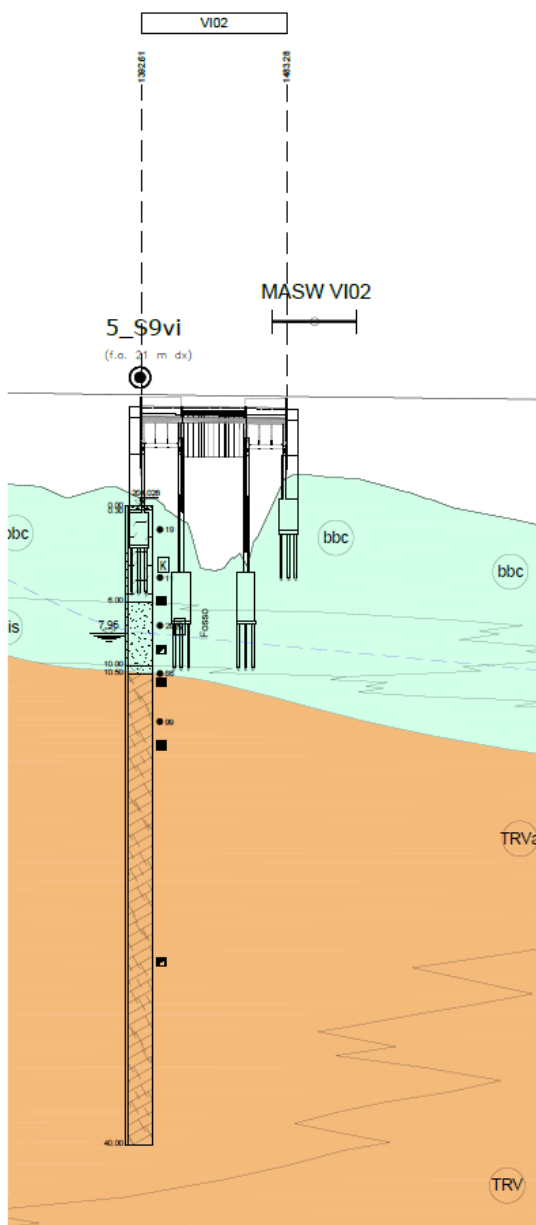
Dalle misure piezometriche disponibili il livello di falda massimo è a quota +196.1 m s.l.m..

2.4 Stratigrafia

La stratigrafia lungo lo sviluppo del viadotto è indicata nella seguente tabella con riferimento ad una quota del p.c. di +204 m s.l.m.:

STRATIGRAFIA		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
bbc	Alluvioni recenti coesive	0.0÷6.0
bbis	Alluvioni recenti sabbiose	6.0÷11.0
TRVa	Argilla marnosa con arenaria Formazione Terravecchia	11.0÷40.0
FALDA: +196.1 m s.l.m.		

Di seguito si riporta uno stralcio del profilo geotecnico in corrispondenza del VI02:



2.5 Categoria di sottosuolo

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

2.6 Sintesi dei parametri geotecnici di progetto

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

Tabella 1 – VI22 – 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	75	0	25	185÷220	65÷90	150	$E_o / 3$	$E_o / 10$
bbis	19.5	-	0	34	230	100	250	$E_o / 3$	$E_o / 10$
TRVa	21.0	250 z<15m 300 z>15m	5	24	300÷600(*)	170÷700	450-800	$E_o / 3$	$E_o / 10$

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.

(*) dalla prova MASW VI02

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2203 001	REV. A	FOGLIO 9 di 35

3. PALIFICATE DI FONDAZIONE

3.1 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. [DC4]) a cui si rimanda.

3.1.1 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.

Tabella 2 – VI22 – stratigrafia e parametri di calcolo

Profondità [m]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	cu [kPa]	ϕ' [°]	qb [kPa]
da 0.0 a 6.0	bbc	19.5	75	-	$9 \cdot cu + \sigma_v$
da 6.0 a 11.0	bbis	19.5	-	34	$14 \cdot \sigma'_v \leq 4300$
da 11.0 a 40.0	TRVa	21.0	250 z<15m 300 z>15m	-	$9 \cdot cu + \sigma_v$
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 z = profondità da p.c. σ_v = tensione verticale totale σ'_v = tensione verticale totale					

3.1.2 Calcolo della capacità portante

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

- N. 1 verticale di indagine, da cui $\xi_3 = 1.70$,
- F_{SL} = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ($=\xi_3 \cdot \gamma_s = 1.96$).
- $F_{SL,t}$ = 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 1.5 m di profondità da p.c.;
- falda a 1.5 m da p.c..

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

Tabella 3 – VI22 - Capacità portante palo D=1200 mm - A1+M1+R3 Compressione

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI22
 Capacità portante palo D=1200 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
0.00	0.	796.	0.	796.	346.
0.50	33.	808.	3.	837.	364.
1.00	70.	819.	7.	882.	385.
1.50	113.	830.	10.	933.	408.
2.00	161.	841.	14.	988.	434.
2.50	213.	852.	17.	1048.	462.
3.00	271.	863.	20.	1113.	493.
3.50	333.	874.	24.	1183.	526.
4.00	400.	885.	27.	1258.	562.
4.50	471.	896.	31.	1336.	599.
5.00	539.	1006.	34.	1510.	678.
5.50	609.	1116.	37.	1688.	759.
6.00	684.	1226.	41.	1869.	841.
6.50	762.	1336.	44.	2055.	926.
7.00	846.	1446.	48.	2244.	1013.
7.50	933.	1556.	51.	2438.	1102.
8.00	1024.	1666.	54.	2637.	1193.
8.50	1120.	1742.	58.	2804.	1271.
9.00	1220.	1817.	61.	2976.	1351.
9.50	1338.	1892.	64.	3165.	1441.
10.00	1536.	2032.	68.	3500.	1599.
10.50	1749.	2172.	71.	3849.	1765.
11.00	1962.	2311.	75.	4199.	1931.
11.50	2177.	2451.	78.	4550.	2098.
12.00	2393.	2591.	81.	4902.	2266.
12.50	2609.	2731.	85.	5255.	2434.
13.00	2827.	2870.	88.	5609.	2602.
13.50	3047.	2882.	92.	5837.	2716.
14.00	3272.	2967.	95.	6144.	2864.
14.50	3498.	3051.	98.	6451.	3013.
15.00	3724.	3136.	102.	6759.	3162.
15.50	3951.	3221.	105.	7066.	3311.
16.00	4177.	3305.	109.	7373.	3460.

VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2203 001	A	11 di 35

16.50	4403.	3390.	112.	7681.	3608.
17.00	4629.	3474.	115.	7988.	3757.
17.50	4855.	3486.	119.	8223.	3874.
18.00	5082.	3498.	122.	8458.	3991.
18.50	5308.	3510.	126.	8692.	4109.
19.00	5534.	3522.	129.	8927.	4226.
19.50	5760.	3534.	132.	9162.	4343.
20.00	5986.	3546.	136.	9396.	4460.
20.50	6213.	3557.	139.	9631.	4577.
21.00	6439.	3569.	143.	9866.	4694.
21.50	6665.	3581.	146.	10100.	4812.
22.00	6891.	3593.	149.	10335.	4929.
22.50	7117.	3605.	153.	10570.	5046.
23.00	7344.	3617.	156.	10804.	5163.
23.50	7570.	3629.	159.	11039.	5280.
24.00	7796.	3641.	163.	11274.	5398.
24.50	8022.	3652.	166.	11508.	5515.
25.00	8248.	3664.	170.	11743.	5632.
25.50	8475.	3676.	173.	11978.	5749.
26.00	8701.	3688.	176.	12212.	5866.
26.50	8927.	3700.	180.	12447.	5983.
27.00	9153.	3712.	183.	12682.	6101.
27.50	9379.	3724.	187.	12916.	6218.
28.00	9606.	3736.	190.	13151.	6335.
28.50	9832.	3747.	193.	13386.	6452.
29.00	10058.	3759.	197.	13620.	6569.
29.50	10284.	3771.	200.	13855.	6686.
30.00	10510.	3783.	204.	14090.	6804.
30.50	10736.	3795.	207.	14325.	6921.
31.00	10963.	3807.	210.	14559.	7038.
31.50	11189.	3819.	214.	14794.	7155.
32.00	11415.	3831.	217.	15029.	7272.
32.50	11641.	3842.	221.	15263.	7390.
33.00	11867.	3854.	224.	15498.	7507.
33.50	12094.	3866.	227.	15733.	7624.
34.00	12320.	3878.	231.	15967.	7741.
34.50	12546.	3890.	234.	16202.	7858.
35.00	12772.	3902.	238.	16437.	7975.
35.50	12998.	3914.	241.	16671.	8093.
36.00	13225.	3926.	244.	16906.	8210.
36.50	13451.	3937.	248.	17141.	8327.
37.00	13677.	3949.	251.	17375.	8444.
37.50	13903.	3961.	254.	17610.	8561.
38.00	14129.	3973.	258.	17845.	8678.
38.50	14356.	3985.	261.	18079.	8796.

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

Tabella 4 – VI22 - Capacità portante palo D=1200 mm - A1+M1+R3 Trazione

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI22

Capacità portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

STAMPA capacità portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
0.00	0.	0.	0.	0.	0.
0.50	33.	0.	-8.	41.	24.
1.00	70.	0.	-17.	87.	50.
1.50	113.	0.	-25.	139.	79.
2.00	161.	0.	-34.	195.	109.
2.50	213.	0.	-42.	256.	142.
3.00	271.	0.	-51.	321.	178.
3.50	333.	0.	-59.	392.	216.
4.00	400.	0.	-68.	468.	256.
4.50	469.	0.	-76.	545.	296.
5.00	520.	0.	-85.	604.	329.
5.50	570.	0.	-93.	663.	361.
6.00	623.	0.	-102.	725.	394.
6.50	680.	0.	-110.	790.	429.
7.00	739.	0.	-119.	858.	466.
7.50	801.	0.	-127.	929.	503.
8.00	867.	0.	-136.	1002.	543.
8.50	935.	0.	-144.	1079.	583.
9.00	1007.	0.	-153.	1159.	625.
9.50	1098.	0.	-161.	1259.	677.
10.00	1293.	0.	-170.	1462.	776.
10.50	1505.	0.	-178.	1683.	885.
11.00	1719.	0.	-187.	1905.	994.
11.50	1933.	0.	-195.	2129.	1103.
12.00	2149.	0.	-204.	2353.	1213.
12.50	2366.	0.	-212.	2578.	1323.
13.00	2584.	0.	-221.	2804.	1433.
13.50	2803.	0.	-229.	3032.	1545.
14.00	3029.	0.	-238.	3266.	1659.
14.50	3255.	0.	-246.	3501.	1774.
15.00	3481.	0.	-254.	3735.	1889.
15.50	3707.	0.	-263.	3970.	2003.
16.00	3933.	0.	-271.	4205.	2118.
16.50	4160.	0.	-280.	4439.	2233.
17.00	4386.	0.	-288.	4674.	2347.
17.50	4612.	0.	-297.	4909.	2462.
18.00	4838.	0.	-305.	5144.	2577.
18.50	5064.	0.	-314.	5378.	2691.
19.00	5291.	0.	-322.	5613.	2806.
19.50	5517.	0.	-331.	5848.	2921.
20.00	5743.	0.	-339.	6082.	3035.
20.50	5969.	0.	-348.	6317.	3150.
21.00	6195.	0.	-356.	6552.	3265.
21.50	6422.	0.	-365.	6786.	3380.
22.00	6648.	0.	-373.	7021.	3494.
22.50	6874.	0.	-382.	7256.	3609.
23.00	7100.	0.	-390.	7490.	3724.
23.50	7326.	0.	-399.	7725.	3838.
24.00	7552.	0.	-407.	7960.	3953.
24.50	7779.	0.	-416.	8194.	4068.
25.00	8005.	0.	-424.	8429.	4182.
25.50	8231.	0.	-433.	8664.	4297.
26.00	8457.	0.	-441.	8898.	4412.
26.50	8683.	0.	-450.	9133.	4526.
27.00	8910.	0.	-458.	9368.	4641.
27.50	9136.	0.	-467.	9602.	4756.
28.00	9362.	0.	-475.	9837.	4870.
28.50	9588.	0.	-483.	10072.	4985.
29.00	9814.	0.	-492.	10306.	5100.
29.50	10041.	0.	-500.	10541.	5214.

VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2203 001	A	13 di 35

30.00	10267.	0.	-509.	10776.	5329.
30.50	10493.	0.	-517.	11010.	5444.
31.00	10719.	0.	-526.	11245.	5558.
31.50	10945.	0.	-534.	11480.	5673.
32.00	11172.	0.	-543.	11714.	5788.
32.50	11398.	0.	-551.	11949.	5902.
33.00	11624.	0.	-560.	12184.	6017.
33.50	11850.	0.	-568.	12418.	6132.
34.00	12076.	0.	-577.	12653.	6246.
34.50	12303.	0.	-585.	12888.	6361.
35.00	12529.	0.	-594.	13123.	6476.
35.50	12755.	0.	-602.	13357.	6590.
36.00	12981.	0.	-611.	13592.	6705.
36.50	13207.	0.	-619.	13827.	6820.
37.00	13434.	0.	-628.	14061.	6935.
37.50	13660.	0.	-636.	14296.	7049.
38.00	13886.	0.	-645.	14531.	7164.
38.50	14112.	0.	-653.	14765.	7279.

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

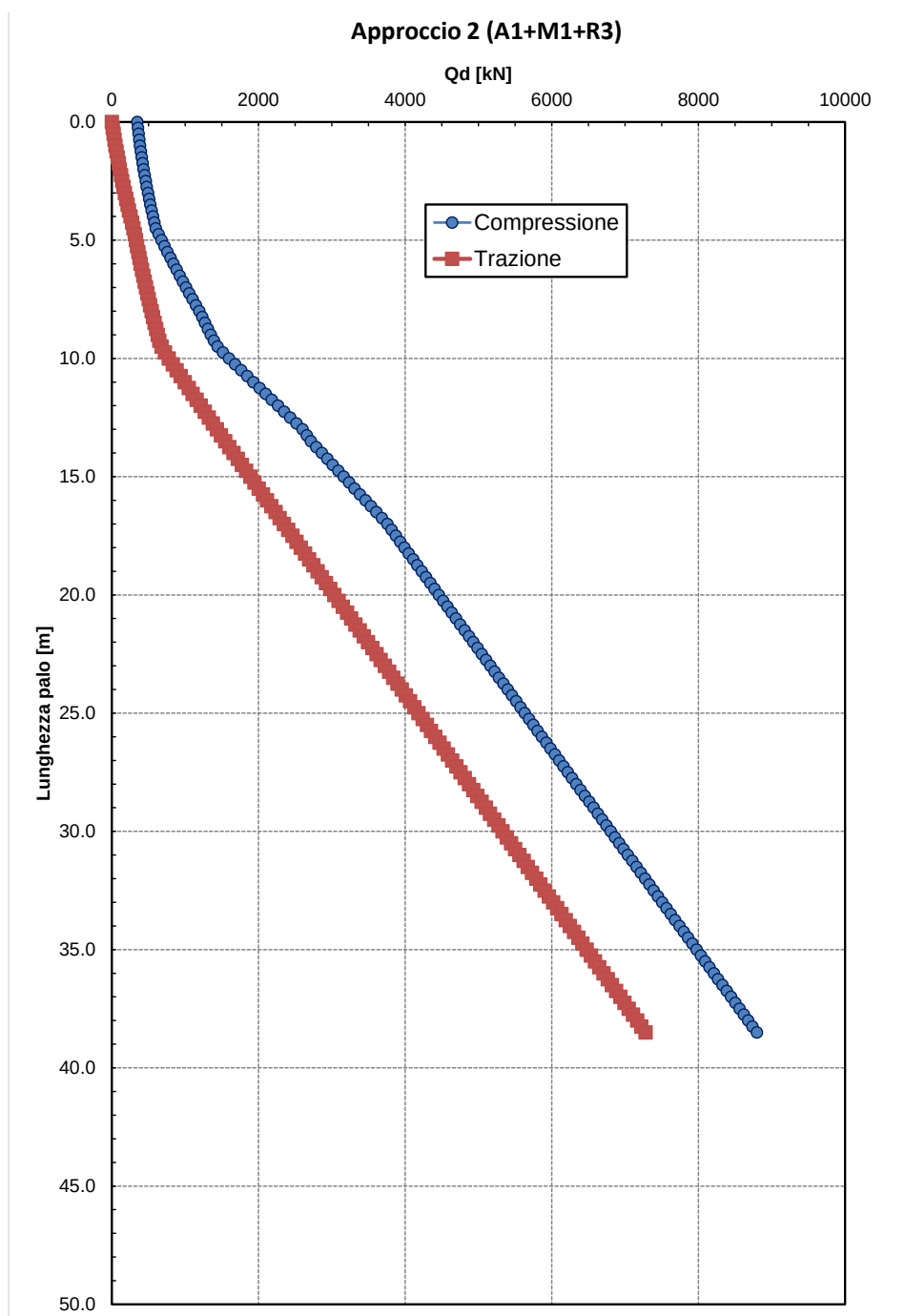


Figura 2 – Capacità portante palo D=1200 mm

3.2 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. [DC4]) 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 incoerenti sabbiose $kh = 6000 \text{ kN/m}^3$

Sulla base della stratigrafia e dei parametri, precedentemente definiti, si definisce il seguente profilo del modulo di reazione orizzontale palo-terreno, definito da testa palo (a 1.5 m da p.c. locale):

Prof. m	E kN/m ²
.000	26250.00
4.500	26250.00
4.510	36000.00
9.500	66000.00
9.510	87500.00
13.500	87500.00
13.510	105000.00
38.500	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.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2203 001	REV. A	FOGLIO 16 di 35

3.3 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 (EMR, 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. [DC4]) a cui si rimanda.

Nella seguente tabella si riportano i valori del parametro alfa $\alpha_m = M_0 / H_0$ ed a seguire l'andamento del momento adimensionale lungo il palo. La valutazione è stata eseguita con una lunghezza indicativa di 25.0 m.

Tabella 5 – VI22 - Valori di α_m

VI22	α_m [m]
D=1200mm	2.52

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 – Momento adimensionale lungo il palo per D=1200 mm

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI22 D=1200

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

z	Mad
m	-
.000	1.0000
.781	.7128
1.563	.4708
2.344	.2711
3.125	.1095
3.906	-.0191
4.688	-.1197
5.469	-.1901
6.250	-.2320
7.500	-.2504
8.750	-.2275
10.000	-.1824
11.250	-.1295
12.500	-.0804
14.583	-.0220
16.667	.0042
18.750	.0101
21.875	.0044
25.000	.0000

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

3.4 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	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]	Q _{ll} [kN]	L _{palo} [kN]
Spalle	4928	5398	1028	3953	3458	7796	24.0

Dove:

N_{max,c} = sollecitazione assiale massima a compressione

N_{max,t} = sollecitazione assiale massima a trazione

Q_{ll} = portata laterale limite

Q_{d,c} = portata di progetto a compressione

Q_{d,t} = portata di progetto a trazione

3.5 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. [DC4]) 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 $FS = \gamma_T \cdot \xi_3 = 1.30 \cdot 1.70 = 2.21$ (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 FS_g , da cui: $H_d = H_{max} / 2.76$.

Il valore caratteristico della resistenza (H_{max}) è stato valutato con riferimento ad un momento di plasticizzazione M_y pari a 4801.5 kNm, considerando il diametro del palo $D=1200$ mm e l'armatura di 30+30 ϕ 26 con combinazione di carico più gravosa (taglio massimo che è associato a massima 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]
VI22	-	200	3635.42	1317.2	937

3.6 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.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2203 001	REV. A	FOGLIO 19 di 35

Le fondazioni del viadotto sono caratterizzate da 8 pali D=1200 mm.

La verifica è stata eseguita considerando il carico assiale massimo individuato in tutto il viadotto che è pari a $N_{max}=22472$ 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 ($= Q_{d,gruppo} / N_{max}$) è sempre > 1.0 .

Portanza Pali in Gruppo

SPALLE

Diametro	1.2 [m]
interasse	3.6 [m]
n. pali per fila	2 [-]
m n. file	4 [-]
Φ	18.435 [°]

E efficienza	0.74 [-]
--------------	----------

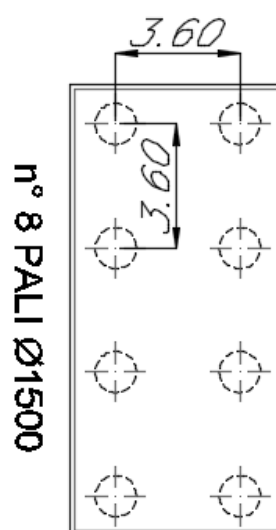
Palo Singolo

$R_d = Q_d$	5398 [kN]
-------------	-----------

Gruppo di pali

$N_{max,SLU}$	22472 [kN]
Q_d Gruppo	32127 [kN]

FS	1.43 [-]
----	----------



3.7 Stima cedimenti delle fondazioni

Relativamente alle palificate delle spalle, si osserva che i rilevati di approccio presentano un'altezza intorno ai 6-7m e si sviluppano su terreni prevalentemente coesivi, con uno spessore di materiale alluvionale recente coesivo tra 6 e 12 m circa, talvolta intercalato da lenti di sabbia che sovrasta il substrato di base rappresentato dalla Formazione di Terravecchia. 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=1200 mm

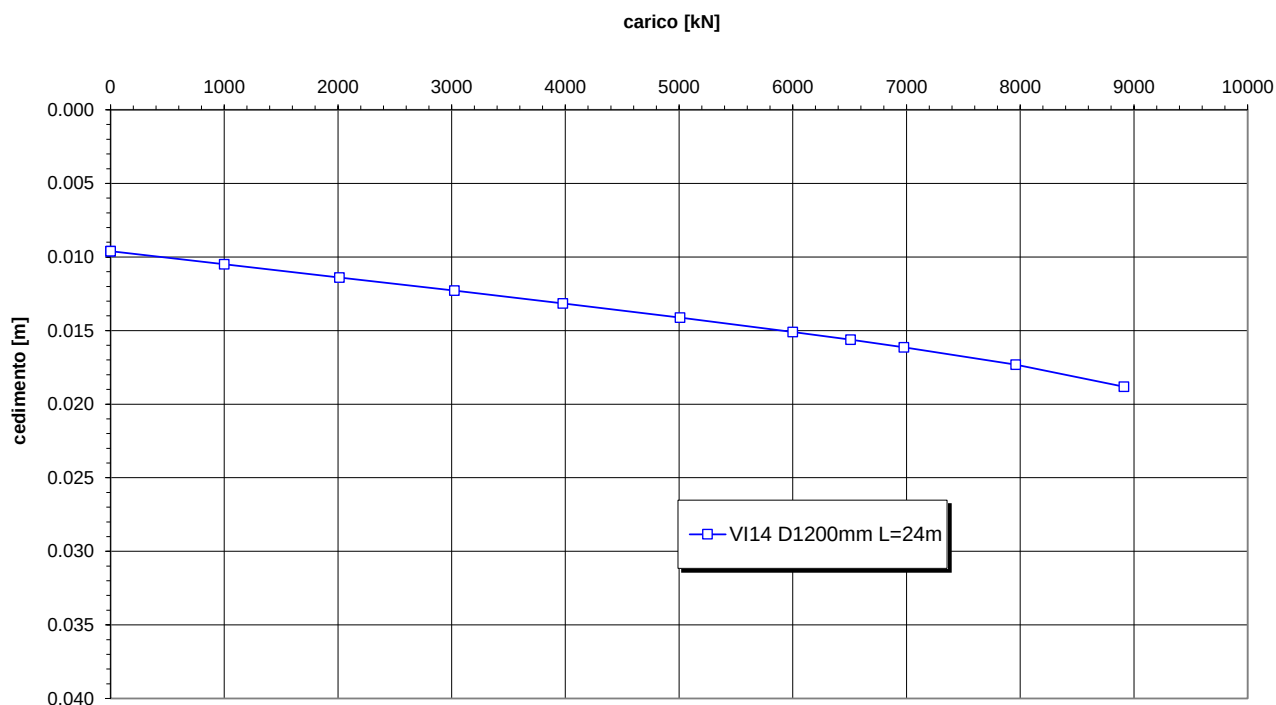


Figura 3 – Curva carico-cedimento in presenza di attrito negativo

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 3458 kN si stimano, in condizioni di attrito negativo, cedimenti del singolo palo (s) dell'ordine di 1.3 cm e quindi compatibili con la funzionalità delle sovrastrutture.

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

4.1 Compressione. Palo D=1200 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 VI22
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3

Quota testa palo da p.c.	=	1.50 m
Quota falda da p.c.	=	1.50 m
Peso di volume del palo	=	6.00 kN/m ³
Fattore di sicurezza portata laterale	=	1.96 (FS,l)
Fattore di sicurezza portata di base	=	2.30 (FS,b)

Elemento cilindrico, Diametro fusto = 1200. mm

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: $3.0 * 1.200 = 3.60$ m
entro lo strato se quello sovrastante e' piu' debole

La base del palo deve essere situata almeno: $3.0 * 1.200 = 3.60$ 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 VI22
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2203 001	A	22 di 35

Strato 1 "bcc " (Coesivo) da .00 a 6.00 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

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

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

$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$

$$C_u \text{ variabile lin. da } 75.0 \text{ a } 75.0 \text{ kPa}$$

Strato 2 "bcis " (Incoerente) da 6.00 a 11.00 m

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

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

$$K = .70 \quad \delta = 34.0 \text{ deg}$$

$$Q_b = 14.0 * S'v < 4300. \text{ kPa}$$

Strato 3 "TRVa " (Coesivo) da 11.00 a 15.00 m

$$G_n = 21.0 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 11.0 \text{ kN/m}^3$$

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

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

$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$

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

pag./ 4

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI22
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

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

$$G_n = 21.0 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 11.0 \text{ kN/m}^3$$

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

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

$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$

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

pag./ 5

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI22
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3

MULTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "bcc "	1.00	1.00	1.00
2 "bcis "	1.00	1.00	-
3 "TRVa "	1.00	1.00	1.00
4 "TRVa "	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 VI22
 Capacita' portante palo D=1200 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
1.50	29.3	29.3	75.0	.55	16.1	704.
2.00	34.0	39.0	75.0	.55	18.7	714.
2.50	38.8	48.8	75.0	.55	21.3	724.
3.00	43.5	58.5	75.0	.55	23.9	734.
3.50	48.3	68.3	75.0	.55	26.5	743.
4.00	53.0	78.0	75.0	.55	29.2	753.
4.50	57.8	87.8	75.0	.55	31.8	763.
5.00	62.5	97.5	75.0	.55	34.4	773.
5.50	67.3	107.3	75.0	.55	37.0	782.
6.00	72.0	117.0	75.0	.51	36.8	792.
6.50	76.8	126.8	--	.47	36.2	889.
7.00	81.5	136.5	--	.47	38.5	987.
7.50	86.3	146.3	--	.47	40.7	1084.
8.00	91.0	156.0	--	.47	43.0	1181.
8.50	95.8	165.8	--	.47	45.2	1279.
9.00	100.5	175.5	--	.47	47.5	1376.
9.50	105.3	185.3	--	.47	49.7	1474.
10.00	110.0	195.0	--	.47	51.9	1540.
10.50	114.8	204.8	--	.47	54.2	1607.
11.00	119.5	214.5	--	.70	84.2	1673.
11.50	125.0	225.0	250.0	.90	112.5	1797.

VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2203 001	A	24 di 35

12.00	130.5	235.5	250.0	.87	113.1	1920.
12.50	136.0	246.0	250.0	.84	113.6	2044.
13.00	141.5	256.5	250.0	.81	114.2	2167.
13.50	147.0	267.0	250.0	.78	114.7	2291.
14.00	152.5	277.5	250.0	.76	115.3	2414.
14.50	158.0	288.0	250.0	.73	115.8	2538.
15.00	163.5	298.5	250.0	.72	118.2	2549.
15.50	169.0	309.0	300.0	.71	120.0	2623.
16.00	174.5	319.5	300.0	.69	120.0	2698.

pag. / 7

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI22
Capacita' portante palo D=1200 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
16.50	180.0	330.0	300.0	.67	120.0	2773.
17.00	185.5	340.5	300.0	.65	120.0	2848.
17.50	191.0	351.0	300.0	.63	120.0	2922.
18.00	196.5	361.5	300.0	.61	120.0	2997.
18.50	202.0	372.0	300.0	.59	120.0	3072.
19.00	207.5	382.5	300.0	.58	120.0	3083.
19.50	213.0	393.0	300.0	.56	120.0	3093.
20.00	218.5	403.5	300.0	.55	120.0	3104.
20.50	224.0	414.0	300.0	.54	120.0	3114.
21.00	229.5	424.5	300.0	.52	120.0	3125.
21.50	235.0	435.0	300.0	.51	120.0	3135.
22.00	240.5	445.5	300.0	.50	120.0	3146.
22.50	246.0	456.0	300.0	.49	120.0	3156.
23.00	251.5	466.5	300.0	.48	120.0	3167.
23.50	257.0	477.0	300.0	.47	120.0	3177.
24.00	262.5	487.5	300.0	.46	120.0	3188.
24.50	268.0	498.0	300.0	.45	120.0	3198.
25.00	273.5	508.5	300.0	.44	120.0	3209.
25.50	279.0	519.0	300.0	.43	120.0	3219.
26.00	284.5	529.5	300.0	.42	120.0	3230.
26.50	290.0	540.0	300.0	.41	120.0	3240.
27.00	295.5	550.5	300.0	.41	120.0	3251.
27.50	301.0	561.0	300.0	.40	120.0	3261.
28.00	306.5	571.5	300.0	.39	120.0	3272.
28.50	312.0	582.0	300.0	.38	120.0	3282.
29.00	317.5	592.5	300.0	.38	120.0	3293.
29.50	323.0	603.0	300.0	.37	120.0	3303.
30.00	328.5	613.5	300.0	.37	120.0	3314.
30.50	334.0	624.0	300.0	.36	120.0	3324.
31.00	339.5	634.5	300.0	.35	120.0	3335.

pag. / 8

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI22
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2203 001	A	25 di 35

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
31.50	345.0	645.0	300.0	.35	120.0	3345.
32.00	350.5	655.5	300.0	.34	120.0	3356.
32.50	356.0	666.0	300.0	.34	120.0	3366.
33.00	361.5	676.5	300.0	.33	120.0	3377.
33.50	367.0	687.0	300.0	.33	120.0	3387.
34.00	372.5	697.5	300.0	.32	120.0	3398.
34.50	378.0	708.0	300.0	.32	120.0	3408.
35.00	383.5	718.5	300.0	.31	120.0	3419.
35.50	389.0	729.0	300.0	.31	120.0	3429.
36.00	394.5	739.5	300.0	.30	120.0	3440.
36.50	400.0	750.0	300.0	.30	120.0	3450.
37.00	405.5	760.5	300.0	.30	120.0	3461.
37.50	411.0	771.0	300.0	.29	120.0	3471.
38.00	416.5	781.5	300.0	.29	120.0	3482.
38.50	422.0	792.0	300.0	.28	120.0	3492.
39.00	427.5	802.5	300.0	.28	120.0	3503.
39.50	433.0	813.0	300.0	.28	120.0	3513.
40.00	438.5	823.5	300.0	.27	120.0	3524.

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 VI22
Capacita' portante palo D=1200 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.	796.	0.	796.	346.
.50	33.	808.	3.	837.	364.
1.00	70.	819.	7.	882.	385.
1.50	113.	830.	10.	933.	408.
2.00	161.	841.	14.	988.	434.
2.50	213.	852.	17.	1048.	462.
3.00	271.	863.	20.	1113.	493.
3.50	333.	874.	24.	1183.	526.
4.00	400.	885.	27.	1258.	562.
4.50	471.	896.	31.	1336.	599.
5.00	539.	1006.	34.	1510.	678.
5.50	609.	1116.	37.	1688.	759.
6.00	684.	1226.	41.	1869.	841.
6.50	762.	1336.	44.	2055.	926.
7.00	846.	1446.	48.	2244.	1013.
7.50	933.	1556.	51.	2438.	1102.
8.00	1024.	1666.	54.	2637.	1193.
8.50	1120.	1742.	58.	2804.	1271.
9.00	1220.	1817.	61.	2976.	1351.
9.50	1338.	1892.	64.	3165.	1441.
10.00	1536.	2032.	68.	3500.	1599.
10.50	1749.	2172.	71.	3849.	1765.
11.00	1962.	2311.	75.	4199.	1931.
11.50	2177.	2451.	78.	4550.	2098.
12.00	2393.	2591.	81.	4902.	2266.
12.50	2609.	2731.	85.	5255.	2434.

VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2203 001	A	26 di 35

13.00	2827.	2870.	88.	5609.	2602.
13.50	3047.	2882.	92.	5837.	2716.
14.00	3272.	2967.	95.	6144.	2864.
14.50	3498.	3051.	98.	6451.	3013.

pag. / 10

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI22
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
15.00	3724.	3136.	102.	6759.	3162.
15.50	3951.	3221.	105.	7066.	3311.
16.00	4177.	3305.	109.	7373.	3460.
16.50	4403.	3390.	112.	7681.	3608.
17.00	4629.	3474.	115.	7988.	3757.
17.50	4855.	3486.	119.	8223.	3874.
18.00	5082.	3498.	122.	8458.	3991.
18.50	5308.	3510.	126.	8692.	4109.
19.00	5534.	3522.	129.	8927.	4226.
19.50	5760.	3534.	132.	9162.	4343.
20.00	5986.	3546.	136.	9396.	4460.
20.50	6213.	3557.	139.	9631.	4577.
21.00	6439.	3569.	143.	9866.	4694.
21.50	6665.	3581.	146.	10100.	4812.
22.00	6891.	3593.	149.	10335.	4929.
22.50	7117.	3605.	153.	10570.	5046.
23.00	7344.	3617.	156.	10804.	5163.
23.50	7570.	3629.	159.	11039.	5280.
24.00	7796.	3641.	163.	11274.	5398.
24.50	8022.	3652.	166.	11508.	5515.
25.00	8248.	3664.	170.	11743.	5632.
25.50	8475.	3676.	173.	11978.	5749.
26.00	8701.	3688.	176.	12212.	5866.
26.50	8927.	3700.	180.	12447.	5983.
27.00	9153.	3712.	183.	12682.	6101.
27.50	9379.	3724.	187.	12916.	6218.
28.00	9606.	3736.	190.	13151.	6335.
28.50	9832.	3747.	193.	13386.	6452.
29.00	10058.	3759.	197.	13620.	6569.
29.50	10284.	3771.	200.	13855.	6686.

pag. / 11

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI22
Capacita' portante palo D=1200 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	10510.	3783.	204.	14090.	6804.
30.50	10736.	3795.	207.	14325.	6921.

31.00	10963.	3807.	210.	14559.	7038.
31.50	11189.	3819.	214.	14794.	7155.
32.00	11415.	3831.	217.	15029.	7272.
32.50	11641.	3842.	221.	15263.	7390.
33.00	11867.	3854.	224.	15498.	7507.
33.50	12094.	3866.	227.	15733.	7624.
34.00	12320.	3878.	231.	15967.	7741.
34.50	12546.	3890.	234.	16202.	7858.
35.00	12772.	3902.	238.	16437.	7975.
35.50	12998.	3914.	241.	16671.	8093.
36.00	13225.	3926.	244.	16906.	8210.
36.50	13451.	3937.	248.	17141.	8327.
37.00	13677.	3949.	251.	17375.	8444.
37.50	13903.	3961.	254.	17610.	8561.
38.00	14129.	3973.	258.	17845.	8678.
38.50	14356.	3985.	261.	18079.	8796.

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

4.2 Trazione. Palo D=1200 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 VI22
 Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

Quota testa palo da p.c. = 1.50 m
 Quota falda da p.c. = 1.50 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 = 1200. 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: $3.0 * 1.200 = 3.60$ m
 entro lo strato se quello sovrastante e' piu' debole

VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2203 001	A	28 di 35

La base del palo deve essere situata almeno: $3.0 * 1.200 = 3.60$ 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 VI22
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 1 "bcc " (Coesivo) da .00 a 6.00 m

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

$\tau = \alpha * C_u < 100.0 \text{ kPa}$
Criterio $\alpha(C_u)$ nel seguito

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

Q_b variabile lin. da 0. a 0. kPa

C_u variabile lin. da 75.0 a 75.0 kPa

Strato 2 "bcis " (Incoerente) da 6.00 a 11.00 m

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

$\tau = K * \tan(\delta) * S'v < 150.0 \text{ kPa}$
 $K = .50$ $\delta = 34.0 \text{ deg}$

Q_b variabile lin. da 0. a 0. kPa

Strato 3 "TRVa " (Coesivo) da 11.00 a 15.00 m

$G_n = 21.0 \text{ kN/m}^3$ $G_e = 11.0 \text{ kN/m}^3$

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

Q_b variabile lin. da 0. a 0. kPa

C_u variabile lin. da 250.0 a 250.0 kPa

pag./ 4

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI22
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2203 001	A	29 di 35

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

Gn = 21.0 kN/m3 Ge = 11.0 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 VI22
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "bcc "	1.00	1.00	1.00
2 "bcis "	1.00	1.00	-
3 "TRVa "	1.00	1.00	1.00
4 "TRVa "	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 VI22
Capacita' portante palo D=1200 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
1.50	29.3	29.3	75.0	.55	16.1	0.
2.00	34.0	39.0	75.0	.55	18.7	0.
2.50	38.8	48.8	75.0	.55	21.3	0.

VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2203 001	A	30 di 35

3.00	43.5	58.5	75.0	.55	23.9	0.
3.50	48.3	68.3	75.0	.55	26.5	0.
4.00	53.0	78.0	75.0	.55	29.2	0.
4.50	57.8	87.8	75.0	.55	31.8	0.
5.00	62.5	97.5	75.0	.55	34.4	0.
5.50	67.3	107.3	75.0	.55	37.0	0.
6.00	72.0	117.0	75.0	.44	31.9	0.
6.50	76.8	126.8	--	.34	25.9	0.
7.00	81.5	136.5	--	.34	27.5	0.
7.50	86.3	146.3	--	.34	29.1	0.
8.00	91.0	156.0	--	.34	30.7	0.
8.50	95.8	165.8	--	.34	32.3	0.
9.00	100.5	175.5	--	.34	33.9	0.
9.50	105.3	185.3	--	.34	35.5	0.
10.00	110.0	195.0	--	.34	37.1	0.
10.50	114.8	204.8	--	.34	38.7	0.
11.00	119.5	214.5	--	.64	76.1	0.
11.50	125.0	225.0	250.0	.90	112.5	0.
12.00	130.5	235.5	250.0	.87	113.1	0.
12.50	136.0	246.0	250.0	.84	113.6	0.
13.00	141.5	256.5	250.0	.81	114.2	0.
13.50	147.0	267.0	250.0	.78	114.7	0.
14.00	152.5	277.5	250.0	.76	115.3	0.
14.50	158.0	288.0	250.0	.73	115.8	0.
15.00	163.5	298.5	250.0	.72	118.2	0.
15.50	169.0	309.0	300.0	.71	120.0	0.
16.00	174.5	319.5	300.0	.69	120.0	0.

pag. / 7

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI22
Capacita' portante palo D=1200 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
16.50	180.0	330.0	300.0	.67	120.0	0.
17.00	185.5	340.5	300.0	.65	120.0	0.
17.50	191.0	351.0	300.0	.63	120.0	0.
18.00	196.5	361.5	300.0	.61	120.0	0.
18.50	202.0	372.0	300.0	.59	120.0	0.
19.00	207.5	382.5	300.0	.58	120.0	0.
19.50	213.0	393.0	300.0	.56	120.0	0.
20.00	218.5	403.5	300.0	.55	120.0	0.
20.50	224.0	414.0	300.0	.54	120.0	0.
21.00	229.5	424.5	300.0	.52	120.0	0.
21.50	235.0	435.0	300.0	.51	120.0	0.
22.00	240.5	445.5	300.0	.50	120.0	0.
22.50	246.0	456.0	300.0	.49	120.0	0.
23.00	251.5	466.5	300.0	.48	120.0	0.
23.50	257.0	477.0	300.0	.47	120.0	0.
24.00	262.5	487.5	300.0	.46	120.0	0.
24.50	268.0	498.0	300.0	.45	120.0	0.
25.00	273.5	508.5	300.0	.44	120.0	0.
25.50	279.0	519.0	300.0	.43	120.0	0.
26.00	284.5	529.5	300.0	.42	120.0	0.
26.50	290.0	540.0	300.0	.41	120.0	0.
27.00	295.5	550.5	300.0	.41	120.0	0.
27.50	301.0	561.0	300.0	.40	120.0	0.
28.00	306.5	571.5	300.0	.39	120.0	0.
28.50	312.0	582.0	300.0	.38	120.0	0.
29.00	317.5	592.5	300.0	.38	120.0	0.
29.50	323.0	603.0	300.0	.37	120.0	0.

VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2203 001	A	31 di 35

30.00	328.5	613.5	300.0	.37	120.0	0.
30.50	334.0	624.0	300.0	.36	120.0	0.
31.00	339.5	634.5	300.0	.35	120.0	0.

pag./ 8

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI22
Capacita' portante palo D=1200 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
31.50	345.0	645.0	300.0	.35	120.0	0.
32.00	350.5	655.5	300.0	.34	120.0	0.
32.50	356.0	666.0	300.0	.34	120.0	0.
33.00	361.5	676.5	300.0	.33	120.0	0.
33.50	367.0	687.0	300.0	.33	120.0	0.
34.00	372.5	697.5	300.0	.32	120.0	0.
34.50	378.0	708.0	300.0	.32	120.0	0.
35.00	383.5	718.5	300.0	.31	120.0	0.
35.50	389.0	729.0	300.0	.31	120.0	0.
36.00	394.5	739.5	300.0	.30	120.0	0.
36.50	400.0	750.0	300.0	.30	120.0	0.
37.00	405.5	760.5	300.0	.30	120.0	0.
37.50	411.0	771.0	300.0	.29	120.0	0.
38.00	416.5	781.5	300.0	.29	120.0	0.
38.50	422.0	792.0	300.0	.28	120.0	0.
39.00	427.5	802.5	300.0	.28	120.0	0.
39.50	433.0	813.0	300.0	.28	120.0	0.
40.00	438.5	823.5	300.0	.27	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 VI22
Capacita' portante palo D=1200 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	33.	0.	-8.	41.	24.
1.00	70.	0.	-17.	87.	50.
1.50	113.	0.	-25.	139.	79.
2.00	161.	0.	-34.	195.	109.
2.50	213.	0.	-42.	256.	142.
3.00	271.	0.	-51.	321.	178.
3.50	333.	0.	-59.	392.	216.

VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2203 001	A	32 di 35

4.00	400.	0.	-68.	468.	256.
4.50	469.	0.	-76.	545.	296.
5.00	520.	0.	-85.	604.	329.
5.50	570.	0.	-93.	663.	361.
6.00	623.	0.	-102.	725.	394.
6.50	680.	0.	-110.	790.	429.
7.00	739.	0.	-119.	858.	466.
7.50	801.	0.	-127.	929.	503.
8.00	867.	0.	-136.	1002.	543.
8.50	935.	0.	-144.	1079.	583.
9.00	1007.	0.	-153.	1159.	625.
9.50	1098.	0.	-161.	1259.	677.
10.00	1293.	0.	-170.	1462.	776.
10.50	1505.	0.	-178.	1683.	885.
11.00	1719.	0.	-187.	1905.	994.
11.50	1933.	0.	-195.	2129.	1103.
12.00	2149.	0.	-204.	2353.	1213.
12.50	2366.	0.	-212.	2578.	1323.
13.00	2584.	0.	-221.	2804.	1433.
13.50	2803.	0.	-229.	3032.	1545.
14.00	3029.	0.	-238.	3266.	1659.
14.50	3255.	0.	-246.	3501.	1774.

pag./ 10

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI22
Capacita' portante palo D=1200 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	3481.	0.	-254.	3735.	1889.
15.50	3707.	0.	-263.	3970.	2003.
16.00	3933.	0.	-271.	4205.	2118.
16.50	4160.	0.	-280.	4439.	2233.
17.00	4386.	0.	-288.	4674.	2347.
17.50	4612.	0.	-297.	4909.	2462.
18.00	4838.	0.	-305.	5144.	2577.
18.50	5064.	0.	-314.	5378.	2691.
19.00	5291.	0.	-322.	5613.	2806.
19.50	5517.	0.	-331.	5848.	2921.
20.00	5743.	0.	-339.	6082.	3035.
20.50	5969.	0.	-348.	6317.	3150.
21.00	6195.	0.	-356.	6552.	3265.
21.50	6422.	0.	-365.	6786.	3380.
22.00	6648.	0.	-373.	7021.	3494.
22.50	6874.	0.	-382.	7256.	3609.
23.00	7100.	0.	-390.	7490.	3724.
23.50	7326.	0.	-399.	7725.	3838.
24.00	7552.	0.	-407.	7960.	3953.
24.50	7779.	0.	-416.	8194.	4068.
25.00	8005.	0.	-424.	8429.	4182.
25.50	8231.	0.	-433.	8664.	4297.
26.00	8457.	0.	-441.	8898.	4412.
26.50	8683.	0.	-450.	9133.	4526.
27.00	8910.	0.	-458.	9368.	4641.
27.50	9136.	0.	-467.	9602.	4756.
28.00	9362.	0.	-475.	9837.	4870.
28.50	9588.	0.	-483.	10072.	4985.
29.00	9814.	0.	-492.	10306.	5100.
29.50	10041.	0.	-500.	10541.	5214.

VI22 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2203 001	A	33 di 35

pag. / 11

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI22
Capacita' portante palo D=1200 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	10267.	0.	-509.	10776.	5329.
30.50	10493.	0.	-517.	11010.	5444.
31.00	10719.	0.	-526.	11245.	5558.
31.50	10945.	0.	-534.	11480.	5673.
32.00	11172.	0.	-543.	11714.	5788.
32.50	11398.	0.	-551.	11949.	5902.
33.00	11624.	0.	-560.	12184.	6017.
33.50	11850.	0.	-568.	12418.	6132.
34.00	12076.	0.	-577.	12653.	6246.
34.50	12303.	0.	-585.	12888.	6361.
35.00	12529.	0.	-594.	13123.	6476.
35.50	12755.	0.	-602.	13357.	6590.
36.00	12981.	0.	-611.	13592.	6705.
36.50	13207.	0.	-619.	13827.	6820.
37.00	13434.	0.	-628.	14061.	6935.
37.50	13660.	0.	-636.	14296.	7049.
38.00	13886.	0.	-645.	14531.	7164.
38.50	14112.	0.	-653.	14765.	7279.

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

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

5.1 D=1200 mm

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI22 D=1200

Lunghezza palo	Lp	=	25.00 m
Diametro palo	D	=	1.20 m
Modulo elastico palo	Ep	=	30000.00 MPa
Rigidezza flessionale	EJ	=	3053629.00 kN*m ²

Definizione per punti del modulo di reazione del terreno E

Prof. m	E kN/m ²
.000	21000.00
4.500	21000.00
4.510	28800.00
9.500	52800.00
9.510	70000.00
13.500	70000.00
13.510	84000.00
38.500	84000.00

Per il primo segmento:

Modulo iniziale	Eo	=	21000.000 kN/m ²
Gradiente del modulo	Kh	=	.000 kN/m ³

Lunghezza elastica	T = (EJ/Eo) ^{0.25}	=	3.473 m
Zmax = Lp/T		=	7.199

Coefficienti adimensionali di flessibilita' della sommita' del palo:

Ay =	1.3826
As = By =	.9881
Bs =	1.3627

Spostamento: $d = A_y F_o T^3/EJ + B_y M_o T^2/EJ$
Rotazione: $r = A_s F_o T^2/EJ + B_s M_o T / EJ$

Per sommita' palo impedita di ruotare:

$M_o = - (T A_s/B_s) * F_o = - \alpha * F_o$ $\alpha = 2.5179 \text{ m}$

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

Taglio: $F = A_v F_o + B_v M_o/T$
Momento: $M = A_m F_o T + B_m M_o$

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI22 D=1200

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

z m	Mad -
.000	1.0000
.781	.7128
1.563	.4708
2.344	.2711
3.125	.1095
3.906	-.0191
4.688	-.1197
5.469	-.1901
6.250	-.2320
7.500	-.2504
8.750	-.2275
10.000	-.1824
11.250	-.1295
12.500	-.0804
14.583	-.0220
16.667	.0042
18.750	.0101
21.875	.0044
25.000	.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
.225	.7149	.1915	-.1898	.9768
.450	.4773	.3241	-.3214	.9179
.675	.2858	.4087	-.4070	.8348
.900	.1358	.4550	-.4550	.7369
1.125	.0224	.4718	-.4752	.6316
1.350	-.0662	.4669	-.4743	.5242
1.575	-.1494	.4419	-.4534	.4194
1.800	-.2111	.4011	-.4128	.3212
2.160	-.2525	.3158	-.3350	.1851
2.520	-.2500	.2236	-.2443	.0808
2.880	-.2140	.1385	-.1546	.0086
3.240	-.1572	.0716	-.0721	-.0307
3.600	-.0998	.0250	-.0160	-.0459
4.200	-.0324	-.0138	.0240	-.0410
4.800	.0032	-.0200	.0284	-.0233
5.399	.0128	-.0138	.0173	-.0090
6.299	.0079	-.0034	.0035	-.0002
7.199	.0000	.0000	.0000	.0000