

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

VI20 - Ponte ferroviario a Doppio Binario - 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 VI2003 001 A

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

ITALFERR S.p.A.  
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti  
Dott. Ing. Angelo Vittozzi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
N° 420783  
Novembre 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 .....	5
3.3	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	7
3.4	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	7
4.	PALIFICATE DI FONDAZIONE .....	8
4.1	CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI.....	8
4.1.1	<i>Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo.....</i>	8
4.1.2	<i>Calcolo della capacità portante .....</i>	8
4.2	MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO .....	14
4.3	MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO.....	14
4.4	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE AI CARICHI VERTICALI SINGOLO PALO .....	16
4.5	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI .....	16
4.6	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE GRUPPO DI PALI .....	17
4.7	STIMA CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI.....	18
5.	APPENDICE A: VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI. TABULATI DI CALCOLO PAL ..	20
5.1	COMPRESSIONE. PALO D=1200 MM .....	20
5.2	TRAZIONE. PALO D=1200 MM .....	26
6.	APPENDICE B: VALUTAZIONE DEL MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO. TABULATI DI CALCOLO MR.....	33
6.1	D=1200 MM .....	33

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2003 001	REV. A	FOGLIO 3 di 34

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione si riporta il dimensionamento delle fondazioni del Viadotto VI20 nell'ambito del Progetto Definitivo del 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					
VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2003 001	REV. A	FOGLIO 4 di 34

## 2. **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

### 2.1 **Normativa di riferimento**

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

### 2.2 **Documenti di riferimento**

- [DC1]. RS0L 00 D78 RH GE0005 001B - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa. Progetto Definitivo. Relazione geotecnica generale.
- [DC2]. Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa. Progetto Definitivo. Profilo longitudinale geotecnico;
- [DC3]. RS3E 50 D 09 RB VI2003 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.

### 3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

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

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

#### 3.1 Indagini geotecniche eseguite

L'opera in esame è ubicata tra le progressive km 14+033.886 e km 14+051.337.

In corrispondenza dell'opera è stato eseguito il sondaggio D34 che verrà preso a riferimento per la definizione della stratigrafia; inoltre per la scelta dei parametri geotecnici si farà riferimento anche al sondaggio S7 per le unità geotecniche comuni. Nella seguente tabella si sintetizzano le informazioni delle indagini in sito eseguite vicino all'opera.

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
S7	40.0	149.0	2	4	2	10	2	-	TA[1÷9]
D34	30.0	136.5	2	10	-	5	2	2	TA[3÷18]

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-VI12.

Dalle misure piezometriche disponibili il livello di falda massimo è alla profondità di 7 m circa da p.c., quota +129 m s.l.m. (D34) e +141.3 m s.l.m. (S7).

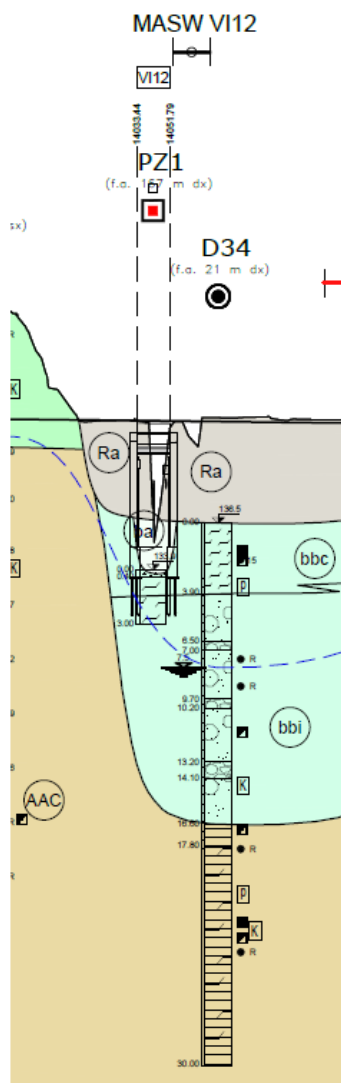
#### 3.2 Stratigrafia

La stratigrafia lungo lo sviluppo del viadotto è la seguente (quota riferimento +142.0 m s.l.m.):

STRATIGRAFIA		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
Ra	Materiale di riporto antropico	0.0÷5.5
bbc	Alluvioni recenti coesive	5.5÷9.5
bbi	Alluvioni recenti ghiaiose	9.5÷22.0
AAC	Argille limose marnose di Catenanuova	22.0÷40.0

FALDA: +129 m s.l.m.

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. [DC3], 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 – VI12 – Parametri geotecnici

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$V_s$ [m/s]	$G_o$ [MPa]	$E_o$ [MPa]	$E'_{op,1}$ [MPa]	$E'_{op,2}$ [MPa]
bbc	19.5	80	0	25	190	70	150	$E_o / 3$	$E_o / 10$
Ra	20.0	-	0	35	-		200	$E_o / 3$	$E_o / 10$
bbi	19.5	-	0	38	250÷400	120÷300	300÷600	$E_o / 3$	$E_o / 10$
AAC	20.5	300 (z<30m) 350 (z>30m)	5	24	440÷630 (*)	155÷400 (*)	400÷1000 (*)	$E_o / 3$	$E_o / 10$

Dove:

$\gamma$  = peso di volume naturale

$c_u$  = resistenza al taglio in condizioni non drenate

$c'$  = coesione drenata

$\phi'$  = 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.

Z = profondità da p.c.

(\*\*) da prova MASW-VI12

## 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. [DC4]) 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 stratigrafia è stata definita con riferimento a quota p.c. +134.5 m s.l.m..

Tabella 2 – VI20 – Parametri geotecnici

Profondità [m]	Unità geotecnica	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$\varphi'$ [°]	$q_b$ [kPa]
da 0.0 a 2.0	bbc	19.5	60	-	$9 \cdot c_u + \sigma_v$
da 2.0 a 14.5	bbi	19.5	-	38	$23 \cdot \sigma'_v \leq 5800$
da 14.5 a 40.0	AAC	20.5	300 (z<30m) 350 (z>30m)	-	$9 \cdot c_u + \sigma_v$

Dove:  
 $\gamma$  = peso di volume naturale  
 $c_u$  = resistenza al taglio in condizioni non drenate  
 $\varphi'$  = angolo di resistenza al taglio  
 $q_b$  = portata limite di base  
 $\sigma_v$  = tensione verticale totale  
 $\sigma'_v$  = tensione verticale efficace

#### 4.1.2 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 2.0 m di profondità da p.c.;
- falda a 2.0 m da p.c.

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

*Tabella 3 – VI20 – Capacità portante palo D=1200 mm - A1+M1+R3 Compressione*

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20  
Capacità portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA capacità portante e relativi contributi

Lp m	Q <sub>II</sub> kN	Q <sub>b1</sub> kN	W <sub>p</sub> kN	Q <sub>u</sub> kN	Q <sub>d</sub> kN
.00	0.	655.	0.	655.	285.
.50	43.	830.	3.	869.	379.
1.00	90.	1005.	7.	1088.	476.
1.50	143.	1180.	10.	1312.	576.
2.00	200.	1355.	14.	1541.	677.
2.50	262.	1530.	17.	1775.	782.
3.00	329.	1704.	20.	2013.	889.
3.50	401.	1879.	24.	2257.	998.
4.00	478.	2003.	27.	2454.	1088.
4.50	560.	2127.	31.	2656.	1180.
5.00	647.	2250.	34.	2863.	1274.
5.50	739.	2374.	37.	3075.	1371.
6.00	835.	2497.	41.	3292.	1471.
6.50	936.	2621.	44.	3513.	1573.
7.00	1043.	2744.	48.	3740.	1678.
7.50	1154.	2868.	51.	3971.	1785.
8.00	1270.	2991.	54.	4207.	1894.
8.50	1391.	3115.	58.	4448.	2006.
9.00	1517.	3239.	61.	4694.	2121.
9.50	1648.	3258.	64.	4841.	2193.
10.00	1783.	3277.	68.	4993.	2267.
10.50	1924.	3296.	71.	5149.	2344.
11.00	2070.	3316.	75.	5310.	2423.
11.50	2220.	3335.	78.	5477.	2505.
12.00	2375.	3354.	81.	5648.	2589.
12.50	2543.	3373.	85.	5832.	2679.
13.00	2762.	3385.	88.	6058.	2792.
13.50	2988.	3397.	92.	6293.	2910.
14.00	3214.	3408.	95.	6527.	3027.
14.50	3440.	3420.	98.	6762.	3144.
15.00	3666.	3431.	102.	6996.	3261.
15.50	3893.	3443.	105.	7230.	3378.
16.00	4119.	3455.	109.	7465.	3495.
16.50	4345.	3466.	112.	7699.	3612.
17.00	4571.	3478.	115.	7933.	3729.

VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2003 001	A	10 di 34

17.50	4797.	3489.	119.	8168.	3846.
18.00	5023.	3501.	122.	8402.	3963.
18.50	5250.	3513.	126.	8637.	4080.
19.00	5476.	3524.	129.	8871.	4197.
19.50	5702.	3536.	132.	9105.	4314.
20.00	5928.	3547.	136.	9340.	4431.
20.50	6154.	3559.	139.	9574.	4548.
21.00	6381.	3570.	143.	9809.	4665.
21.50	6607.	3582.	146.	10043.	4782.
22.00	6833.	3594.	149.	10277.	4899.
22.50	7059.	3605.	153.	10512.	5016.
23.00	7285.	3617.	156.	10746.	5134.
23.50	7512.	3628.	159.	10981.	5251.
24.00	7738.	3640.	163.	11215.	5368.
24.50	7964.	3652.	166.	11449.	5485.
25.00	8190.	3663.	170.	11684.	5602.
25.50	8416.	3675.	173.	11918.	5719.
26.00	8643.	3686.	176.	12153.	5836.
26.50	8869.	3698.	180.	12387.	5953.
27.00	9095.	3710.	183.	12621.	6070.
27.50	9321.	3721.	187.	12856.	6187.
28.00	9547.	3733.	190.	13090.	6304.
28.50	9774.	3817.	193.	13397.	6453.
29.00	10000.	3901.	197.	13704.	6601.
29.50	10226.	3986.	200.	14011.	6750.
30.00	10452.	4070.	204.	14319.	6899.
30.50	10678.	4154.	207.	14626.	7047.
31.00	10905.	4239.	210.	14933.	7196.
31.50	11131.	4323.	214.	15240.	7345.
32.00	11357.	4334.	217.	15474.	7462.
32.50	11583.	4346.	221.	15709.	7579.
33.00	11809.	4358.	224.	15943.	7696.
33.50	12036.	4369.	227.	16177.	7813.
34.00	12262.	4381.	231.	16412.	7930.
34.50	12488.	4392.	234.	16646.	8047.
35.00	12714.	4404.	238.	16881.	8164.
35.50	12940.	4416.	241.	17115.	8281.
36.00	13167.	4427.	244.	17349.	8398.
36.50	13393.	4439.	248.	17584.	8515.
37.00	13619.	4450.	251.	17818.	8632.
37.50	13845.	4462.	254.	18053.	8749.
38.00	14071.	4474.	258.	18287.	8866.

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

VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2003 001	A	11 di 34

Tabella 4 – VI20 – Capacità portante palo D=1200 mm - A1+M1+R3 Trazione

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20

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

STAMPA capacità portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	0.	0.	0.	0.
.50	32.	0.	-8.	40.	23.
1.00	66.	0.	-17.	83.	48.
1.50	103.	0.	-25.	129.	74.
2.00	144.	0.	-34.	178.	102.
2.50	189.	0.	-42.	231.	131.
3.00	237.	0.	-51.	288.	162.
3.50	288.	0.	-59.	348.	195.
4.00	343.	0.	-68.	411.	229.
4.50	402.	0.	-76.	478.	265.
5.00	464.	0.	-85.	548.	302.
5.50	529.	0.	-93.	622.	342.
6.00	598.	0.	-102.	700.	382.
6.50	670.	0.	-110.	781.	425.
7.00	746.	0.	-119.	865.	469.
7.50	826.	0.	-127.	953.	515.
8.00	909.	0.	-136.	1044.	562.
8.50	995.	0.	-144.	1139.	611.
9.00	1085.	0.	-153.	1238.	662.
9.50	1178.	0.	-161.	1340.	714.
10.00	1275.	0.	-170.	1445.	768.
10.50	1376.	0.	-178.	1554.	824.
11.00	1480.	0.	-187.	1666.	881.
11.50	1587.	0.	-195.	1782.	940.
12.00	1698.	0.	-204.	1902.	1001.
12.50	1826.	0.	-212.	2038.	1069.
13.00	2039.	0.	-221.	2259.	1178.
13.50	2265.	0.	-229.	2494.	1292.
14.00	2491.	0.	-238.	2728.	1407.
14.50	2717.	0.	-246.	2963.	1522.
15.00	2943.	0.	-254.	3198.	1636.
15.50	3170.	0.	-263.	3433.	1751.
16.00	3396.	0.	-271.	3667.	1866.
16.50	3622.	0.	-280.	3902.	1980.
17.00	3848.	0.	-288.	4137.	2095.
17.50	4074.	0.	-297.	4371.	2210.
18.00	4301.	0.	-305.	4606.	2324.
18.50	4527.	0.	-314.	4841.	2439.
19.00	4753.	0.	-322.	5075.	2554.
19.50	4979.	0.	-331.	5310.	2668.
20.00	5205.	0.	-339.	5545.	2783.
20.50	5432.	0.	-348.	5779.	2898.
21.00	5658.	0.	-356.	6014.	3012.
21.50	5884.	0.	-365.	6249.	3127.
22.00	6110.	0.	-373.	6483.	3242.
22.50	6336.	0.	-382.	6718.	3356.
23.00	6562.	0.	-390.	6953.	3471.
23.50	6789.	0.	-399.	7187.	3586.
24.00	7015.	0.	-407.	7422.	3701.
24.50	7241.	0.	-416.	7657.	3815.
25.00	7467.	0.	-424.	7891.	3930.
25.50	7693.	0.	-433.	8126.	4045.
26.00	7920.	0.	-441.	8361.	4159.
26.50	8146.	0.	-450.	8595.	4274.
27.00	8372.	0.	-458.	8830.	4389.
27.50	8598.	0.	-467.	9065.	4503.
28.00	8824.	0.	-475.	9299.	4618.
28.50	9051.	0.	-483.	9534.	4733.
29.00	9277.	0.	-492.	9769.	4847.
29.50	9503.	0.	-500.	10003.	4962.
30.00	9729.	0.	-509.	10238.	5077.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA

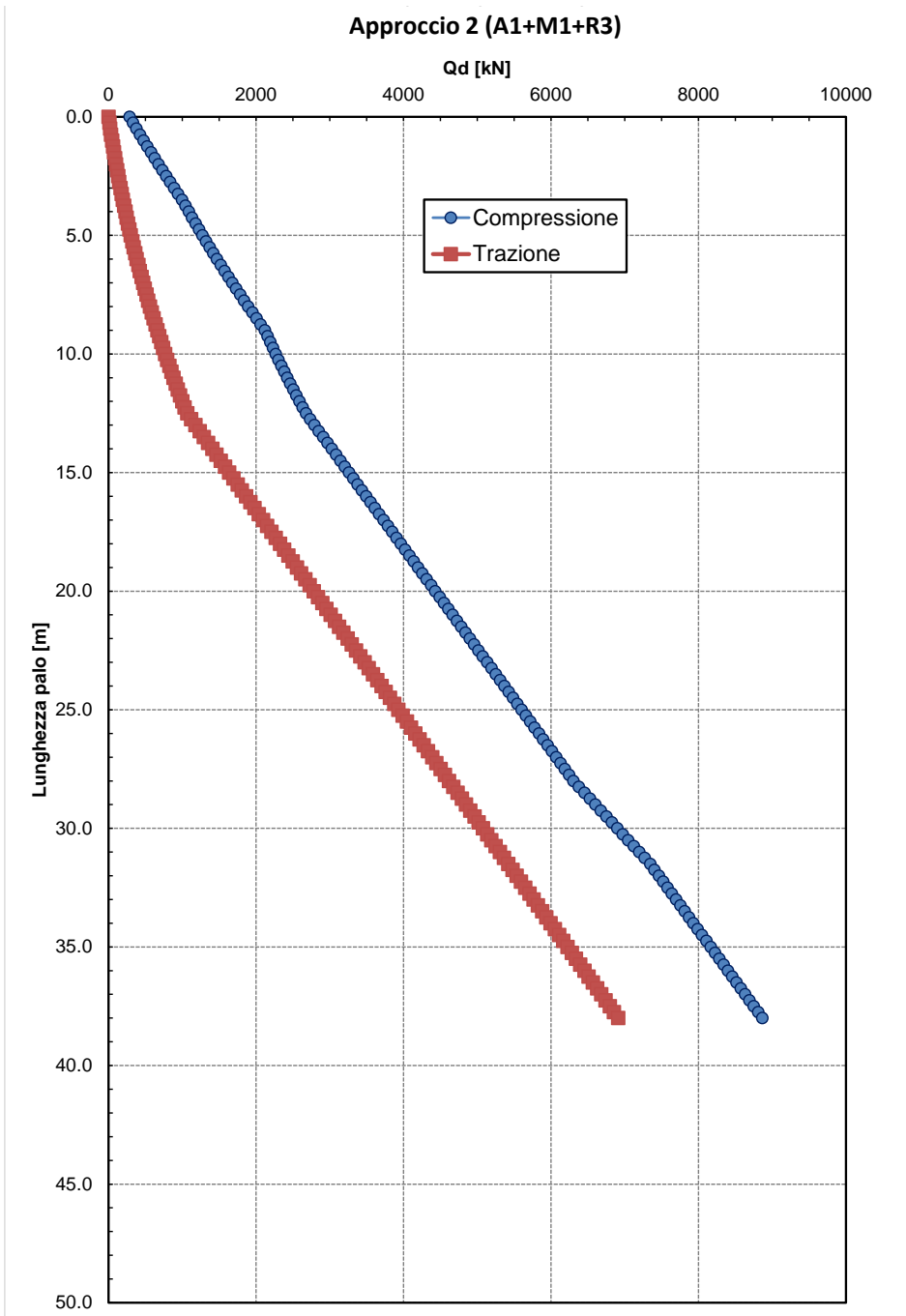
PROGETTO DEFINITIVO

VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2003 001	A	12 di 34

30.50	9955.	0.	-517.	10473.	5191.
31.00	10182.	0.	-526.	10708.	5306.
31.50	10408.	0.	-534.	10942.	5421.
32.00	10634.	0.	-543.	11177.	5535.
32.50	10860.	0.	-551.	11412.	5650.
33.00	11086.	0.	-560.	11646.	5765.
33.50	11313.	0.	-568.	11881.	5879.
34.00	11539.	0.	-577.	12116.	5994.
34.50	11765.	0.	-585.	12350.	6109.
35.00	11991.	0.	-594.	12585.	6223.
35.50	12217.	0.	-602.	12820.	6338.
36.00	12444.	0.	-611.	13054.	6453.
36.50	12670.	0.	-619.	13289.	6567.
37.00	12896.	0.	-628.	13524.	6682.
37.50	13122.	0.	-636.	13758.	6797.
38.00	13348.	0.	-645.	13993.	6911.

-----  
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 =  $Q_{l1}/FS_{,l} + Q_{b1}/FS_{,b} - W_p$



**Figura 1 – Capacità portante palo D=1200 mm**

#### 4.2 Modulo di reazione orizzontale del terreno

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

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

Le metodologie di calcolo 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 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 con testa palo (a 2.0 m da p.c.).

Prof. m	E kN/m <sup>2</sup>
.000	16000.00
13.000	120000.00
13.100	105000.00
28.000	105000.00
28.100	122500.00
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.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI2003 001	REV. A

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;

$\alpha_m$  = 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 ( $\alpha_m$ ) ed il seguente andamento del momento adimensionale lungo il palo. La valutazione è stata fatta con riferimento ad una lunghezza palo indicativa di 25 m.

Tabella 5 – VI20 – Valori di  $\alpha_m$

VI20	$\alpha_m$ [m]
D=1200mm	2.57

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 – VI20 – Momento adimensionale lungo il palo D=1200 mm

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI20 D=1200  
 Momento adimensionale lungo il fusto del palo  
 con sommità impedita di ruotare

z m	Mad -
.000	1.0000
.781	.7099
1.563	.4529
2.344	.2352
3.125	.0597
3.906	-.0733
4.688	-.1660
5.469	-.2229
6.250	-.2494
7.500	-.2442
8.750	-.2032
10.000	-.1480

11.250	-.0941
12.500	-.0504
14.583	-.0073
16.667	.0085
18.750	.0097
21.875	.0034
25.000	.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	Nmax,c SLU/SLV [kN]	Qd,c [kN]	Nmax,t SLU/SLV [kN]	Qd,t [kN]	Nmax,c SLE [kN]	Qll [kN]	Lpalo [kN]
<b>Spalle</b>	<b>3868</b>	4899	317	3242	2814	6833	<b>22.0</b>

Dove:

Nmax,c =sollecitazione assiale massima a compressione

Nmax,t =sollecitazione assiale massima a trazione

Qll = portata laterale limite

Qd,c = portata di progetto a compressione

Qd,t = portata di progetto a trazione

#### 4.5 Verifica a carico limite orizzontale dei pali

Per la verifica del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita. Le metodologie di calcolo 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  $FS = \gamma_T \cdot \xi_3 = 1.30 \cdot 1.70 = 2.21$ . 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 ( $H_k$ ) è stato valutato con riferimento ad un momento di plasticizzazione  $M_y$  pari a 4975.1 kNm, considerando il diametro del palo  $D=1200$  mm, l'armatura di 30+30 $\phi$ 26 e la condizione di carico più gravosa con 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	$\varphi$ [°]	$C_u$ [kPa]	$H_{max}$ [kN]	$H_d$ [kN]	$F_d$ [kN]
VI20	-	200	3734.4	1353.0	1168

#### 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 15 pali  $D=1200$  mm.

La verifica è stata eseguita considerando il carico assiale massimo individuato in tutto il viadotto che è pari a  $N_{max}=43290$  kN (combinazione SLU STR).

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

### Portanza Pali in Gruppo

#### SPALLE

Diametro	1.2 [m]
interasse	3.6 [m]
n. pali per fila	5 [-]
m n. file	3 [-]
$\Phi$	18.435 [°]

$E_{efficienza}$	0.70 [-]
------------------	----------

#### Palo Singolo

$R_d = Q_d$	4899 [kN]
-------------	-----------

#### Gruppo di pali

$N_{max,SLU}$	43290 [kN]
$Q_d Gruppo$	51409 [kN]

FS	1.19 [-]
----	----------

## 4.7 Stima cedimenti delle fondazioni

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

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

**VI20**

**Dati**

Diametro	1.2 [m]
Lunghezza	22.0 [m]
s	3.6 [m]
n	15 [-]
$Q_{lim}$	10277 [kN]
$Q_{SLE}$	2814 [kN]

Tipo di Palo	Trivellato
Natura prevalente del terreno	Coesivo

**Cedimento Palo singolo (Meyerhof, 1959)**

w	0.003 [m]
---	-----------

**Cedimento Palo di gruppo**

R	1.567 [-]
$R_g$	0.372 [-]
$w_{gruppo}$ [m]	0.02 [m]



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA

PROGETTO DEFINITIVO

VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2003 001	A	20 di 34

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

### 5.1 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 VI20  
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3

Quota testa palo da p.c. = 2.00 m  
Quota falda da p.c. = 2.00 m  
Peso di volume del palo = 6.00 kN/m<sup>3</sup>  
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 VI20  
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 1 "bcc " (Coesivo) da .00 a 2.00 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

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

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

$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$

$$C_u \text{ variabile lin. da } 60.0 \text{ a } 60.0 \text{ kPa}$$

Strato 2 "bbi " (Incoerente) da 2.00 a 14.50 m

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

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

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

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

Strato 3 "AAC " (Coesivo) da 14.50 a 30.00 m

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

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

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

$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$

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

pag. / 4

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20  
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 4 "AAC " (Coesivo) da 30.00 a 40.00 m

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

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

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

$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$

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

pag. / 5

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20

Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "bcc "	1.00	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

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 VI20

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
2.00	39.0	39.0	60.0	.55	21.4	579.
2.50	43.8	48.8	--	.55	23.9	734.
3.00	48.5	58.5	--	.55	26.5	888.
3.50	53.3	68.3	--	.55	29.1	1043.
4.00	58.0	78.0	--	.55	31.7	1198.
4.50	62.8	87.8	--	.55	34.3	1352.
5.00	67.5	97.5	--	.55	36.9	1507.
5.50	72.3	107.3	--	.55	39.5	1662.
6.00	77.0	117.0	--	.55	42.1	1771.
6.50	81.8	126.8	--	.55	44.7	1880.
7.00	86.5	136.5	--	.55	47.3	1990.
7.50	91.3	146.3	--	.55	49.9	2099.
8.00	96.0	156.0	--	.55	52.5	2208.
8.50	100.8	165.8	--	.55	55.1	2317.
9.00	105.5	175.5	--	.55	57.7	2427.
9.50	110.3	185.3	--	.55	60.3	2536.
10.00	115.0	195.0	--	.55	62.9	2645.
10.50	119.8	204.8	--	.55	65.5	2754.
11.00	124.5	214.5	--	.55	68.1	2864.

VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2003 001	A	23 di 34

11.50	129.3	224.3	--	.55	70.7	2881.
12.00	134.0	234.0	--	.55	73.3	2898.
12.50	138.8	243.8	--	.55	75.9	2915.
13.00	143.5	253.5	--	.55	78.5	2932.
13.50	148.3	263.3	--	.55	81.1	2949.
14.00	153.0	273.0	--	.55	83.7	2966.
14.50	157.8	282.8	--	.65	103.1	2983.
15.00	163.0	293.0	300.0	.74	120.0	2993.
15.50	168.3	303.3	300.0	.71	120.0	3003.
16.00	173.5	313.5	300.0	.69	120.0	3014.
16.50	178.8	323.8	300.0	.67	120.0	3024.

pag. / 7

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20  
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
17.00	184.0	334.0	300.0	.65	120.0	3034.
17.50	189.3	344.3	300.0	.63	120.0	3044.
18.00	194.5	354.5	300.0	.62	120.0	3055.
18.50	199.8	364.8	300.0	.60	120.0	3065.
19.00	205.0	375.0	300.0	.59	120.0	3075.
19.50	210.3	385.3	300.0	.57	120.0	3085.
20.00	215.5	395.5	300.0	.56	120.0	3096.
20.50	220.8	405.8	300.0	.54	120.0	3106.
21.00	226.0	416.0	300.0	.53	120.0	3116.
21.50	231.3	426.3	300.0	.52	120.0	3126.
22.00	236.5	436.5	300.0	.51	120.0	3137.
22.50	241.8	446.8	300.0	.50	120.0	3147.
23.00	247.0	457.0	300.0	.49	120.0	3157.
23.50	252.3	467.3	300.0	.48	120.0	3167.
24.00	257.5	477.5	300.0	.47	120.0	3178.
24.50	262.8	487.8	300.0	.46	120.0	3188.
25.00	268.0	498.0	300.0	.45	120.0	3198.
25.50	273.3	508.3	300.0	.44	120.0	3208.
26.00	278.5	518.5	300.0	.43	120.0	3219.
26.50	283.8	528.8	300.0	.42	120.0	3229.
27.00	289.0	539.0	300.0	.42	120.0	3239.
27.50	294.3	549.3	300.0	.41	120.0	3249.
28.00	299.5	559.5	300.0	.40	120.0	3260.
28.50	304.8	569.8	300.0	.39	120.0	3270.
29.00	310.0	580.0	300.0	.39	120.0	3280.
29.50	315.3	590.3	300.0	.38	120.0	3290.
30.00	320.5	600.5	300.0	.37	120.0	3301.
30.50	325.8	610.8	350.0	.37	120.0	3375.
31.00	331.0	621.0	350.0	.36	120.0	3450.
31.50	336.3	631.3	350.0	.36	120.0	3524.

pag. / 8

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20  
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
32.00	341.5	641.5	350.0	.35	120.0	3599.
32.50	346.8	651.8	350.0	.35	120.0	3673.
33.00	352.0	662.0	350.0	.34	120.0	3748.
33.50	357.3	672.3	350.0	.34	120.0	3822.
34.00	362.5	682.5	350.0	.33	120.0	3833.
34.50	367.8	692.8	350.0	.33	120.0	3843.
35.00	373.0	703.0	350.0	.32	120.0	3853.
35.50	378.3	713.3	350.0	.32	120.0	3863.
36.00	383.5	723.5	350.0	.31	120.0	3874.
36.50	388.8	733.8	350.0	.31	120.0	3884.
37.00	394.0	744.0	350.0	.30	120.0	3894.
37.50	399.3	754.3	350.0	.30	120.0	3904.
38.00	404.5	764.5	350.0	.30	120.0	3915.
38.50	409.8	774.8	350.0	.29	120.0	3925.
39.00	415.0	785.0	350.0	.29	120.0	3935.
39.50	420.3	795.3	350.0	.29	120.0	3945.
40.00	425.5	805.5	350.0	.28	120.0	3956.

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 VI20  
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.	655.	0.	655.	285.
.50	43.	830.	3.	869.	379.
1.00	90.	1005.	7.	1088.	476.
1.50	143.	1180.	10.	1312.	576.
2.00	200.	1355.	14.	1541.	677.
2.50	262.	1530.	17.	1775.	782.
3.00	329.	1704.	20.	2013.	889.
3.50	401.	1879.	24.	2257.	998.
4.00	478.	2003.	27.	2454.	1088.
4.50	560.	2127.	31.	2656.	1180.
5.00	647.	2250.	34.	2863.	1274.
5.50	739.	2374.	37.	3075.	1371.
6.00	835.	2497.	41.	3292.	1471.
6.50	936.	2621.	44.	3513.	1573.
7.00	1043.	2744.	48.	3740.	1678.
7.50	1154.	2868.	51.	3971.	1785.
8.00	1270.	2991.	54.	4207.	1894.
8.50	1391.	3115.	58.	4448.	2006.
9.00	1517.	3239.	61.	4694.	2121.
9.50	1648.	3258.	64.	4841.	2193.
10.00	1783.	3277.	68.	4993.	2267.
10.50	1924.	3296.	71.	5149.	2344.
11.00	2070.	3316.	75.	5310.	2423.
11.50	2220.	3335.	78.	5477.	2505.
12.00	2375.	3354.	81.	5648.	2589.



12.50	2543.	3373.	85.	5832.	2679.
13.00	2762.	3385.	88.	6058.	2792.
13.50	2988.	3397.	92.	6293.	2910.
14.00	3214.	3408.	95.	6527.	3027.
14.50	3440.	3420.	98.	6762.	3144.

pag. / 10

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20  
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
15.00	3666.	3431.	102.	6996.	3261.
15.50	3893.	3443.	105.	7230.	3378.
16.00	4119.	3455.	109.	7465.	3495.
16.50	4345.	3466.	112.	7699.	3612.
17.00	4571.	3478.	115.	7933.	3729.
17.50	4797.	3489.	119.	8168.	3846.
18.00	5023.	3501.	122.	8402.	3963.
18.50	5250.	3513.	126.	8637.	4080.
19.00	5476.	3524.	129.	8871.	4197.
19.50	5702.	3536.	132.	9105.	4314.
20.00	5928.	3547.	136.	9340.	4431.
20.50	6154.	3559.	139.	9574.	4548.
21.00	6381.	3570.	143.	9809.	4665.
21.50	6607.	3582.	146.	10043.	4782.
22.00	6833.	3594.	149.	10277.	4899.
22.50	7059.	3605.	153.	10512.	5016.
23.00	7285.	3617.	156.	10746.	5134.
23.50	7512.	3628.	159.	10981.	5251.
24.00	7738.	3640.	163.	11215.	5368.
24.50	7964.	3652.	166.	11449.	5485.
25.00	8190.	3663.	170.	11684.	5602.
25.50	8416.	3675.	173.	11918.	5719.
26.00	8643.	3686.	176.	12153.	5836.
26.50	8869.	3698.	180.	12387.	5953.
27.00	9095.	3710.	183.	12621.	6070.
27.50	9321.	3721.	187.	12856.	6187.
28.00	9547.	3733.	190.	13090.	6304.
28.50	9774.	3817.	193.	13397.	6453.
29.00	10000.	3901.	197.	13704.	6601.
29.50	10226.	3986.	200.	14011.	6750.

pag. / 11

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20  
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
30.00	10452.	4070.	204.	14319.	6899.

30.50	10678.	4154.	207.	14626.	7047.
31.00	10905.	4239.	210.	14933.	7196.
31.50	11131.	4323.	214.	15240.	7345.
32.00	11357.	4334.	217.	15474.	7462.
32.50	11583.	4346.	221.	15709.	7579.
33.00	11809.	4358.	224.	15943.	7696.
33.50	12036.	4369.	227.	16177.	7813.
34.00	12262.	4381.	231.	16412.	7930.
34.50	12488.	4392.	234.	16646.	8047.
35.00	12714.	4404.	238.	16881.	8164.
35.50	12940.	4416.	241.	17115.	8281.
36.00	13167.	4427.	244.	17349.	8398.
36.50	13393.	4439.	248.	17584.	8515.
37.00	13619.	4450.	251.	17818.	8632.
37.50	13845.	4462.	254.	18053.	8749.
38.00	14071.	4474.	258.	18287.	8866.

-----  
 Lp = Lunghezza utile del palo  
 Q<sub>l1</sub> = Portata laterale limite  
 Q<sub>b1</sub> = Portata di base limite  
 W<sub>p</sub> = Peso efficace del palo  
 Q<sub>u</sub> = Portata totale limite  
 Q<sub>d</sub> = Portata di progetto =  $Q_{l1}/FS_{,l} + Q_{b1}/FS_{,b} - W_p$

## 5.2 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 VI20  
 Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

Quota testa palo da p.c. = 2.00 m  
 Quota falda da p.c. = 2.00 m  
 Peso di volume del palo = -15.00 kN/m<sup>3</sup>  
 Fattore di sicurezza portata laterale = 2.13 (FS,l)  
 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<sub>b,i</sub> 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



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA

PROGETTO DEFINITIVO

VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2003 001	A	27 di 34

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 VI20  
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 2.00 m

$G_n = 19.5$  kN/m<sup>3</sup>       $G_e = 9.5$  kN/m<sup>3</sup>

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

$\tau > .23 * S'v$

$\tau < .55 * S'v$

$Q_b$  variabile lin. da 0. a 0. kPa

$C_u$  variabile lin. da 60.0 a 60.0 kPa

Strato 2 "bbi " (Incoerente) da 2.00 a 14.50 m

$G_n = 19.5$  kN/m<sup>3</sup>       $G_e = 9.5$  kN/m<sup>3</sup>

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

$Q_b$  variabile lin. da 0. a 0. kPa

Strato 3 "AAC " (Coesivo) da 14.50 a 30.00 m

$G_n = 20.5$  kN/m<sup>3</sup>       $G_e = 10.5$  kN/m<sup>3</sup>

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

$Q_b$  variabile lin. da 0. a 0. kPa

$C_u$  variabile lin. da 300.0 a 300.0 kPa

pag./ 4

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20  
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2003 001	A	28 di 34

Strato 4 "AAC " (Coesivo) da 30.00 a 40.00 m

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

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

Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

Cu variabile lin. da 350.0 a 350.0 kPa

pag. / 5

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20  
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 "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

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 VI20  
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
2.00	39.0	39.0	60.0	.47	18.3	0.
2.50	43.8	48.8	--	.39	17.1	0.
3.00	48.5	58.5	--	.39	18.9	0.

VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2003 001	A	29 di 34

3.50	53.3	68.3	--	.39	20.8	0.
4.00	58.0	78.0	--	.39	22.7	0.
4.50	62.8	87.8	--	.39	24.5	0.
5.00	67.5	97.5	--	.39	26.4	0.
5.50	72.3	107.3	--	.39	28.2	0.
6.00	77.0	117.0	--	.39	30.1	0.
6.50	81.8	126.8	--	.39	31.9	0.
7.00	86.5	136.5	--	.39	33.8	0.
7.50	91.3	146.3	--	.39	35.6	0.
8.00	96.0	156.0	--	.39	37.5	0.
8.50	100.8	165.8	--	.39	39.4	0.
9.00	105.5	175.5	--	.39	41.2	0.
9.50	110.3	185.3	--	.39	43.1	0.
10.00	115.0	195.0	--	.39	44.9	0.
10.50	119.8	204.8	--	.39	46.8	0.
11.00	124.5	214.5	--	.39	48.6	0.
11.50	129.3	224.3	--	.39	50.5	0.
12.00	134.0	234.0	--	.39	52.3	0.
12.50	138.8	243.8	--	.39	54.2	0.
13.00	143.5	253.5	--	.39	56.1	0.
13.50	148.3	263.3	--	.39	57.9	0.
14.00	153.0	273.0	--	.39	59.8	0.
14.50	157.8	282.8	--	.58	90.8	0.
15.00	163.0	293.0	300.0	.74	120.0	0.
15.50	168.3	303.3	300.0	.71	120.0	0.
16.00	173.5	313.5	300.0	.69	120.0	0.
16.50	178.8	323.8	300.0	.67	120.0	0.

pag. / 7

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20  
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
17.00	184.0	334.0	300.0	.65	120.0	0.
17.50	189.3	344.3	300.0	.63	120.0	0.
18.00	194.5	354.5	300.0	.62	120.0	0.
18.50	199.8	364.8	300.0	.60	120.0	0.
19.00	205.0	375.0	300.0	.59	120.0	0.
19.50	210.3	385.3	300.0	.57	120.0	0.
20.00	215.5	395.5	300.0	.56	120.0	0.
20.50	220.8	405.8	300.0	.54	120.0	0.
21.00	226.0	416.0	300.0	.53	120.0	0.
21.50	231.3	426.3	300.0	.52	120.0	0.
22.00	236.5	436.5	300.0	.51	120.0	0.
22.50	241.8	446.8	300.0	.50	120.0	0.
23.00	247.0	457.0	300.0	.49	120.0	0.
23.50	252.3	467.3	300.0	.48	120.0	0.
24.00	257.5	477.5	300.0	.47	120.0	0.
24.50	262.8	487.8	300.0	.46	120.0	0.
25.00	268.0	498.0	300.0	.45	120.0	0.
25.50	273.3	508.3	300.0	.44	120.0	0.
26.00	278.5	518.5	300.0	.43	120.0	0.
26.50	283.8	528.8	300.0	.42	120.0	0.
27.00	289.0	539.0	300.0	.42	120.0	0.
27.50	294.3	549.3	300.0	.41	120.0	0.
28.00	299.5	559.5	300.0	.40	120.0	0.
28.50	304.8	569.8	300.0	.39	120.0	0.
29.00	310.0	580.0	300.0	.39	120.0	0.
29.50	315.3	590.3	300.0	.38	120.0	0.
30.00	320.5	600.5	300.0	.37	120.0	0.

VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2003 001	A	30 di 34

30.50	325.8	610.8	350.0	.37	120.0	0.
31.00	331.0	621.0	350.0	.36	120.0	0.
31.50	336.3	631.3	350.0	.36	120.0	0.

pag. / 8

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20  
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
32.00	341.5	641.5	350.0	.35	120.0	0.
32.50	346.8	651.8	350.0	.35	120.0	0.
33.00	352.0	662.0	350.0	.34	120.0	0.
33.50	357.3	672.3	350.0	.34	120.0	0.
34.00	362.5	682.5	350.0	.33	120.0	0.
34.50	367.8	692.8	350.0	.33	120.0	0.
35.00	373.0	703.0	350.0	.32	120.0	0.
35.50	378.3	713.3	350.0	.32	120.0	0.
36.00	383.5	723.5	350.0	.31	120.0	0.
36.50	388.8	733.8	350.0	.31	120.0	0.
37.00	394.0	744.0	350.0	.30	120.0	0.
37.50	399.3	754.3	350.0	.30	120.0	0.
38.00	404.5	764.5	350.0	.30	120.0	0.
38.50	409.8	774.8	350.0	.29	120.0	0.
39.00	415.0	785.0	350.0	.29	120.0	0.
39.50	420.3	795.3	350.0	.29	120.0	0.
40.00	425.5	805.5	350.0	.28	120.0	0.

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

pag. / 9

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20  
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	32.	0.	-8.	40.	23.
1.00	66.	0.	-17.	83.	48.
1.50	103.	0.	-25.	129.	74.
2.00	144.	0.	-34.	178.	102.
2.50	189.	0.	-42.	231.	131.
3.00	237.	0.	-51.	288.	162.
3.50	288.	0.	-59.	348.	195.
4.00	343.	0.	-68.	411.	229.

VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2003 001	A	31 di 34

4.50	402.	0.	-76.	478.	265.
5.00	464.	0.	-85.	548.	302.
5.50	529.	0.	-93.	622.	342.
6.00	598.	0.	-102.	700.	382.
6.50	670.	0.	-110.	781.	425.
7.00	746.	0.	-119.	865.	469.
7.50	826.	0.	-127.	953.	515.
8.00	909.	0.	-136.	1044.	562.
8.50	995.	0.	-144.	1139.	611.
9.00	1085.	0.	-153.	1238.	662.
9.50	1178.	0.	-161.	1340.	714.
10.00	1275.	0.	-170.	1445.	768.
10.50	1376.	0.	-178.	1554.	824.
11.00	1480.	0.	-187.	1666.	881.
11.50	1587.	0.	-195.	1782.	940.
12.00	1698.	0.	-204.	1902.	1001.
12.50	1826.	0.	-212.	2038.	1069.
13.00	2039.	0.	-221.	2259.	1178.
13.50	2265.	0.	-229.	2494.	1292.
14.00	2491.	0.	-238.	2728.	1407.
14.50	2717.	0.	-246.	2963.	1522.

pag. / 10

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20  
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
15.00	2943.	0.	-254.	3198.	1636.
15.50	3170.	0.	-263.	3433.	1751.
16.00	3396.	0.	-271.	3667.	1866.
16.50	3622.	0.	-280.	3902.	1980.
17.00	3848.	0.	-288.	4137.	2095.
17.50	4074.	0.	-297.	4371.	2210.
18.00	4301.	0.	-305.	4606.	2324.
18.50	4527.	0.	-314.	4841.	2439.
19.00	4753.	0.	-322.	5075.	2554.
19.50	4979.	0.	-331.	5310.	2668.
20.00	5205.	0.	-339.	5545.	2783.
20.50	5432.	0.	-348.	5779.	2898.
21.00	5658.	0.	-356.	6014.	3012.
21.50	5884.	0.	-365.	6249.	3127.
22.00	6110.	0.	-373.	6483.	3242.
22.50	6336.	0.	-382.	6718.	3356.
23.00	6562.	0.	-390.	6953.	3471.
23.50	6789.	0.	-399.	7187.	3586.
24.00	7015.	0.	-407.	7422.	3701.
24.50	7241.	0.	-416.	7657.	3815.
25.00	7467.	0.	-424.	7891.	3930.
25.50	7693.	0.	-433.	8126.	4045.
26.00	7920.	0.	-441.	8361.	4159.
26.50	8146.	0.	-450.	8595.	4274.
27.00	8372.	0.	-458.	8830.	4389.
27.50	8598.	0.	-467.	9065.	4503.
28.00	8824.	0.	-475.	9299.	4618.
28.50	9051.	0.	-483.	9534.	4733.
29.00	9277.	0.	-492.	9769.	4847.
29.50	9503.	0.	-500.	10003.	4962.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA

PROGETTO DEFINITIVO

VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2003 001	A	32 di 34

pag. / 11

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI20  
Capacita' portante palo D=1200 mm-SLU A1+M1+R3 Trazione

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qbl kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
30.00	9729.	0.	-509.	10238.	5077.
30.50	9955.	0.	-517.	10473.	5191.
31.00	10182.	0.	-526.	10708.	5306.
31.50	10408.	0.	-534.	10942.	5421.
32.00	10634.	0.	-543.	11177.	5535.
32.50	10860.	0.	-551.	11412.	5650.
33.00	11086.	0.	-560.	11646.	5765.
33.50	11313.	0.	-568.	11881.	5879.
34.00	11539.	0.	-577.	12116.	5994.
34.50	11765.	0.	-585.	12350.	6109.
35.00	11991.	0.	-594.	12585.	6223.
35.50	12217.	0.	-602.	12820.	6338.
36.00	12444.	0.	-611.	13054.	6453.
36.50	12670.	0.	-619.	13289.	6567.
37.00	12896.	0.	-628.	13524.	6682.
37.50	13122.	0.	-636.	13758.	6797.
38.00	13348.	0.	-645.	13993.	6911.

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



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

### 6.1 D=1200 mm

Coef. di Matlock e Reese-palo VI20 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*m2

Definizione per punti del modulo di reazione del terreno E

Prof. m	E kN/m2
.000	12800.00
13.000	96000.00
13.100	84000.00
28.000	84000.00
28.100	98000.00
40.000	98000.00

Per il primo segmento:

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

Lunghezza elastica	$T = (EJ/Kh)^{0.20}$	=	3.433 m
R = Eo/(Kh*T)		=	.583
Zmax = Lp/T		=	7.281

Coefficienti adimensionali di flessibilita' della sommita' del palo:

Ay =	1.3985
As = By =	1.0520
Bs =	1.4049

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:

$Mo = - (T As/Bs) * Fo = - \alpha * Fo$	$\alpha = 2.5708 \text{ m}$
---	-----------------------------

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

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



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
 PROGETTO DEFINITIVO

VI20 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI2003 001	A	34 di 34

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI20 D=1200

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

z m	Mad -
.000	1.0000
.781	.7099
1.563	.4529
2.344	.2352
3.125	.0597
3.906	-.0733
4.688	-.1660
5.469	-.2229
6.250	-.2494
7.500	-.2442
8.750	-.2032
10.000	-.1480
11.250	-.0941
12.500	-.0504
14.583	-.0073
16.667	.0085
18.750	.0097
21.875	.0034
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
.228	.7962	.2048	-.1429	.9835
.455	.5776	.3614	-.2748	.9356
.683	.3610	.4678	-.3824	.8599
.910	.1649	.5269	-.4573	.7634
1.138	-.0026	.5444	-.4976	.6538
1.365	-.1337	.5278	-.5046	.5389
1.593	-.2272	.4857	-.4833	.4258
1.820	-.2872	.4265	-.4362	.3202
2.184	-.3111	.3149	-.3437	.1764
2.548	-.2807	.2052	-.2363	.0709
2.913	-.2190	.1134	-.1385	.0034
3.277	-.1482	.0465	-.0618	-.0319
3.641	-.0784	.0049	-.0067	-.0439
4.247	-.0159	-.0210	.0248	-.0353
4.854	.0100	-.0204	.0248	-.0188
5.461	.0136	-.0122	.0140	-.0066
6.371	.0065	-.0024	.0023	.0001
7.281	.0000	.0000	.0000	.0000