

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

VI19 - 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 RB VI1903 001 A

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

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dott. Ing. A. De Gato
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° 40763
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
3.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	5
3.1	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE.....	5
3.2	STRATIGRAFIA	6
3.3	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	7
3.4	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	7
4.	PALIFICATE DI FONDAZIONE	8
4.1	CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI.....	8
	4.1.1 <i>Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo</i>	8
	4.1.2 <i>Calcolo della capacità portante</i>	8
4.2	MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO	12
4.3	MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO.....	12
4.4	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE AI CARICHI VERTICALI SINGOLO PALO	13
4.5	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI	14
4.6	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE GRUPPO DI PALI	15
4.7	STIMA CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI.....	16
5.	APPENDICE A: VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI. TABULATI DI CALCOLO PAL ..	18
5.1	COMPRESSIONE. PALO D=1200 MM	18
6.	APPENDICE B: VALUTAZIONE DEL MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO. TABULATI DI CALCOLO MR.....	23
6.1	D=1200 MM	23



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

VI19 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1903 001	A	3 di 25

1. PREMESSA

Nella presente relazione si riporta il dimensionamento delle fondazioni del Viadotto VI19 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

VI19 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1903 001	A	4 di 25

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 VI1903 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 13+808.272 e km 13+825.272. Le indagini più prossime all'opera sono le seguenti:

INDAGINI IN SITO								
Sondaggio	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	N. prove SPT	N. campioni indisturbati	N. campioni rimaneggiati	N. campioni litoidi	Piezometro TA	Prova Lefranc, profondità [m]
S7	40.0	149.00	10	2	4	2	[1-9]	4.6 14.5
D35	40.0	132.92	5	1	3	-	[3-18]	6.0 25.5
TA [m]: profondità tratto filtrante								

Inoltre è disponibile l'indagine sismica MASW-VI11.

Dalle misure piezometriche disponibili il livello massimo di falda è a circ 7 m di profondità dal p.c. locale, a quota + 125.8 m s.l.m. (D35) e +141.3 m s.l.m. (S7).

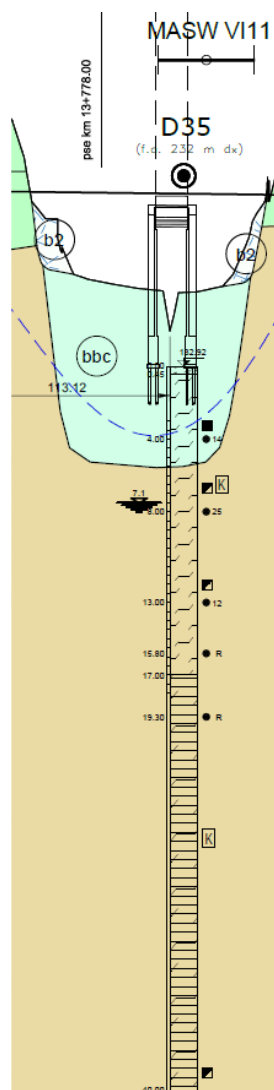
3.2 Stratigrafia

La stratigrafia lungo lo sviluppo del viadotto è la seguente, con p.c. di riferimento a quota +137.0 m s.l.m.:

STRATIGRAFIA		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
bbc	Alluvioni recenti coesive	0.0÷9.0
AAC	Argille limose marnose di Catenanuova	9.0÷40.0

FALDA: a profondità di 7 m dal p.c. locale

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. [DC2]) 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 – VI19 – Parametri geotecnici

	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	V_s [m/s]	G_o [MPa]	E_o [MPa]	$E'_{op,1}$ [MPa]	$E'_{op,2}$ [MPa]
bbc	19.5	80	0	25	150÷250	40÷85	100÷220	$E_o / 3$	$E_o / 10$
AAC	20.5	300 (z<30m) 350 (z>30m)	5	24	440÷630 (*)	230÷400 (*)	600÷1000 (*)	$E_o / 3$	$E_o / 10$

Dove:

γ = peso di volume naturale

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

V_s = velocità delle onde di taglio

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

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

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

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

z = profondità da p.c.

(*) da prova MASW-VI11.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	VI19 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI1903 001	REV. A

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.

Tabella 2 – VI19 – Parametri geotecnici

Profondità [m]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	φ' [°]	q_b [kPa]
da 0.0 a 9.0	bbc	19.5	80	-	$9 \cdot c_u + \sigma_v$
da 9.0 a 40.0	AAC	20.5	300 (z<30m) 350 (z>30m)	-	$9 \cdot c_u + \sigma_v$

Dove:
 γ = peso di volume naturale
 c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate
 φ' = angolo di resistenza al taglio
 q_b = portata limite di base
 σ_v = tensione verticale totale

4.1.2 Calcolo della capacità portante

La capacità portante per le fondazioni del viadotto è stata valutata per pali di grande diametro $D=1500$ mm, considerando l'Approccio 2 (A1+M1+R3) di normativa e quindi con i seguenti coefficienti parziali sulle resistenze di base e laterale:

- N . 1 verticale di indagine, da cui $\xi_3 = 1.70$,
- F_{SL} = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ($=\xi_3 \cdot \gamma_s = 1.96$).
- F_{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:

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

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

Tabella 3 – VI19 – Capacità portante palo D=1200 mm - A1+M1+R3 Compressione

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI19
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
.00	0.	858.	0.	858.	373.
.50	43.	869.	3.	909.	397.
1.00	91.	880.	7.	964.	422.
1.50	143.	891.	10.	1025.	451.
2.00	201.	903.	14.	1090.	481.
2.50	261.	914.	17.	1158.	514.
3.00	322.	925.	20.	1226.	546.
3.50	382.	936.	24.	1294.	578.
4.00	442.	947.	27.	1362.	610.
4.50	503.	958.	31.	1430.	642.
5.00	563.	969.	34.	1498.	674.
5.50	623.	980.	37.	1566.	707.
6.00	684.	991.	41.	1634.	739.
6.50	744.	1002.	44.	1702.	771.
7.00	825.	1013.	48.	1790.	814.
7.50	1030.	1344.	51.	2324.	1059.
8.00	1257.	1676.	54.	2878.	1315.
8.50	1483.	2007.	58.	3432.	1572.
9.00	1709.	2339.	61.	3987.	1828.
9.50	1935.	2670.	64.	4541.	2084.
10.00	2161.	3002.	68.	5095.	2340.
10.50	2388.	3333.	71.	5650.	2596.
11.00	2614.	3345.	75.	5884.	2713.
11.50	2840.	3356.	78.	6118.	2830.
12.00	3066.	3368.	81.	6353.	2947.
12.50	3292.	3380.	85.	6587.	3064.
13.00	3519.	3391.	88.	6822.	3181.
13.50	3745.	3403.	92.	7056.	3298.
14.00	3971.	3414.	95.	7290.	3416.
14.50	4197.	3426.	98.	7525.	3533.
15.00	4423.	3438.	102.	7759.	3650.
15.50	4650.	3449.	105.	7994.	3767.
16.00	4876.	3461.	109.	8228.	3884.
16.50	5102.	3472.	112.	8462.	4001.
17.00	5328.	3484.	115.	8697.	4118.
17.50	5554.	3496.	119.	8931.	4235.
18.00	5781.	3507.	122.	9166.	4352.
18.50	6007.	3519.	126.	9400.	4469.
19.00	6233.	3530.	129.	9634.	4586.

19.50	6459.	3542.	132.	9869.	4703.
20.00	6685.	3554.	136.	10103.	4820.
20.50	6912.	3565.	139.	10338.	4937.
21.00	7138.	3577.	143.	10572.	5054.
21.50	7364.	3588.	146.	10806.	5171.
22.00	7590.	3600.	149.	11041.	5288.
22.50	7816.	3611.	153.	11275.	5405.
23.00	8042.	3623.	156.	11509.	5522.
23.50	8269.	3635.	159.	11744.	5640.
24.00	8495.	3646.	163.	11978.	5757.
24.50	8721.	3658.	166.	12213.	5874.
25.00	8947.	3669.	170.	12447.	5991.
25.50	9173.	3681.	173.	12681.	6108.
26.00	9400.	3693.	176.	12916.	6225.
26.50	9626.	3704.	180.	13150.	6342.
27.00	9852.	3716.	183.	13385.	6459.
27.50	10078.	3727.	187.	13619.	6576.
28.00	10304.	3739.	190.	13853.	6693.
28.50	10531.	3823.	193.	14161.	6842.
29.00	10757.	3908.	197.	14468.	6990.
29.50	10983.	3992.	200.	14775.	7139.
30.00	11209.	4076.	204.	15082.	7288.
30.50	11435.	4160.	207.	15389.	7436.
31.00	11662.	4245.	210.	15696.	7585.
31.50	11888.	4329.	214.	16003.	7734.
32.00	12114.	4341.	217.	16238.	7851.
32.50	12340.	4352.	221.	16472.	7968.
33.00	12566.	4364.	224.	16706.	8085.
33.50	12793.	4375.	227.	16941.	8202.
34.00	13019.	4387.	231.	17175.	8319.
34.50	13245.	4399.	234.	17410.	8436.
35.00	13471.	4410.	238.	17644.	8553.
35.50	13697.	4422.	241.	17878.	8670.
36.00	13924.	4433.	244.	18113.	8787.
36.50	14150.	4445.	248.	18347.	8904.
37.00	14376.	4457.	251.	18581.	9021.
37.50	14602.	4468.	254.	18816.	9138.
38.00	14828.	4480.	258.	19050.	9255.

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

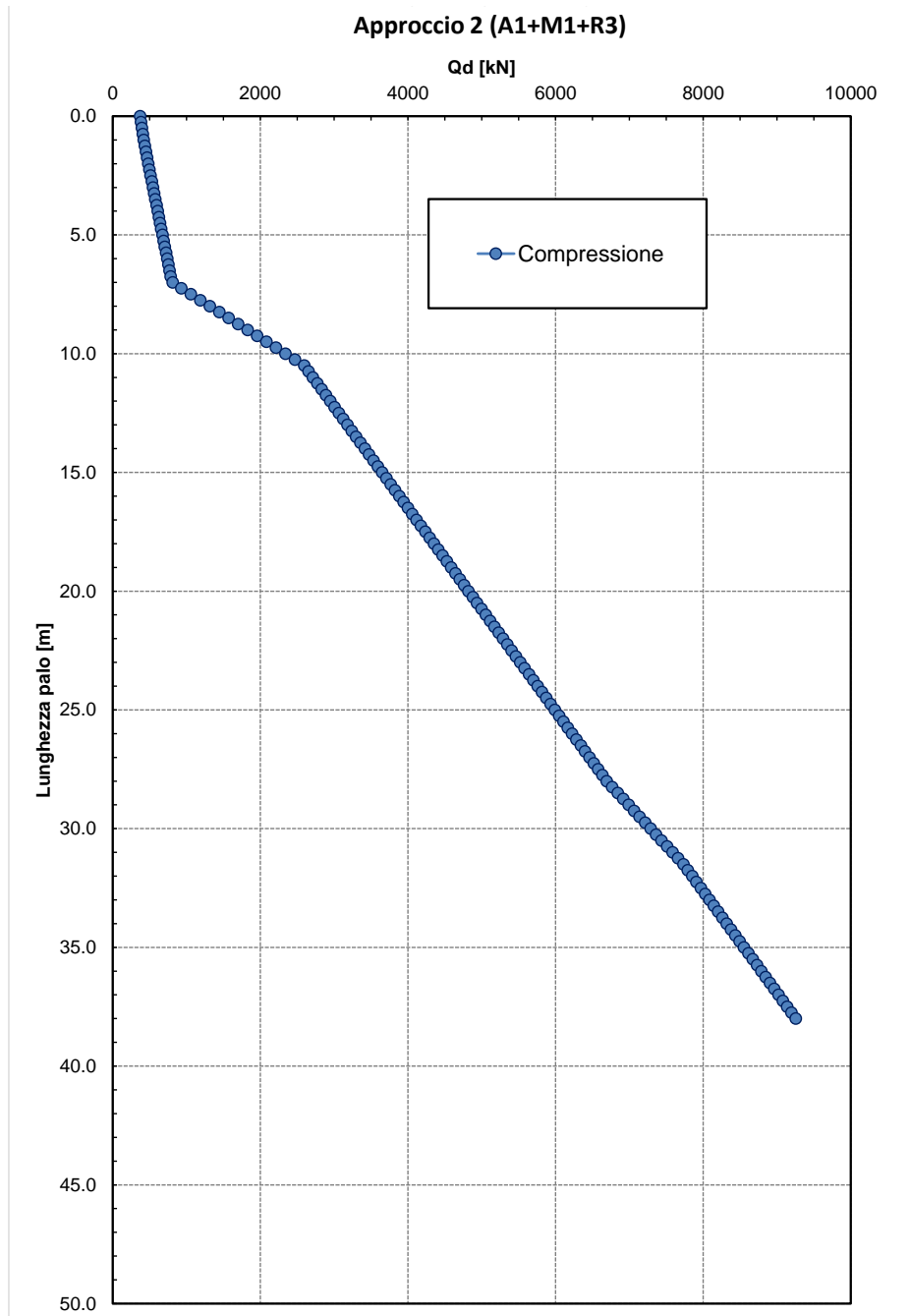


Figura 1 – Capacità portante palo D=1200 mm

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 $\xi=350$.

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

Prof. m	E kN/m ²
.000	28000.00
7.500	28000.00
7.510	105000.00
40.000	105000.00

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

4.3 Momento adimensionale lungo il palo

Per ricavare il momento adimensionalizzato lungo il fusto del palo si ricorre al metodo di Matlock e Reese (1956), che utilizzando il metodo delle differenze finite, hanno risolto il problema del palo soggetto ad un carico orizzontale, mediante l'impiego di parametri adimensionali.

Nel caso in esame, considerando l'andamento del modulo di reazione orizzontale palo-terreno (E_{MR} , che verrà definito nel seguente paragrafo), si ricorre al metodo degli elementi finiti, adimensionalizzando la soluzione come segue:

$$M_0 = \alpha_m \cdot H_0$$

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

essendo:

H_0 = azione tagliante in testa palo [F];

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

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

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

Le metodologie di calcolo 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 (α_m) ed a seguire l'andamento del momento adimensionale lungo il palo. La valutazione è stata eseguita con riferimento ad una lunghezza indicativa di 25 m di palo.

Tabella 4 – VI19 – Valori di α_m

VI19	α_m [m]
D=1200mm	2.46

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

Tabella 5 – VI19 – Momento adimensionale lungo il palo D=1200 mm

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI19 D=1200
Momento adimensionale lungo il fusto del palo
con sommità impedita di ruotare

z m	Mad
0.000	1.0000
.781	.7069
1.563	.4630
2.344	.2652
3.125	.1090
3.906	-.0105
4.688	-.0990
5.469	-.1618
6.250	-.2042

7.500	-.2405
8.750	-.2411
10.000	-.1978
11.250	-.1408
12.500	-.0876
14.583	-.0252
16.667	.0034
18.750	.0103
21.875	.0047
25.000	.0000

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

4.4 Verifica capacità portante ai carichi verticali singolo palo

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

Spalle	N _{max,c} SLU/SLV [kN]	Q _{d,c} [kN]	N _{max,t} SLU/SLV [kN]	N _{max,c} SLE [kN]	QII [kN]	Lpalo [kN]
Spalle	4054	5054	-	3219	7138	21.0

Dove:

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

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

QII = portata laterale limite

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

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

4.5 Verifica a carico limite orizzontale dei pali

Per la verifica del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita. Le metodologie di calcolo generali sono illustrate nella Relazione Tecnico-Descrittiva – Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni profonde (doc. rif. [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 FSg, da cui: $H_d = H_{max} / 2.76$.

Il valore caratteristico della resistenza (Hk) è stato valutato con riferimento ad un momento di plasticizzazione My pari a 5825.7 kNm, considerando il diametro del palo D=1200 mm, l'armatura di 36+36φ26 e la condizione di carico più gravosa con taglio massimo che è associato a massima sollecitazione assiale di trazione (SLV).

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

OPERA	φ [°]	Cu [kPa]	Hmax [kN]	Hd [kN]	Fd [kN]
VI19	-	220	4305.65	1560	1090

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 Nmax=48819 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 (= Qd,gruppo / Nmax) 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 [-]
Φ	18.435 [°]

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

Palo Singolo

$R_d = Q_d$	5054 [kN]
-------------	-----------

Gruppo di pali

$N_{\text{max,SLU}}$	48819 [kN]
$Q_d \text{ Gruppo}$	53035 [kN]

FS	1.09 [-]
----	----------

4.7 Stima cedimenti delle fondazioni

Relativamente alle palificate delle spalle, si osserva che i rilevati di approccio presentano un'altezza intorno ai 5 m e si sviluppano su terreni prevalentemente coesivi, con uno spessore di materiale alluvionale recente coesivo di 9 m circa che sovrasta il substrato di base rappresentato dalle Argille limose marnose di Catenanuova. In relazione alla tipologia di terreno in fondazione ed alle dimensioni dei rilevati, si è ritenuto opportuno eseguire una stima dei cedimenti del palo in presenza di attrito negativo indotto dai cedimenti di consolidazione del rilevato di approccio alle spalle.

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

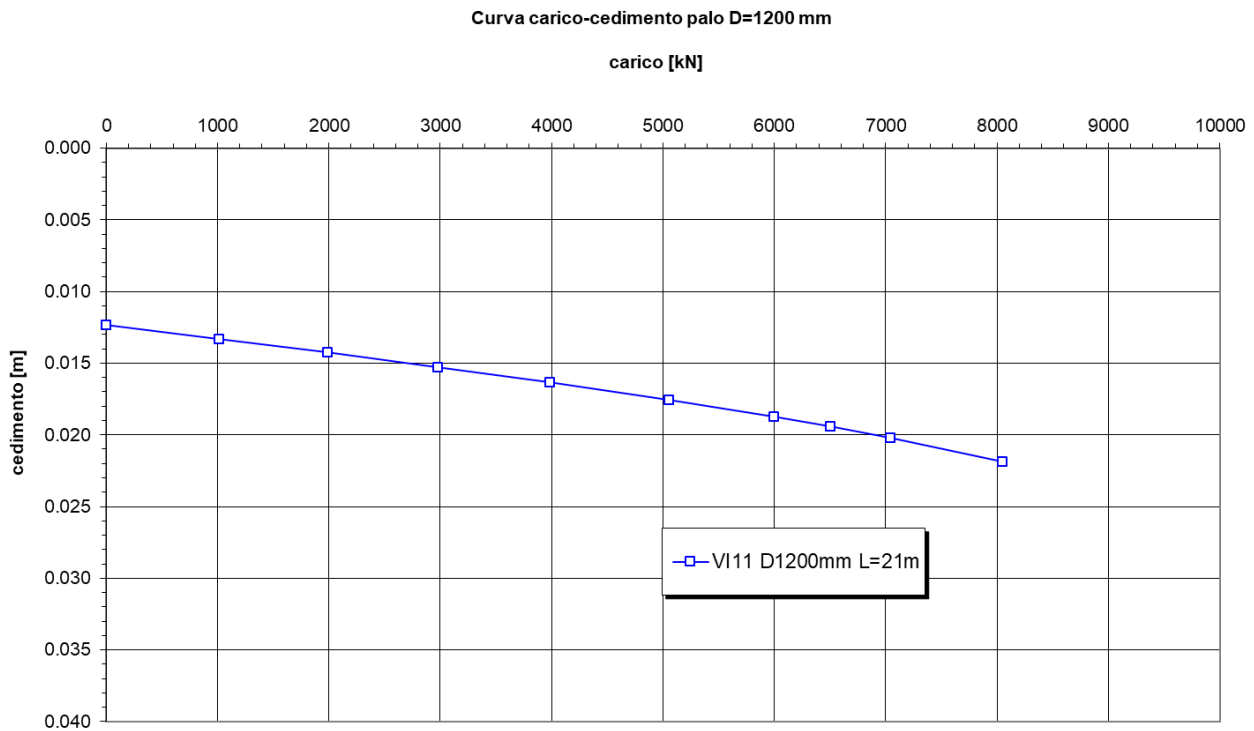


Figura 2 – Curva carico-cedimento in presenza di attrito negativo

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 3219 kN si stimano, in condizioni di attrito negativo, cedimenti del singolo palo (s) dell'ordine di 1.6 cm e quindi compatibili con la funzionalità delle sovrastrutture.

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

5.1 Compressione. Palo D=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 VI19
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/m³
Fattore di sicurezza portata laterale = 1.96 (FS,l)
Fattore di sicurezza portata di base = 2.30 (FS,b)

Elemento cilindrico, Diametro fusto = 1200. mm

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 VI19
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 9.00 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

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

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

$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$

$$C_u \text{ variabile lin. da } 80.0 \text{ a } 80.0 \text{ kPa}$$

Strato 2 "AAC " (Coesivo) da 9.00 a 30.00 m

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

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

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

$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$

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

Strato 3 "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./ 4

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI19
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 "AAC "	1.00	1.00	1.00
3 "AAC "	1.00	1.00	1.00

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

Per terreni coesivi: Criterio $\tau = \alpha * C_u$

Cu alfa

kPa	-
-----	-----
.0	.90
25.0	.90
25.1	.80
50.0	.80
51.0	.60
75.0	.60
75.1	.40
300.0	.40
-----	-----

pag. / 5

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI19
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	80.0	.55	21.5	759.
2.50	43.8	48.8	80.0	.55	24.1	769.
3.00	48.5	58.5	80.0	.55	26.7	779.
3.50	53.3	68.3	80.0	.55	29.3	788.
4.00	58.0	78.0	80.0	.55	31.9	798.
4.50	62.8	87.8	80.0	.51	32.0	808.
5.00	67.5	97.5	80.0	.47	32.0	818.
5.50	72.3	107.3	80.0	.44	32.0	827.
6.00	77.0	117.0	80.0	.42	32.0	837.
6.50	81.8	126.8	80.0	.39	32.0	847.
7.00	86.5	136.5	80.0	.37	32.0	857.
7.50	91.3	146.3	80.0	.35	32.0	866.
8.00	96.0	156.0	80.0	.33	32.0	876.
8.50	100.8	165.8	80.0	.32	32.0	886.
9.00	105.5	175.5	80.0	.72	76.0	896.
9.50	110.8	185.8	300.0	1.08	120.0	1189.
10.00	116.0	196.0	300.0	1.03	120.0	1482.
10.50	121.3	206.3	300.0	.99	120.0	1775.
11.00	126.5	216.5	300.0	.95	120.0	2068.
11.50	131.8	226.8	300.0	.91	120.0	2361.
12.00	137.0	237.0	300.0	.88	120.0	2654.
12.50	142.3	247.3	300.0	.84	120.0	2947.
13.00	147.5	257.5	300.0	.81	120.0	2958.
13.50	152.8	267.8	300.0	.79	120.0	2968.
14.00	158.0	278.0	300.0	.76	120.0	2978.
14.50	163.3	288.3	300.0	.74	120.0	2988.
15.00	168.5	298.5	300.0	.71	120.0	2999.
15.50	173.8	308.8	300.0	.69	120.0	3009.
16.00	179.0	319.0	300.0	.67	120.0	3019.
16.50	184.3	329.3	300.0	.65	120.0	3029.

pag. / 6

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI19
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	189.5	339.5	300.0	.63	120.0	3040.
17.50	194.8	349.8	300.0	.62	120.0	3050.
18.00	200.0	360.0	300.0	.60	120.0	3060.
18.50	205.3	370.3	300.0	.58	120.0	3070.
19.00	210.5	380.5	300.0	.57	120.0	3081.
19.50	215.8	390.8	300.0	.56	120.0	3091.
20.00	221.0	401.0	300.0	.54	120.0	3101.
20.50	226.3	411.3	300.0	.53	120.0	3111.
21.00	231.5	421.5	300.0	.52	120.0	3122.
21.50	236.8	431.8	300.0	.51	120.0	3132.
22.00	242.0	442.0	300.0	.50	120.0	3142.
22.50	247.3	452.3	300.0	.49	120.0	3152.
23.00	252.5	462.5	300.0	.48	120.0	3163.
23.50	257.8	472.8	300.0	.47	120.0	3173.
24.00	263.0	483.0	300.0	.46	120.0	3183.
24.50	268.3	493.3	300.0	.45	120.0	3193.
25.00	273.5	503.5	300.0	.44	120.0	3204.
25.50	278.8	513.8	300.0	.43	120.0	3214.
26.00	284.0	524.0	300.0	.42	120.0	3224.
26.50	289.3	534.3	300.0	.41	120.0	3234.
27.00	294.5	544.5	300.0	.41	120.0	3245.
27.50	299.8	554.8	300.0	.40	120.0	3255.
28.00	305.0	565.0	300.0	.39	120.0	3265.
28.50	310.3	575.3	300.0	.39	120.0	3275.
29.00	315.5	585.5	300.0	.38	120.0	3286.
29.50	320.8	595.8	300.0	.37	120.0	3296.
30.00	326.0	606.0	300.0	.37	120.0	3306.
30.50	331.3	616.3	350.0	.36	120.0	3381.
31.00	336.5	626.5	350.0	.36	120.0	3455.
31.50	341.8	636.8	350.0	.35	120.0	3530.
32.00	347.0	647.0	350.0	.35	120.0	3604.
32.50	352.3	657.3	350.0	.34	120.0	3679.
33.00	357.5	667.5	350.0	.34	120.0	3753.
33.50	362.8	677.8	350.0	.33	120.0	3828.
34.00	368.0	688.0	350.0	.33	120.0	3838.
34.50	373.3	698.3	350.0	.32	120.0	3848.
35.00	378.5	708.5	350.0	.32	120.0	3859.
35.50	383.8	718.8	350.0	.31	120.0	3869.
36.00	389.0	729.0	350.0	.31	120.0	3879.
36.50	394.3	739.3	350.0	.30	120.0	3889.
37.00	399.5	749.5	350.0	.30	120.0	3900.
37.50	404.8	759.8	350.0	.30	120.0	3910.
38.00	410.0	770.0	350.0	.29	120.0	3920.
38.50	415.3	780.3	350.0	.29	120.0	3930.
39.00	420.5	790.5	350.0	.29	120.0	3941.
39.50	425.8	800.8	350.0	.28	120.0	3951.
40.00	431.0	811.0	350.0	.28	120.0	3961.

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

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI19
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
.00	0.	858.	0.	858.	373.
.50	43.	869.	3.	909.	397.
1.00	91.	880.	7.	964.	422.
1.50	143.	891.	10.	1025.	451.
2.00	201.	903.	14.	1090.	481.
2.50	261.	914.	17.	1158.	514.
3.00	322.	925.	20.	1226.	546.
3.50	382.	936.	24.	1294.	578.
4.00	442.	947.	27.	1362.	610.
4.50	503.	958.	31.	1430.	642.
5.00	563.	969.	34.	1498.	674.
5.50	623.	980.	37.	1566.	707.
6.00	684.	991.	41.	1634.	739.
6.50	744.	1002.	44.	1702.	771.
7.00	825.	1013.	48.	1790.	814.
7.50	1030.	1344.	51.	2324.	1059.
8.00	1257.	1676.	54.	2878.	1315.
8.50	1483.	2007.	58.	3432.	1572.
9.00	1709.	2339.	61.	3987.	1828.
9.50	1935.	2670.	64.	4541.	2084.
10.00	2161.	3002.	68.	5095.	2340.
10.50	2388.	3333.	71.	5650.	2596.
11.00	2614.	3345.	75.	5884.	2713.
11.50	2840.	3356.	78.	6118.	2830.
12.00	3066.	3368.	81.	6353.	2947.
12.50	3292.	3380.	85.	6587.	3064.
13.00	3519.	3391.	88.	6822.	3181.
13.50	3745.	3403.	92.	7056.	3298.
14.00	3971.	3414.	95.	7290.	3416.
14.50	4197.	3426.	98.	7525.	3533.
15.00	4423.	3438.	102.	7759.	3650.
15.50	4650.	3449.	105.	7994.	3767.
16.00	4876.	3461.	109.	8228.	3884.
16.50	5102.	3472.	112.	8462.	4001.
17.00	5328.	3484.	115.	8697.	4118.
17.50	5554.	3496.	119.	8931.	4235.
18.00	5781.	3507.	122.	9166.	4352.
18.50	6007.	3519.	126.	9400.	4469.
19.00	6233.	3530.	129.	9634.	4586.
19.50	6459.	3542.	132.	9869.	4703.
20.00	6685.	3554.	136.	10103.	4820.
20.50	6912.	3565.	139.	10338.	4937.
21.00	7138.	3577.	143.	10572.	5054.
21.50	7364.	3588.	146.	10806.	5171.
22.00	7590.	3600.	149.	11041.	5288.
22.50	7816.	3611.	153.	11275.	5405.
23.00	8042.	3623.	156.	11509.	5522.
23.50	8269.	3635.	159.	11744.	5640.
24.00	8495.	3646.	163.	11978.	5757.
24.50	8721.	3658.	166.	12213.	5874.
25.00	8947.	3669.	170.	12447.	5991.
25.50	9173.	3681.	173.	12681.	6108.
26.00	9400.	3693.	176.	12916.	6225.
26.50	9626.	3704.	180.	13150.	6342.
27.00	9852.	3716.	183.	13385.	6459.
27.50	10078.	3727.	187.	13619.	6576.

28.00	10304.	3739.	190.	13853.	6693.
28.50	10531.	3823.	193.	14161.	6842.
29.00	10757.	3908.	197.	14468.	6990.
29.50	10983.	3992.	200.	14775.	7139.

pag./ 10

LINEA FS PALOMBA-CATENANUOVA VI19
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	11209.	4076.	204.	15082.	7288.
30.50	11435.	4160.	207.	15389.	7436.
31.00	11662.	4245.	210.	15696.	7585.
31.50	11888.	4329.	214.	16003.	7734.
32.00	12114.	4341.	217.	16238.	7851.
32.50	12340.	4352.	221.	16472.	7968.
33.00	12566.	4364.	224.	16706.	8085.
33.50	12793.	4375.	227.	16941.	8202.
34.00	13019.	4387.	231.	17175.	8319.
34.50	13245.	4399.	234.	17410.	8436.
35.00	13471.	4410.	238.	17644.	8553.
35.50	13697.	4422.	241.	17878.	8670.
36.00	13924.	4433.	244.	18113.	8787.
36.50	14150.	4445.	248.	18347.	8904.
37.00	14376.	4457.	251.	18581.	9021.
37.50	14602.	4468.	254.	18816.	9138.
38.00	14828.	4480.	258.	19050.	9255.

Lp = Lunghezza utile del palo
 Ql1 = Portata laterale limite
 Qb1 = Portata di base limite
 Wp = Peso efficace del palo
 Qu = Portata totale limite
 Qd = Portata di progetto = $Ql1/FS,1 + Qb1/FS,b - Wp$

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

6.1 D=1200 mm

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI19 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



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA

PROGETTO DEFINITIVO

VI19 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1903 001	A	24 di 25

Definizione per punti del modulo di reazione del terreno E

Prof. m	E kN/m2
.000	22400.00
7.500	22400.00
7.510	84000.00
40.000	84000.00

Per il primo segmento:

Modulo iniziale E_o = 22400.000 kN/m2
 Gradiente del modulo K_h = .000 kN/m3

Lunghezza elastica $T = (EJ/E_o)^{0.25}$ = 3.417 m
 $Z_{max} = L_p/T$ = 7.316

Coefficienti adimensionali di flessibilita' della sommita' del palo:

$A_y = 1.4015$
 $A_s = B_y = .9798$
 $B_s = 1.3637$

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:

$M_o = - (T A_s/B_s) * F_o = - \alpha * F_o$ $\alpha = 2.4551 \text{ m}$

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

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



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

VI19 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI1903 001	A	25 di 25

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI19 D=1200

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

z m	Mad -
.000	1.0000
.781	.7069
1.563	.4630
2.344	.2652
3.125	.1090
3.906	-.0105
4.688	-.0990
5.469	-.1618
6.250	-.2042
7.500	-.2405
8.750	-.2411
10.000	-.1978
11.250	-.1408
12.500	-.0876
14.583	-.0252
16.667	.0034
18.750	.0103
21.875	.0047
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
.229	.7063	.1937	-.1895	.9765
.457	.4627	.3260	-.3201	.9167
.686	.2647	.4079	-.4027	.8329
.915	.1096	.4496	-.4477	.7347
1.143	-.0088	.4600	-.4644	.6298
1.372	-.0956	.4473	-.4610	.5235
1.600	-.1558	.4179	-.4442	.4198
1.829	-.1972	.3772	-.4178	.3208
2.195	-.2254	.2988	-.3752	.1754
2.561	-.2319	.2138	-.2514	.0564
2.927	-.1982	.1336	-.1309	-.0118
3.292	-.1460	.0704	-.0487	-.0429
3.658	-.0904	.0267	.0027	-.0505
4.268	-.0309	-.0089	.0299	-.0376
4.878	.0005	-.0161	.0269	-.0189
5.487	.0099	-.0118	.0142	-.0060
6.402	.0068	-.0030	.0018	.0004
7.316	.0000	.0000	.0000	.0000