

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

### NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA

#### U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

#### PROGETTO DEFINITIVO

#### TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)

OPERE PRINCIPALI – PONTI E VIADOTTI

VI02 - Ltot=500 m

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni 2/2

SCALA:

-

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

RS3E 50 D 09 RB VI0203 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autore	Data
A	Emissione esecutiva	S.Gasperoni	Novembre 2019	M.E. D'Effremo	Novembre 2019	F.Sparacino	Novembre 2019	ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti Dott. Ing. Angelo Vincozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° A0723	Novembre 2019

## INDICE

1.	PREMESSA .....	4
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
3.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	6
3.1	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE.....	6
3.2	STRATIGRAFIA .....	7
3.3	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	7
3.4	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	7
4.	PALIFICATE DI FONDAZIONE .....	16
4.1	CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI.....	16
4.1.1	<i>Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo.....</i>	<i>16</i>
4.1.2	<i>Calcolo della capacità portante dei pali.....</i>	<i>16</i>
4.2	MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO .....	21
4.3	MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO.....	21
4.4	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI .....	24
4.5	ANALISI PALIFICATA SPALLA E STIMA DEFORMAZIONI.....	25
5.	APPENDICE A: VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI. TABULATI DI CALCOLO PAL ..	29
5.1	COMPRESSIONE. PALI SPALLE D=1500 MM .....	29
6.	APPENDICE B: VALUTAZIONE DEL MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO. TABULATI DI CALCOLO MR.....	36
6.1	PALI D=1500 MM L = 25M.....	36
6.2	PALI D=1500 MM L = 35M.....	38
7.	APPENDICE C: ANALISI PALIFICATA SPALLA. TABULATI DI CALCOLO MAP .....	40
7.1	SPALLA – ANALISI SLV .....	40



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

PROGETTO DEFINITIVO

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	3 di 46



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

PROGETTO DEFINITIVO

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	4 di 46

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione si riporta il dimensionamento delle fondazioni del Viadotto VI02 nell'ambito del Progetto Definitivo lotto 5 della tratta denominata Dittaino – Catenanuova relativa al Nuovo Collegamento ferroviario Palermo – Catania.

In particolare nel presente documento si riportano le palificate delle spalle.

Nel seguito 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);
- valutazione carico limite orizzontale dei pali.

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 (LOTTO 5)  PROGETTO DEFINITIVO					
VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI0203 002	REV. A	FOGLIO 5 di 46

## 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]. RS3E 50 D09 RH GE0001 001 A - Nuovo collegamento Palermo-Catania, tratta Dittaino - Catenanuova. Progetto Definitivo. Relazione Geotecnica tratti all'aperto - Lotto 5 (da km 0+000 a km 8+920).
- [DC2]. RS3E 50 D09 F6 GE0001 001 A ÷ RS3E 50 D09 F6 GE0001 006 A- Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Dittaino - Catenanuova. Progetto Definitivo. Profilo geotecnico - Lotto 5 (da km 0+000 a km 8+920) – 6 tavole.
- [DC3]. RS3E 50 D09 RB VI0000 001 A - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa. Progetto Definitivo. Relazione Tecnico-Descrittiva – Relazione tecnico descrittiva dimensionamento e verifica fondazioni profonde - Lotto 5 (Dittaino - PM Palomba).

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI0203 002	REV. A	FOGLIO 6 di 46

### 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 1+358 e km 1+860. Le indagini prese a riferimento sono le seguenti:

Sondaggio	Profondità [m]	N. prove SPT	N. campioni indisturbati	N. campioni rimaneggiati	Prova Down-Hole	Piezometro TA	Prova Lefranc, profondità [m]
5_S17	40.0	8	3	2	-	[26.5-28.5]	9.0 22.5
5_S12	30.0	7	3	2	[30 m]-	-	2.0 13.5
5_SV5N	40.0	6	3	3	DH	-	7 26
5_DPSH6	14.0	-	-	-	-	-	-

TA [m]: profondità tratto filtrante  
DH [m]: profondità prova

Poiché al momento della stesura del presente elaborato, non sono ancora disponibili i risultati delle prove di laboratorio sugli ultimi sondaggi eseguiti, verranno prese a riferimento anche indagini nelle vicinanze (5\_SW01, 5\_S12) per avere un maggior numero di dati a disposizione in quanto comunque intercettano gli stessi terreni.

Inoltre è stata eseguita l'indagine sismica Masw 1new. I risultati della DH nel foro 5\_SV05N non sono al momento ancora disponibili.

La falda varia da +234 m s.l.m (lettura piezometro 5\_S17) a +247 m s.l.m. (piezometro 5\_SW01) cautelativamente per la portanza dei pali il livello di falda è assunto a p.c. locale (anche in relazione alla presenza di fossati).

### 3.2 Stratigrafia

Lungo lo sviluppo del viadotto è presente una copertura alluvionale coesiva (unità ba) di spessore 10-15 m ed a seguire la formazione di base di Terravecchia (argilla limosa debolmente marnosa a struttura brecciata) (unità TRVb). Alcuni sondaggi hanno intercettato, intercalati alle alluvioni coesive, locali lenti di alluvioni incoerenti sabbiose e/o ghiaiose (unità bs/unità bg) di spessore massimo 1 m e di continuità orizzontale non ben definita in relazione al numero di verticali di indagine in relazione all'estensione del viadotto; quindi nel dimensionamento delle palificate, questi strati incoerenti sono stati cautealmente trascurati.

Per il dimensionamento delle fondazioni si è assunta la seguente stratigrafia.

Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷15.0
TVRb	Formazione di Terravecchia	15.0÷40.0

Falda: Per la portanza dei pali è stata assunta a p.c. anche in relazione alla presenza del corso d'acqua. Per il dimensionamento delle opere provvisorie si assume il livello di falda indicato nel profilo geotecnico longitudinale.

### 3.3 Categoria di sottosuolo

Le indagini sismiche eseguite nell'area hanno dati i seguenti valori:  $V_{s,30} = 354$  m/s ( $M_{sw} = 1$  new) e  $V_{s,30} = 270$  m/s (Down – Hole 5\_S12), da cui si è assunta la categoria di sottosuolo tipo C.

### 3.4 Sintesi dei parametri geotecnici di progetto

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

Nelle seguenti figure si riportano i risultati delle prove in sito e di laboratorio delle indagini prese a riferimento per l'opera, da cui sono stati stimati i parametri geotecnici della tabella seguente.

Tabella 1 – VI02 – Parametri geotecnici

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Cu [kPa]	c' [kPa]	$\phi'$ [°]	Vs [m/s]	Eo [MPa]	E' <sub>op,1</sub> [MPa]
ba	19.0	70÷120	0	24	160-220	75÷250	Eo / 5
bs	19.0	-	0	32	150-200	120-200	Eo / 5
bg	19.0	-	0	37	2560-300	300-450	Eo / 5
TRVb	21.0	115+3.5*z (z <30 m) 2.5+6.5*z (z >30m)	5	26	340-440	300÷970	Eo / 5

Dove:

$\gamma$  = peso di volume naturale

cu = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

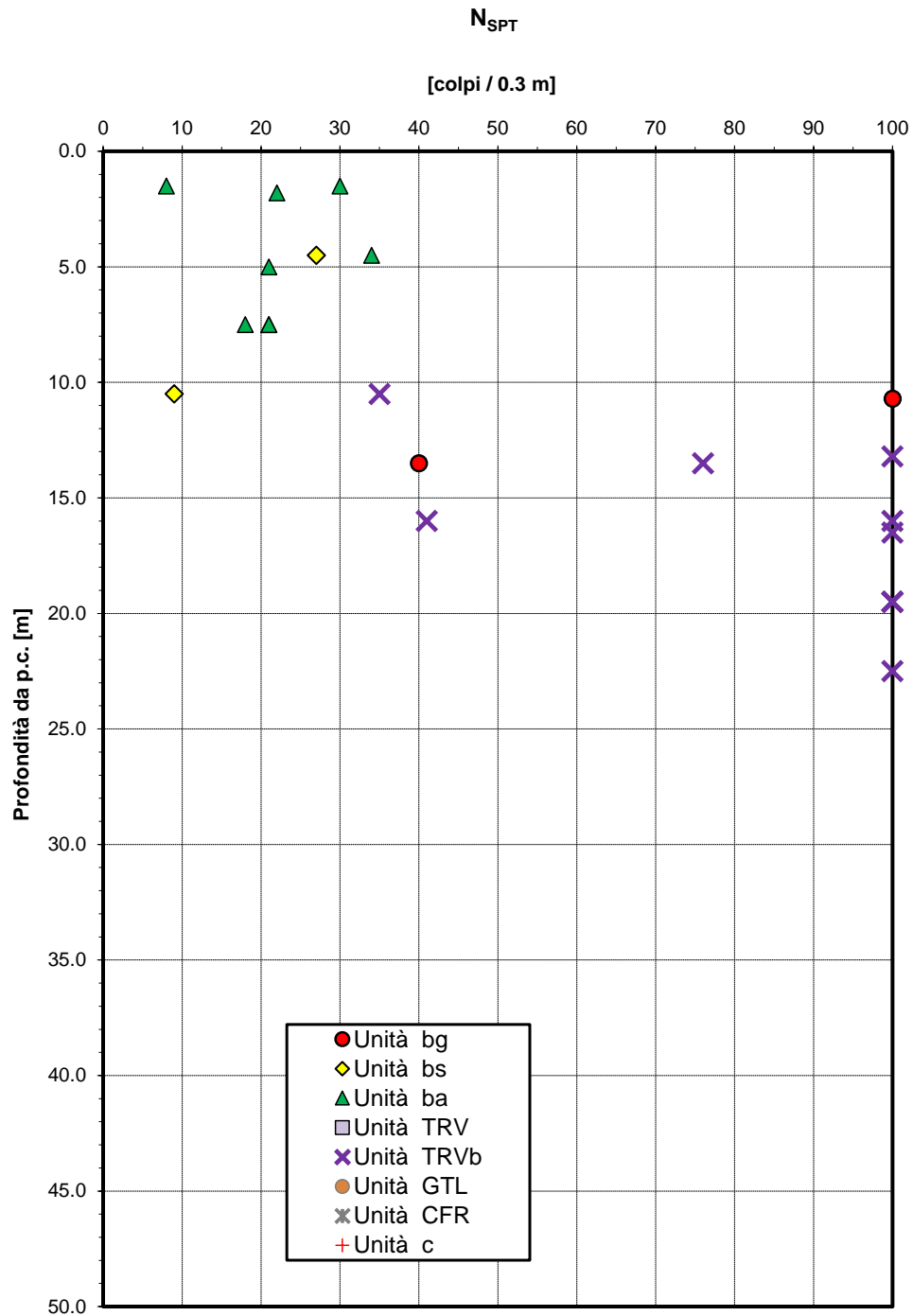
$\phi'$  = angolo di resistenza al taglio

Vs = velocità delle onde di taglio

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

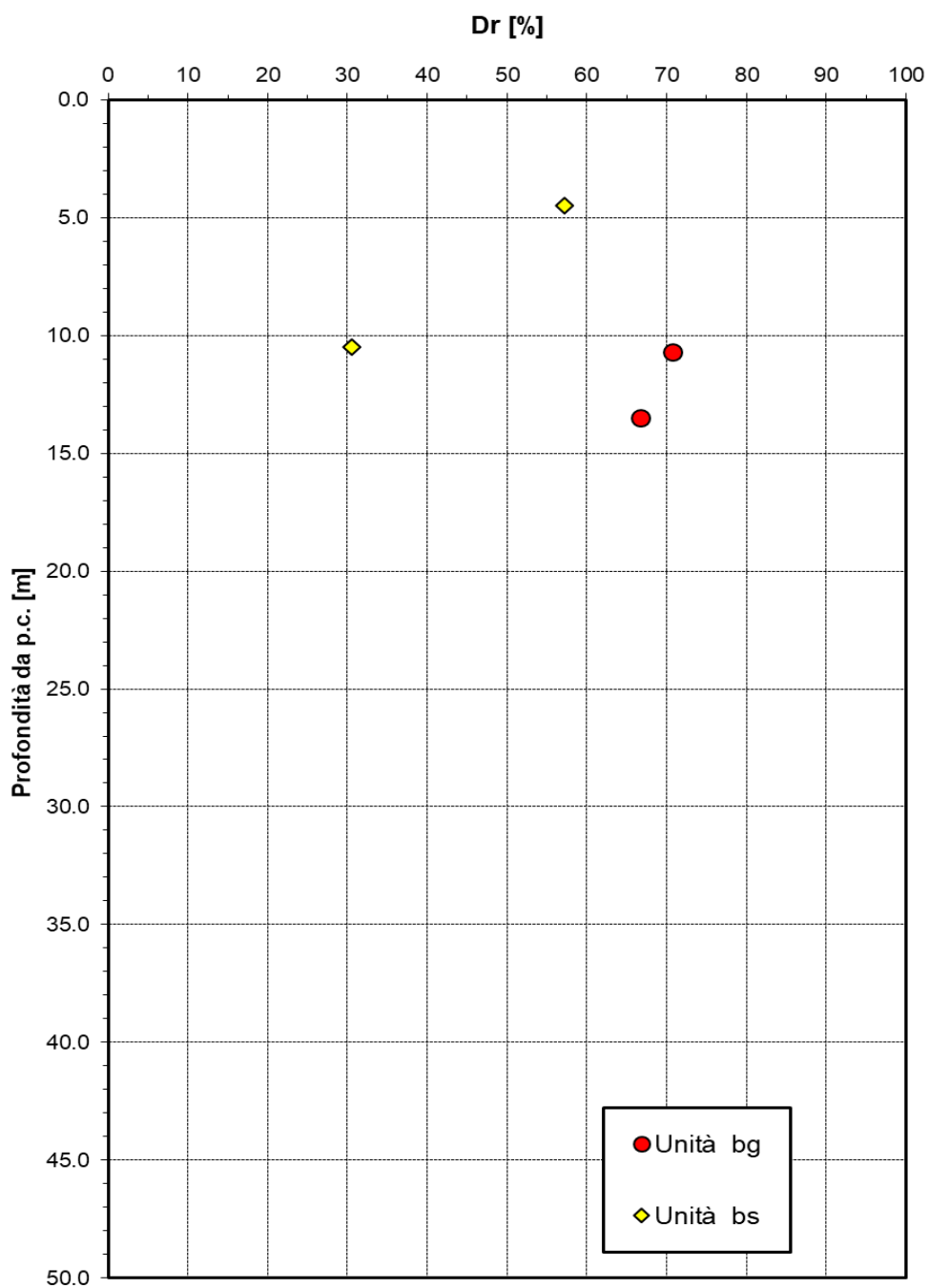
E'<sub>op,1</sub> = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette.





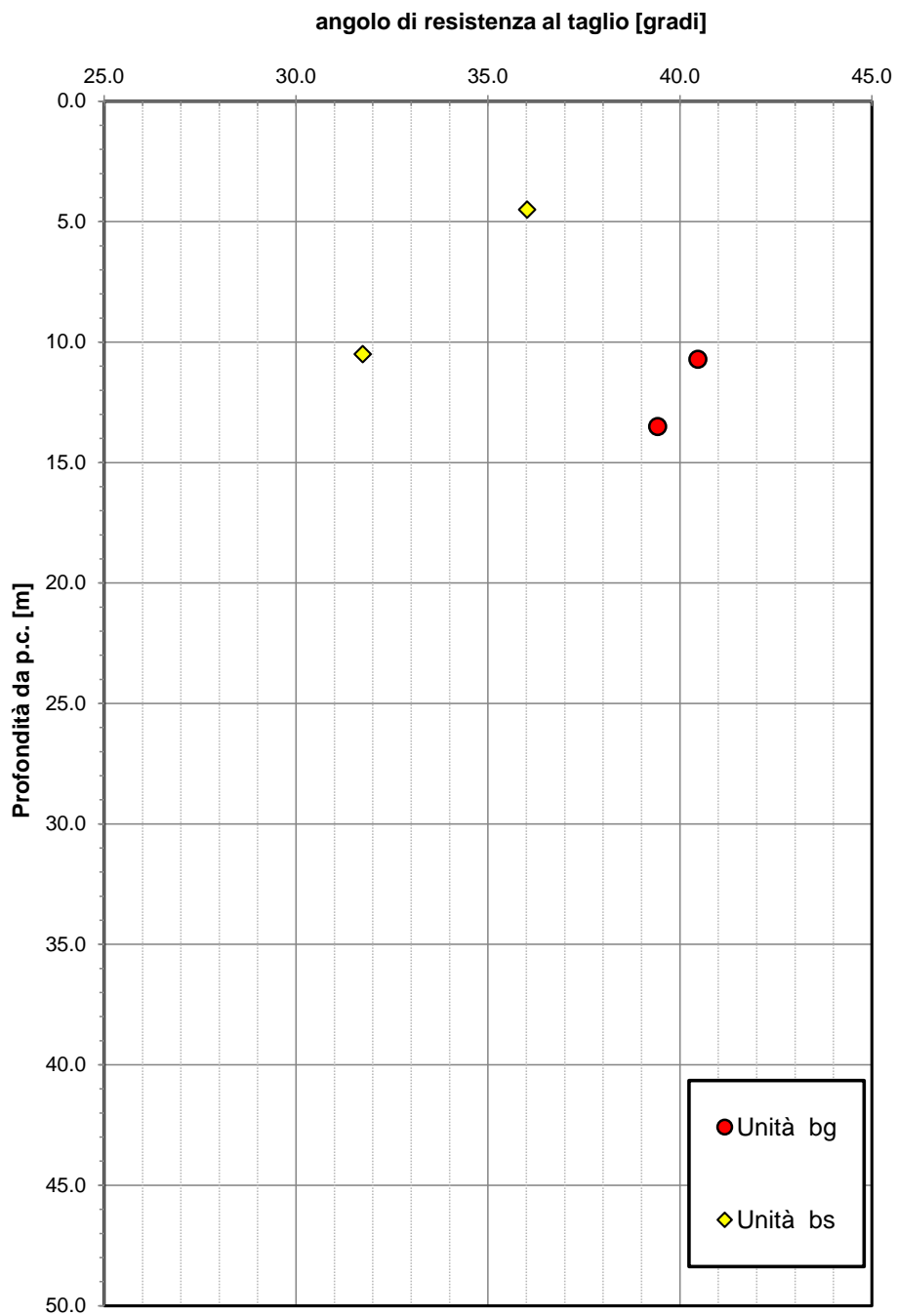
**Figura 1 – Risultati prova SPT**

**Densità relativa da prove SPT**



**Figura 2 – Densità relativa da prova SPT**

**Angolo di resistenza al taglio da prove SPT**



**Figura 3 – Angolo di resistenza a taglio da prova SPT**

**Correlazione  $N_{SPT}-\phi'$ , De Mello (1971)**

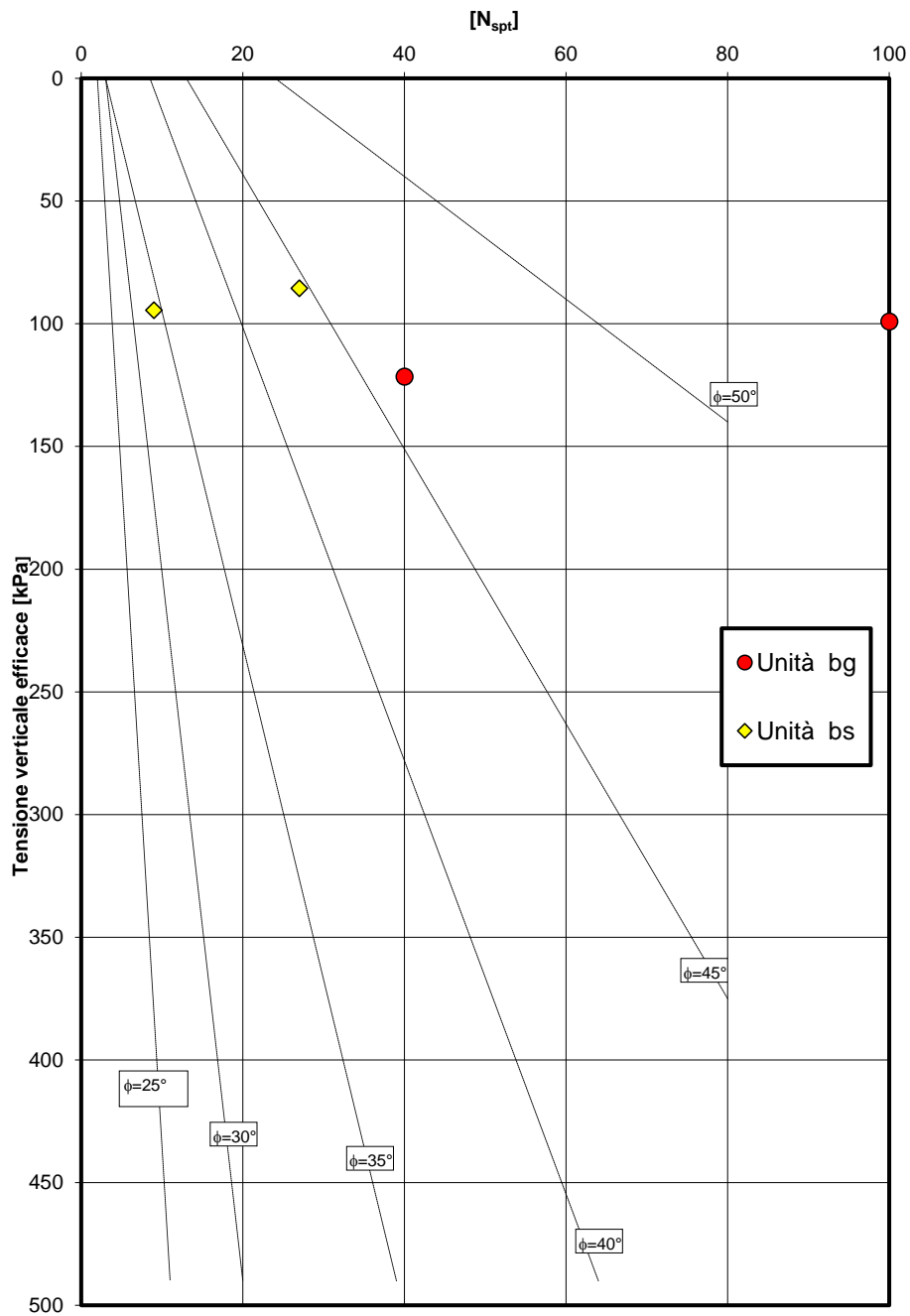
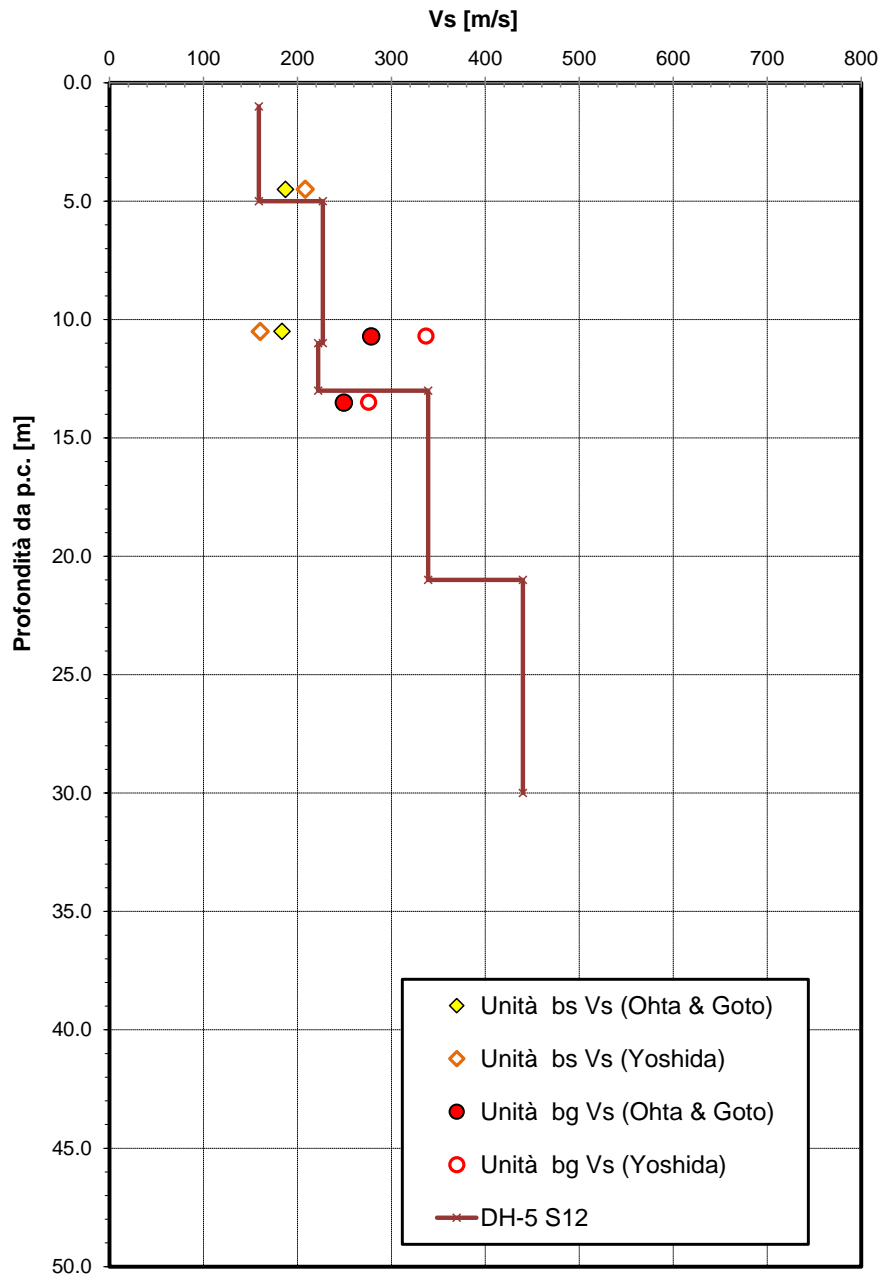


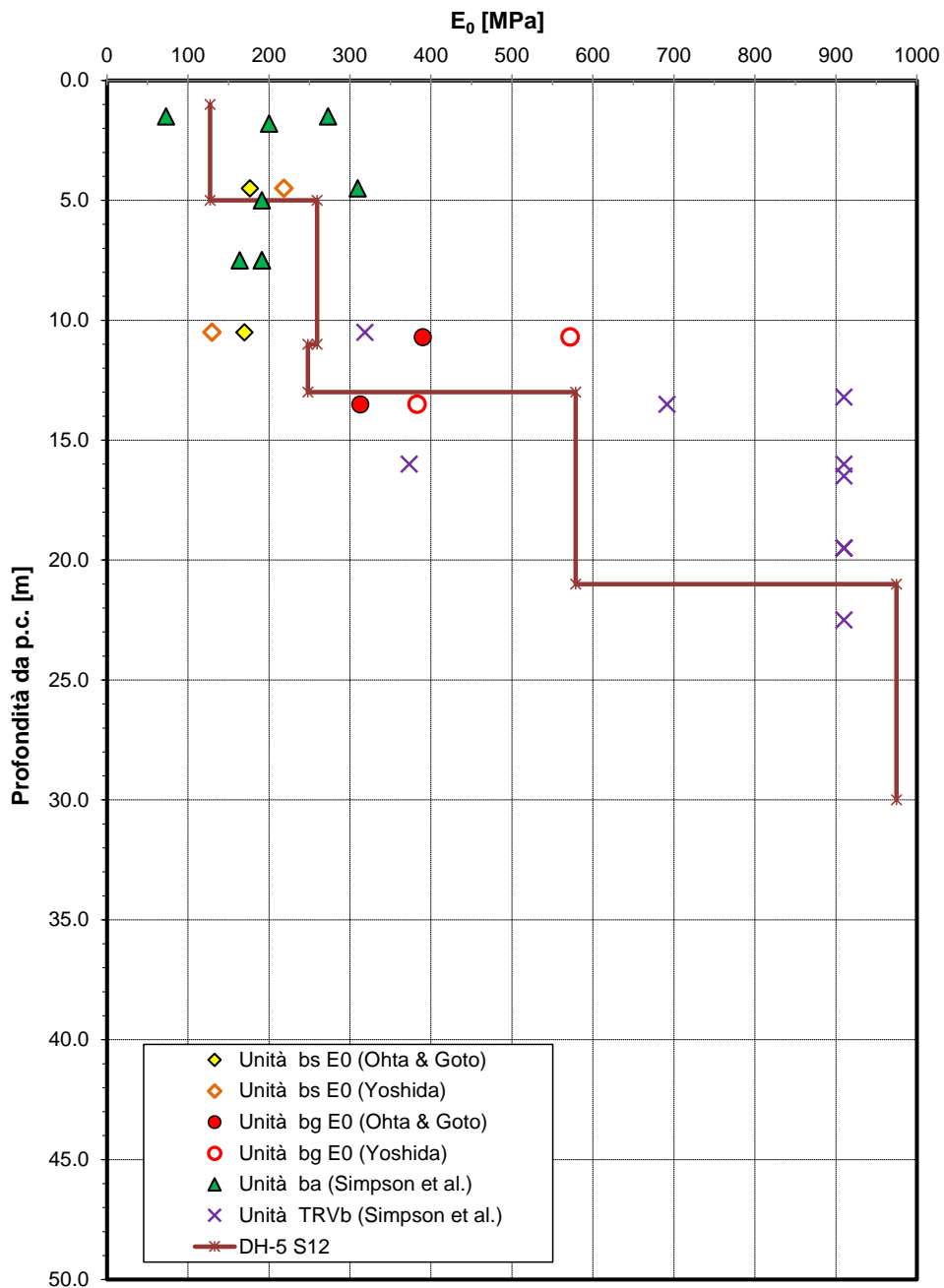
Figura 4 – Correlazione  $N_{spt}$  – angolo di attrito (De Mello, 1971).

**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**



**Figura 5 - Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**

**Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche**



**Figura 6 - Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche**

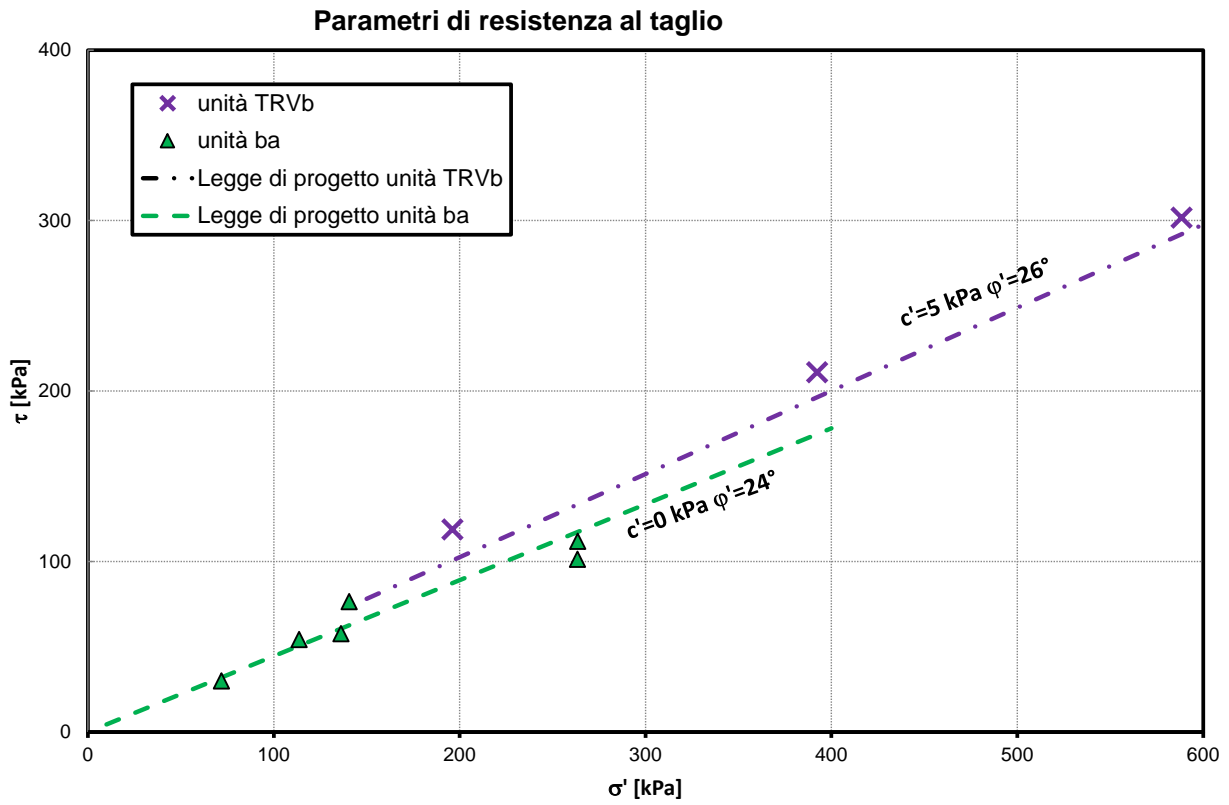



Figura 7 – Caratteristiche di resistenza a taglio

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RB	DOCUMENTO VI0203 002	REV. A	FOGLIO 16 di 46

## 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. [DC3]) 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 – VI02 – Parametri geotecnici

Profondità [m]	Unità geotecnica	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$C_u$ [kPa]	$\varphi'$ [°]	$q_b$ [kPa]
0.0÷15.0	ba	19.0	70÷120	-	$9 \cdot c_u + \sigma_v$
15.0÷30.0	TRVb	21.0	167.5 ÷ 220	-	$9 \cdot c_u + \sigma_v$
30.0÷50.0	TRVb	21.0	220 ÷ 350	-	$9 \cdot c_u + \sigma_v$

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

#### 4.1.2 Calcolo della capacità portante dei pali

La capacità portante per le fondazioni del viadotto è stata valutata per pali di grande diametro  $D=1200$  mm per le pile e  $D=1500$  mm per le spalle, considerando l'Approccio 2 (A1+M1+R3) di normativa e quindi con i seguenti coefficienti parziali sulle resistenze di base e laterale:

- $N_2$  verticale di indagine (5\_S17 e 5\_SV5N, le altre indagini sono parecchio distanti), da cui  $\xi_3 = 1.65$ ,
- $F_{SL}$  = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ( $=\xi_3 \cdot \gamma_s = 1.90$ ).
- $F_{SLt}$  = fattore di sicurezza per la portata laterale a trazione ( $=\xi_3 \cdot \gamma_s = 2.06$ ).
- $F_{SB}$  = fattore di sicurezza per la portata di base ( $=\xi_3 \cdot \gamma_b = 2.23$ ).

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





NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

PROGETTO DEFINITIVO

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	17 di 46

- $N_{max,SLU} < Q_d$ , 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 4.0 m di profondità da p.c. per le pile e a 2.0 m per le spalle;
- falda a 0.0 m da p.c.

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

Nelle seguenti tabelle e successive si riportano i valori di portata di progetto per le fondazioni in oggetto.

Le verifiche di capacità portante dei pali sono riportate nella relazione di calcolo dell'opera.

**Tabella 3 – VI02 – Capacità portante palo Spalle D=1500 mm - A1+M1+R3 Compressione**

LINEA FS PALERMO-CATANIA lotto 5a VI02  
Capacità portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3  
STAMPA capacità portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	1286.	0.	1286.	577.
.50	26.	1330.	5.	1351.	605.
1.00	58.	1373.	11.	1421.	636.
1.50	96.	1416.	16.	1497.	670.
2.00	140.	1460.	21.	1578.	707.
2.50	190.	1503.	27.	1666.	747.
3.00	245.	1546.	32.	1759.	790.
3.50	306.	1590.	37.	1859.	837.
4.00	373.	1633.	42.	1964.	886.
4.50	446.	1676.	48.	2075.	939.
5.00	525.	1719.	53.	2191.	994.
5.50	609.	1763.	58.	2314.	1053.
6.00	699.	1806.	64.	2442.	1114.
6.50	791.	1849.	69.	2571.	1177.
7.00	885.	1893.	74.	2703.	1240.
7.50	980.	1936.	80.	2836.	1304.
8.00	1076.	1979.	85.	2971.	1369.
8.50	1174.	2022.	90.	3107.	1435.
9.00	1274.	2066.	95.	3244.	1502.
9.50	1375.	2109.	101.	3384.	1569.
10.00	1478.	2152.	106.	3525.	1637.
10.50	1583.	2196.	111.	3667.	1706.
11.00	1689.	2239.	117.	3811.	1776.
11.50	1796.	2282.	122.	3957.	1847.
12.00	1906.	2326.	127.	4104.	1919.
12.50	2016.	2369.	133.	4253.	1991.
13.00	2138.	2412.	138.	4413.	2069.
13.50	2320.	2542.	143.	4719.	2218.
14.00	2514.	2673.	148.	5038.	2373.
14.50	2711.	2803.	154.	5360.	2530.
15.00	2911.	2933.	159.	5685.	2688.
15.50	3114.	3064.	164.	6013.	2848.
16.00	3320.	3194.	170.	6344.	3010.
16.50	3529.	3324.	175.	6678.	3173.
17.00	3740.	3455.	180.	7015.	3338.
17.50	3955.	3585.	186.	7355.	3504.
18.00	4173.	3631.	191.	7613.	3634.
18.50	4393.	3678.	196.	7875.	3765.
19.00	4617.	3724.	201.	8140.	3898.
19.50	4843.	3771.	207.	8407.	4033.
20.00	5073.	3817.	212.	8678.	4169.
20.50	5305.	3863.	217.	8951.	4307.
21.00	5540.	3910.	223.	9228.	4447.
21.50	5779.	3956.	228.	9507.	4588.
22.00	6020.	4003.	233.	9789.	4730.
22.50	6264.	4049.	239.	10074.	4874.
23.00	6511.	4095.	244.	10363.	5020.
23.50	6761.	4142.	249.	10654.	5167.
24.00	7014.	4188.	254.	10948.	5315.
24.50	7270.	4235.	260.	11245.	5466.
25.00	7529.	4281.	265.	11545.	5617.
25.50	7791.	4327.	270.	11848.	5771.
26.00	8056.	4374.	276.	12154.	5925.
26.50	8323.	4420.	281.	12462.	6082.
27.00	8594.	4466.	286.	12774.	6240.
27.50	8868.	4513.	292.	13089.	6399.
28.00	9144.	4559.	297.	13407.	6560.
28.50	9424.	4629.	302.	13752.	6734.

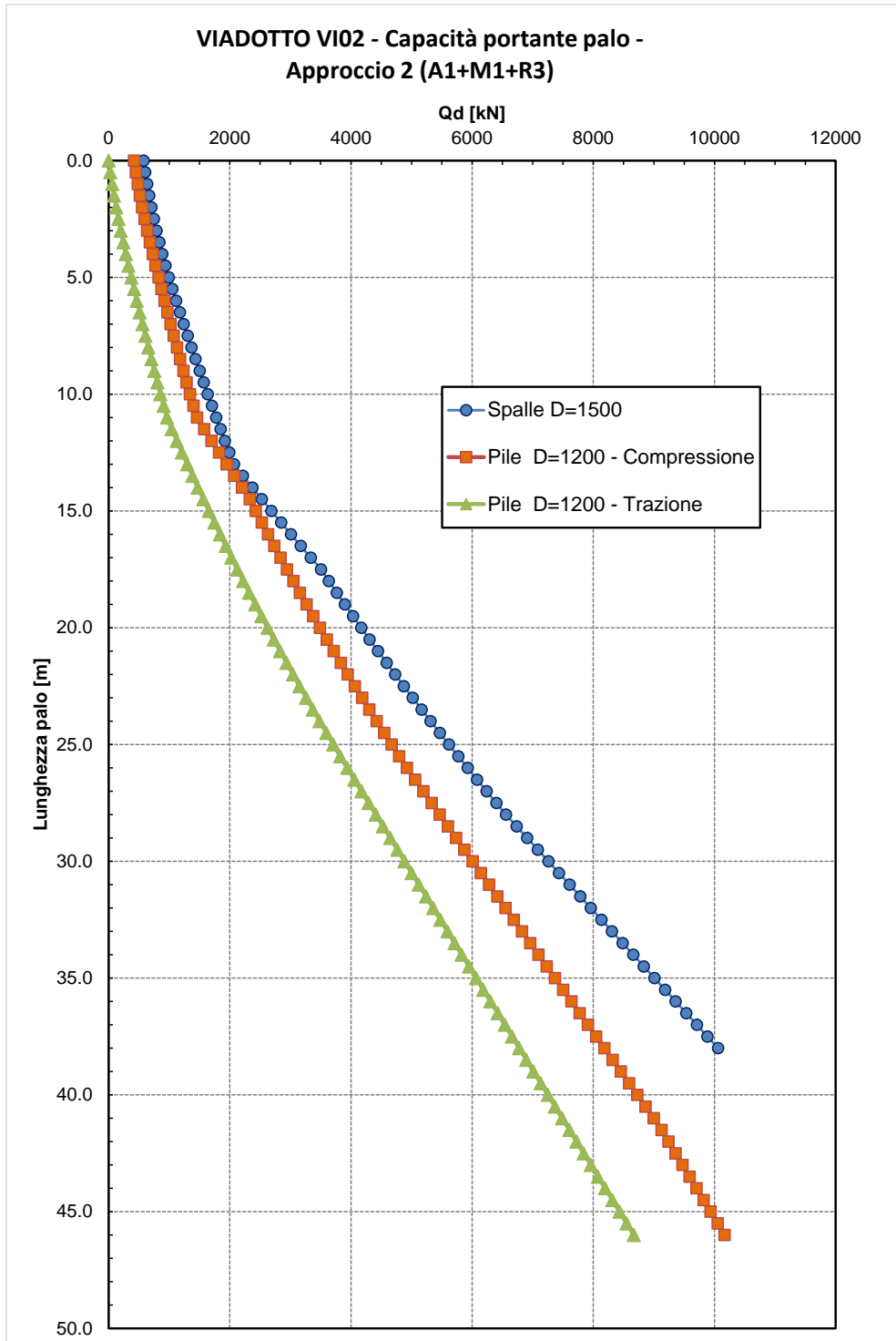
VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	19 di 46

29.00	9707.	4700.	307.	14099.	6909.
29.50	9990.	4770.	313.	14447.	7084.
30.00	10273.	4840.	318.	14795.	7259.
30.50	10555.	4910.	323.	15142.	7434.
31.00	10838.	4981.	329.	15490.	7609.
31.50	11121.	5051.	334.	15838.	7784.
32.00	11404.	5121.	339.	16185.	7959.
32.50	11686.	5191.	345.	16533.	8134.
33.00	11969.	5262.	350.	16881.	8309.
33.50	12252.	5332.	355.	17228.	8484.
34.00	12535.	5402.	360.	17576.	8659.
34.50	12817.	5472.	366.	17924.	8834.
35.00	13100.	5543.	371.	18272.	9009.
35.50	13383.	5613.	376.	18619.	9184.
36.00	13665.	5683.	382.	18967.	9359.
36.50	13948.	5753.	387.	19315.	9534.
37.00	14231.	5824.	392.	19662.	9709.
37.50	14514.	5894.	398.	20010.	9884.
38.00	14796.	5964.	403.	20358.	10059.

-----

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



**Figura 8 – Capacità portante palo**

## 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. [DC3]) a cui si rimanda.

In particolare per la valutazione del modulo di reazione orizzontale palo-terreno, si considera nei depositi coesivi  $\xi=350$ , con andamento della resistenza al taglio ( $c_u$ ) con la profondità indicato in Tabella 2. 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.

Quindi si ottiene il seguente profilo del modulo di reazione orizzontale palo-terreno, definito da testa palo (a 4.0 m da p.c.):

Prof. m	E kN/m <sup>2</sup>
.000	19600.00
13.000	33600.00
13.010	46900.00
28.000	61600.00
38.000	79800.00

## 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;

$\alpha_m$  = 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. [DC3]) a cui si rimanda.

Nella seguente tabella si riportano i valori del parametro alfa ( $\alpha_m$ ) ed a seguire l'andamento del momento adimensionale lungo il palo. La valutazione è stata eseguita per diverse lunghezze palo, comunque il valore del parametro alfa praticamente non cambia.

Tabella 4 – VI02 – Valori di  $\alpha_m$

VI05	$\alpha_m$ [m] L = 25 m	$\alpha_m$ [m] L = 35 m
Spalle D=1500mm	3.104	3.104

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 – VI02 – Momento adimensionale lungo il palo spalle D=1500 mm L=25 m**

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI02 D=1500  
Momento adimensionale lungo il fusto del palo  
con sommita' impedita di ruotare

z m	Mad -
.000	1.0000
.781	.7626
1.562	.5541
2.344	.3741
3.125	.2220
3.906	.0964
4.688	-.0048
5.469	-.0834
6.250	-.1420
7.500	-.2001
8.750	-.2235
10.000	-.2216
11.250	-.2030
12.500	-.1745
14.583	-.1184
16.667	-.0671
18.750	-.0303
21.875	-.0040
25.000	.0000

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

**Tabella 6 – VI02 – Momento adimensionale lungo il palo spalle D=1500 mm L=35 m**

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI02 D=1500  
Momento adimensionale lungo il fusto del palo  
con sommita' impedita di ruotare

z m	Mad -
.000	1.0000
1.094	.6755
2.188	.4074
3.281	.1944
4.375	.0325
5.469	-.0837
6.563	-.1607
7.656	-.2053
8.750	-.2243
10.500	-.2164
12.250	-.1811
14.000	-.1345
15.750	-.0878
17.500	-.0490
20.417	-.0081
23.333	.0076
26.250	.0092
30.625	.0033
35.000	.0000

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

#### 4.4 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. [DC3]) a cui si rimanda.

Il valore determinato con la teoria di Broms ( $H_k$ ) dovrà essere ridotto secondo quanto prevede la normativa vigente.

$$H_d = H_k / (\xi_3 \cdot \gamma_T) > V_{pd}$$

dove:

$H_k$  = valore limite in funzione del meccanismo attivato valutato con teoria di Broms;

$\xi_3$  = fattore di correlazione in funzione delle verticali indagate;

$\gamma_T$  = fattore parziale per pali soggetti a carichi orizzontali.

$V_{pd}$  = massima sollecitazione orizzontale di progetto.

In particolare il fattore di sicurezza di normativa per la verifica a carico orizzontale è  $FS = \gamma_T \cdot \xi_3 = 1.30 \cdot 1.65 = 2.15$ . Inoltre per le verifiche a carico limite orizzontale si considera cautelativamente un coefficiente di gruppo 0.8.

Quindi  $FS_{\text{gruppo}} = \gamma_T \cdot \xi_3 / 0.8 = 2.68$ , da cui deve risultare:

$$V_{pd} < H_k / FS_{\text{gruppo}}$$

Per la spalla 1, il valore caratteristico della resistenza ( $H_k$ ) è stato valutato con riferimento ad un momento di plasticizzazione  $M_y$  pari a 3665.74 kNm, considerando il diametro del palo  $D = 1500$  mm, l'armatura di  $30\phi 26$ .

Per la spalla 2, il valore caratteristico della resistenza ( $H_k$ ) è stato valutato con riferimento ad un momento di plasticizzazione  $M_y$  pari a 7980.62 kNm, considerando il diametro del palo  $D = 1500$  mm, l'armatura di  $36+36\phi 26$ .

La verifica è stata svolta considerando il valore della resistenza al taglio non drenata media nei primi 10 m di palo; la verifica è svolta in condizioni non drenate in quanto si tratta di terreni prevalentemente coesivi e la massima sollecitazione di taglio generalmente si ha in condizioni sismiche.

Nella seguente tabella sono esplicitati i valori di riferimento per l'analisi, da cui si evince che la verifica è soddisfatta quando la resistenza laterale di progetto è maggiore della sollecitazione orizzontale massima di progetto ( $H_d > V_{pd}$ ). Le verifiche di capacità portante dei pali sono riportate nella relazione di calcolo dell'opera.







Fondazione	Armatura palo	Lpalo [m]	D [mm]	Cu [kPa]	Hk [kN]	Hd [kN]
Spalla 1	30 $\phi$ 26	26.0	1500	95	2323.22	866.9
Spalla 2	36+36 $\phi$ 26	32.0	1500	95	4133.45	1542.3

#### 4.5 Analisi palificata spalla e stima deformazioni

Per la fondazione della spalla del viadotto in oggetto è stata svolta una analisi della palificata considerando i pali collegati (incastri) in testa ad un plinto di fondazione assimilabile ad un corpo infinitamente rigido. I valori massimi delle sollecitazioni agenti su ciascun palo e gli spostamenti della fondazione conseguenti ai carichi applicati sono stati determinati con l'ausilio del codice di calcolo MAP Matrix Analysis of Piles - (G. Guiducci - 1999).

Questa analisi è stata svolta considerando solo le combinazioni di carico sismiche, in quanto è finalizzata alla stima delle deformazioni massime in fondazione per la scelta dell'uso del coefficiente di spinta ( $k_0$ , a riposo) o  $k_a$  (attiva) in condizioni sismiche per l'analisi delle palificate delle spalle. Infatti, in accordo alle linee guida Italferr relative alla valutazione della spinta del terreno sui muri di sostegno e sulle spalle di ponti fondati su pali, per il calcolo della spinta del terreno sulle opere di sostegno, occorre tenere presente che la mobilitazione della spinta attiva avviene per spostamenti di entità contenuta, come si evince dalla tabella desunta dall'EC7 - Parte 1 - Annesso C (C.3 "Movements to mobilise limit earth pressures), di seguito riportata.

Table C.1 — Ratios  $v_a/h$

Kind of wall movement	$v_a/h$ loose soil %	$v_a/h$ dense soil %
a) 	0,4 to 0,5	0,1 to 0,2
b) 	0,2	0,05 to 0,1
c) 	0,8 to 1,0	0,2 to 0,5
d) 	0,4 to 0,5	0,1 to 0,2

where:  
 $v_a$  is the wall motion to mobilise active earth pressure  
 $h$  is the height of the wall

Nella seguente tabella si riassumono i carichi agenti nel baricentro fondazione a quota intradosso plinto.

CARICHI ESTERNI AGENTI A INTRADOSSO FONDAZIONE						
		Nz,A [kN]	Tx,A [kN]	Ty,A [kN]	Mxx [kNm]	Myy [kNm]
SLV	SLV - N max	32771	6500	1901	11686	24083
	SLV - ML max gr.1	30712	12346	1901	11683	57468
	SLV - MT max gr.1	30712	6500	6164	37330	23164
	SLV - MT max gr.1	30712	6500	6164	37330	23164
	SLV - ML max gr.1	30712	12346	1901	11683	57468

Dove:  
 Nz = sollecitazione assiale verticale  
 Tx = taglio longitudinale (X= longitudinale)  
 Ty = taglio trasversale (Y= trasversale)  
 Mxx = momento trasversale (che ruota attorno asse X=longitudinale)  
 Myy = momento longitudinale (che ruota attorno asse Y= trasversale)

La geometria della palificata è:

- 9 pali D=1500mm interasse = 4.5m
- Plinto: 11.5x11.5 m
- Altezza complessiva da testa palo: plinto+muro+paraghiaia= 2+6+3.55= 11.55 m.

Nella seguente tabella sono sintetizzati i risultati dell'analisi con le deformazioni massime a quota testa palo; in Appendice C sono mostrati i tabulati di calcolo completi con esplicitati tutti i parametri di input (geometria palificata, carichi, rigidità assiale dei pali, modulo di reazione orizzontale palo-terreno).

Lo spostamento orizzontale massimo è: 10.118 mm

Da cui:

$$V_s / h = 0.09 \%$$

La scelta dell'uso del coefficiente di spinta ( $k_0$ , a riposo) o  $k_a$  (attiva) in condizioni sismiche per l'analisi delle palificate delle spalle è nella relazione di calcolo strutturale delle spalle, a cui si rimanda.

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	28 di 46

	dz mm	dx mm	rx mRad	dy mm	ry mRad	c.d.c.
D.1	2.427	5.232	.224	1.602	.089	1
D.2	2.275	10.118	.485	1.601	.089	2
D.3	2.275	10.118	.485	1.601	.089	2
D.4	2.275	5.218	.219	5.184	.287	3
D.5	2.275	5.218	.219	5.184	.287	3

D.1: cond. di carico con dz massimo  
VI02 - SLV - N max \_

D.2: cond. di carico con dx massimo  
VI02 - SLV - ML max gr.1 \_

D.3: cond. di carico con rx massimo  
VI02 - SLV - ML max gr.1 \_

D.4: cond. di carico con dy massimo  
VI02 - SLV - MT max gr.1 \_

D.5: cond. di carico con ry massimo  
VI02 - SLV - MT max gr.1 \_



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

PROGETTO DEFINITIVO

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	29 di 46

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

### 5.1 Compressione. Pali Spalle D=1500 mm

\*\*\* P A L \*\*\*  
Programma per l'analisi della capacita' portante  
assiale di un palo di fondazione

(C) G.Guiducci - Studio SINTESI (RN - Italy)  
ottobre 2006

pag./ 2

LINEA FS PALERMO-CATANIA lotto 5a VI02  
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

Quota testa palo da p.c. = 2.00 m  
Quota falda da p.c. = .00 m  
Peso di volume del palo = 6.00 kN/m<sup>3</sup>  
Fattore di sicurezza portata laterale = 1.90 (FS,l)  
Fattore di sicurezza portata di base = 2.23 (FS,b)

Elemento cilindrico, Diametro fusto = 1500. mm

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

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

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

La variazione di  $Q_b$  viene assunta lineare dal passaggio di strato



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

PROGETTO DEFINITIVO

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	30 di 46

pag. / 3

LINEA FS PALERMO-CATANIA lotto 5a VI02  
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 1 "ba " (Coesivo) da .00 a 15.00 m

Gn = 19.0 kN/m3 Ge = 9.0 kN/m3

Tau = alfa \* Cu < 100.0 kPa  
Criterio alfa(Cu) nel seguito

Tau > .23 \* S'v

Tau < .55 \* S'v

Qb = 9.0 \* Cu + Sv < 3800. kPa

Cu variabile lin. da 70.0 a 120.0 kPa

Strato 2 "TRVb " (Coesivo) da 15.00 a 30.00 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 = 9.0 \* Cu + Sv < 3800. kPa

Cu variabile lin. da 167.5 a 220.0 kPa

Strato 3 "TRVb " (Coesivo) da 30.00 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 = 9.0 \* Cu + Sv < 3800. kPa

Cu variabile lin. da 220.0 a 285.0 kPa



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

PROGETTO DEFINITIVO

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	31 di 46

pag. / 4

LINEA FS PALERMO-CATANIA lotto 5a VI02  
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "ba "	1.00	1.00	1.00
2 "TRVb "	1.00	1.00	1.00
3 "TRVb "	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



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)  
 PROGETTO DEFINITIVO

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	32 di 46

pag. / 5

LINEA FS PALERMO-CATANIA lotto 5a VI02  
 Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
2.00	18.0	38.0	76.7	.55	9.9	728.
2.50	22.5	47.5	78.3	.55	12.4	753.
3.00	27.0	57.0	80.0	.55	14.9	777.
3.50	31.5	66.5	81.7	.55	17.3	802.
4.00	36.0	76.0	83.3	.55	19.8	826.
4.50	40.5	85.5	85.0	.55	22.3	851.
5.00	45.0	95.0	86.7	.55	24.8	875.
5.50	49.5	104.5	88.3	.55	27.2	900.
6.00	54.0	114.0	90.0	.55	29.7	924.
6.50	58.5	123.5	91.7	.55	32.2	949.
7.00	63.0	133.0	93.3	.55	34.7	973.
7.50	67.5	142.5	95.0	.55	37.1	998.
8.00	72.0	152.0	96.7	.54	38.7	1022.
8.50	76.5	161.5	98.3	.51	39.3	1047.
9.00	81.0	171.0	100.0	.49	40.0	1071.
9.50	85.5	180.5	101.7	.48	40.7	1096.
10.00	90.0	190.0	103.3	.46	41.3	1120.
10.50	94.5	199.5	105.0	.44	42.0	1145.
11.00	99.0	209.0	106.7	.43	42.7	1169.
11.50	103.5	218.5	108.3	.42	43.3	1194.
12.00	108.0	228.0	110.0	.41	44.0	1218.
12.50	112.5	237.5	111.7	.40	44.7	1243.
13.00	117.0	247.0	113.3	.39	45.3	1267.
13.50	121.5	256.5	115.0	.38	46.0	1292.
14.00	126.0	266.0	116.7	.37	46.7	1316.
14.50	130.5	275.5	118.3	.36	47.3	1341.
15.00	135.0	285.0	120.0	.48	64.3	1365.
15.50	140.5	295.5	169.3	.58	81.8	1439.
16.00	146.0	306.0	171.0	.57	83.0	1513.
16.50	151.5	316.5	172.8	.56	84.3	1586.



STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
17.00	157.0	327.0	174.5	.54	85.5	1660.
17.50	162.5	337.5	176.3	.53	86.8	1734.
18.00	168.0	348.0	178.0	.52	88.0	1808.
18.50	173.5	358.5	179.8	.51	89.3	1881.
19.00	179.0	369.0	181.5	.51	90.5	1955.
19.50	184.5	379.5	183.3	.50	91.8	2029.
20.00	190.0	390.0	185.0	.49	93.0	2055.
20.50	195.5	400.5	186.8	.48	94.3	2081.
21.00	201.0	411.0	188.5	.48	95.5	2108.
21.50	206.5	421.5	190.3	.47	96.8	2134.
22.00	212.0	432.0	192.0	.46	98.0	2160.
22.50	217.5	442.5	193.8	.46	99.3	2186.
23.00	223.0	453.0	195.5	.45	100.5	2213.
23.50	228.5	463.5	197.3	.45	101.8	2239.
24.00	234.0	474.0	199.0	.44	103.0	2265.
24.50	239.5	484.5	200.8	.44	104.3	2291.
25.00	245.0	495.0	202.5	.43	105.5	2318.
25.50	250.5	505.5	204.3	.43	106.8	2344.
26.00	256.0	516.0	206.0	.42	108.0	2370.
26.50	261.5	526.5	207.8	.42	109.3	2396.
27.00	267.0	537.0	209.5	.41	110.5	2423.
27.50	272.5	547.5	211.3	.41	111.8	2449.
28.00	278.0	558.0	213.0	.41	113.0	2475.
28.50	283.5	568.5	214.8	.40	114.3	2501.
29.00	289.0	579.0	216.5	.40	115.5	2528.
29.50	294.5	589.5	218.3	.40	116.8	2554.
30.00	300.0	600.0	220.0	.39	118.0	2580.
30.50	305.5	610.5	223.3	.39	119.8	2620.
31.00	311.0	621.0	226.5	.39	120.0	2660.
31.50	316.5	631.5	229.8	.38	120.0	2699.
32.00	322.0	642.0	233.0	.37	120.0	2739.
32.50	327.5	652.5	236.3	.37	120.0	2779.
33.00	333.0	663.0	239.5	.36	120.0	2819.
33.50	338.5	673.5	242.8	.35	120.0	2858.
34.00	344.0	684.0	246.0	.35	120.0	2898.
34.50	349.5	694.5	249.3	.34	120.0	2938.
35.00	355.0	705.0	252.5	.34	120.0	2978.
35.50	360.5	715.5	255.8	.33	120.0	3017.
36.00	366.0	726.0	259.0	.33	120.0	3057.
36.50	371.5	736.5	262.3	.32	120.0	3097.
37.00	377.0	747.0	265.5	.32	120.0	3137.
37.50	382.5	757.5	268.8	.31	120.0	3176.
38.00	388.0	768.0	272.0	.31	120.0	3216.
38.50	393.5	778.5	275.3	.30	120.0	3256.
39.00	399.0	789.0	278.5	.30	120.0	3296.
39.50	404.5	799.5	281.8	.30	120.0	3335.
40.00	410.0	810.0	285.0	.29	120.0	3375.

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 PALERMO-CATANIA lotto 5a VI02  
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	1286.	0.	1286.	577.
.50	26.	1330.	5.	1351.	605.
1.00	58.	1373.	11.	1421.	636.
1.50	96.	1416.	16.	1497.	670.
2.00	140.	1460.	21.	1578.	707.
2.50	190.	1503.	27.	1666.	747.
3.00	245.	1546.	32.	1759.	790.
3.50	306.	1590.	37.	1859.	837.
4.00	373.	1633.	42.	1964.	886.
4.50	446.	1676.	48.	2075.	939.
5.00	525.	1719.	53.	2191.	994.
5.50	609.	1763.	58.	2314.	1053.
6.00	699.	1806.	64.	2442.	1114.
6.50	791.	1849.	69.	2571.	1177.
7.00	885.	1893.	74.	2703.	1240.
7.50	980.	1936.	80.	2836.	1304.
8.00	1076.	1979.	85.	2971.	1369.
8.50	1174.	2022.	90.	3107.	1435.
9.00	1274.	2066.	95.	3244.	1502.
9.50	1375.	2109.	101.	3384.	1569.
10.00	1478.	2152.	106.	3525.	1637.
10.50	1583.	2196.	111.	3667.	1706.
11.00	1689.	2239.	117.	3811.	1776.
11.50	1796.	2282.	122.	3957.	1847.
12.00	1906.	2326.	127.	4104.	1919.
12.50	2016.	2369.	133.	4253.	1991.
13.00	2138.	2412.	138.	4413.	2069.
13.50	2320.	2542.	143.	4719.	2218.
14.00	2514.	2673.	148.	5038.	2373.
14.50	2711.	2803.	154.	5360.	2530.

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	35 di 46

LINEA FS PALERMO-CATANIA lotto 5a VI02  
Capacita' portante palo D=1500 mm-SLU A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qbl kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
15.00	2911.	2933.	159.	5685.	2688.
15.50	3114.	3064.	164.	6013.	2848.
16.00	3320.	3194.	170.	6344.	3010.
16.50	3529.	3324.	175.	6678.	3173.
17.00	3740.	3455.	180.	7015.	3338.
17.50	3955.	3585.	186.	7355.	3504.
18.00	4173.	3631.	191.	7613.	3634.
18.50	4393.	3678.	196.	7875.	3765.
19.00	4617.	3724.	201.	8140.	3898.
19.50	4843.	3771.	207.	8407.	4033.
20.00	5073.	3817.	212.	8678.	4169.
20.50	5305.	3863.	217.	8951.	4307.
21.00	5540.	3910.	223.	9228.	4447.
21.50	5779.	3956.	228.	9507.	4588.
22.00	6020.	4003.	233.	9789.	4730.
22.50	6264.	4049.	239.	10074.	4874.
23.00	6511.	4095.	244.	10363.	5020.
23.50	6761.	4142.	249.	10654.	5167.
24.00	7014.	4188.	254.	10948.	5315.
24.50	7270.	4235.	260.	11245.	5466.
25.00	7529.	4281.	265.	11545.	5617.
25.50	7791.	4327.	270.	11848.	5771.
26.00	8056.	4374.	276.	12154.	5925.
26.50	8323.	4420.	281.	12462.	6082.
27.00	8594.	4466.	286.	12774.	6240.
27.50	8868.	4513.	292.	13089.	6399.
28.00	9144.	4559.	297.	13407.	6560.
28.50	9424.	4629.	302.	13752.	6734.
29.00	9707.	4700.	307.	14099.	6909.
29.50	9990.	4770.	313.	14447.	7084.
30.00	10273.	4840.	318.	14795.	7259.
30.50	10555.	4910.	323.	15142.	7434.
31.00	10838.	4981.	329.	15490.	7609.
31.50	11121.	5051.	334.	15838.	7784.
32.00	11404.	5121.	339.	16185.	7959.
32.50	11686.	5191.	345.	16533.	8134.
33.00	11969.	5262.	350.	16881.	8309.
33.50	12252.	5332.	355.	17228.	8484.
34.00	12535.	5402.	360.	17576.	8659.
34.50	12817.	5472.	366.	17924.	8834.
35.00	13100.	5543.	371.	18272.	9009.
35.50	13383.	5613.	376.	18619.	9184.
36.00	13665.	5683.	382.	18967.	9359.
36.50	13948.	5753.	387.	19315.	9534.
37.00	14231.	5824.	392.	19662.	9709.
37.50	14514.	5894.	398.	20010.	9884.
38.00	14796.	5964.	403.	20358.	10059.

Lp = Lunghezza utile del palo  
 Q11 = Portata laterale limite  
 Qbl = Portata di base limite  
 Wp = Peso efficace del palo  
 Qu = Portata totale limite  
 Qd = Portata di progetto =  $Q11/FS,1 + Qbl/FS,b - Wp$



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

PROGETTO DEFINITIVO

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	36 di 46

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

### 6.1 Pali D=1500 mm L = 25m

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI02 D=1500

Lunghezza palo	Lp	=	25.00 m
Diametro palo	D	=	1.50 m
Modulo elastico palo	Ep	=	30000.00 MPa
Rigidezza flessionale	EJ	=	7455148.00 kN*m <sup>2</sup>

Definizione per punti del modulo di reazione del terreno E

Prof. m	E kN/m <sup>2</sup>
.000	19600.00
13.000	33600.00
13.010	46900.00
28.000	61600.00
38.000	79800.00

Per il primo segmento:

Modulo iniziale	Eo	=	19600.000 kN/m <sup>2</sup>
Gradiente del modulo	Kh	=	1076.923 kN/m <sup>3</sup>

Lunghezza elastica	$T = (EJ/Kh)^{0.20}$	=	5.862 m
R	$R = Eo/(Kh*T)$	=	3.105
Zmax	$Zmax = Lp/T$	=	4.265

Coefficienti adimensionali di flessibilita' della sommita' del palo:

Ay =	.5578
As = By =	.5438
Bs =	1.0270

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:

$Mo = - (T As/Bs) * Fo = - \text{alfa} * Fo$	$\text{alfa} = 3.1039 \text{ m}$
--	----------------------------------

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

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



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

PROGETTO DEFINITIVO

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	37 di 46

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI02 D=1500

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

z m	Mad -
.000	1.0000
.781	.7626
1.562	.5541
2.344	.3741
3.125	.2220
3.906	.0964
4.688	-.0048
5.469	-.0834
6.250	-.1420
7.500	-.2001
8.750	-.2235
10.000	-.2216
11.250	-.2030
12.500	-.1745
14.583	-.1184
16.667	-.0671
18.750	-.0303
21.875	-.0040
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
.133	.7779	.1181	-.2038	.9856
.267	.5805	.2082	-.3603	.9472
.400	.4045	.2735	-.4794	.8907
.533	.2549	.3171	-.5599	.8208
.666	.1266	.3420	-.6098	.7424
.800	.0217	.3516	-.6323	.6592
.933	-.0627	.3484	-.6322	.5746
1.066	-.1324	.3353	-.6117	.4913
1.279	-.1969	.2996	-.5569	.3658
1.493	-.2298	.2533	-.4792	.2549
1.706	-.2358	.2031	-.3929	.1619
1.919	-.2233	.1537	-.3075	.0873
2.132	-.1971	.1084	-.2237	.0303
2.488	-.1353	.0479	-.0991	-.0279
2.843	-.0715	.0117	-.0094	-.0450
3.199	-.0219	-.0044	.0366	-.0387
3.732	.0095	-.0054	.0423	-.0142
4.265	.0000	.0000	.0000	.0000



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

PROGETTO DEFINITIVO

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	38 di 46

## 6.2 Pali D=1500 mm L = 35m

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI02 D=1500

Lunghezza palo	Lp	=	35.00 m
Diametro palo	D	=	1.50 m
Modulo elastico palo	Ep	=	30000.00 MPa
Rigidizza flessionale	EJ	=	7455148.00 kN*m2

Definizione per punti del modulo di reazione del terreno E

Prof. m	E kN/m2
.000	19600.00
13.000	33600.00
13.010	46900.00
28.000	61600.00
38.000	79800.00

Per il primo segmento:

Modulo iniziale	Eo	=	19600.000 kN/m2
Gradiente del modulo	Kh	=	1076.923 kN/m3

Lunghezza elastica	$T = (EJ/Kh)^{0.20}$	=	5.862 m
R	$R = Eo/(Kh*T)$	=	3.105
Zmax	$Zmax = Lp/T$	=	5.971

Coefficienti adimensionali di flessibilita' della sommita' del palo:

Ay	=	.5575
As = By	=	.5430
Bs	=	1.0256

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

Per sommita' palo impedita di ruotare:

$Mo = - (T As/Bs) * Fo = - \alpha * Fo$        $\alpha = 3.1036 m$

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 (LOTTO 5)

PROGETTO DEFINITIVO

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	39 di 46

Coeff. di Matlock e Reese-palo VI02 D=1500

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

z m	Mad -
.000	1.0000
1.094	.6755
2.188	.4074
3.281	.1944
4.375	.0325
5.469	-.0837
6.563	-.1607
7.656	-.2053
8.750	-.2243
10.500	-.2164
12.250	-.1811
14.000	-.1345
15.750	-.0878
17.500	-.0490
20.417	-.0081
23.333	.0076
26.250	.0092
30.625	.0033
35.000	.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
.187	.6976	.1574	-.2700	.9727
.373	.4398	.2624	-.4568	.9031
.560	.2278	.3236	-.5713	.8056
.746	.0615	.3496	-.6252	.6927
.933	-.0626	.3485	-.6314	.5745
1.119	-.1487	.3280	-.6020	.4587
1.306	-.2025	.2945	-.5484	.3510
1.493	-.2310	.2537	-.4749	.2548
1.791	-.2339	.1829	-.3612	.1291
2.090	-.2075	.1163	-.2498	.0385
2.388	-.1567	.0611	-.1349	-.0191
2.687	-.1023	.0227	-.0478	-.0449
2.985	-.0537	-.0007	.0078	-.0502
3.483	-.0091	-.0150	.0372	-.0364
3.980	.0095	-.0134	.0326	-.0177
4.478	.0112	-.0076	.0168	-.0051
5.224	.0047	-.0013	.0015	.0009
5.971	.0000	.0000	.0000	.0000



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

PROGETTO DEFINITIVO

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	40 di 46

## 7. APPENDICE C: ANALISI PALIFICATA SPALLA. TABULATI DI CALCOLO MAP

### 7.1 Spalla – Analisi SLV

M A P - Matrix Analysis of Piles  
Programma per l'analisi di palificate collegate da un plinto rigido

(C) G.Guiducci, S.G.I. - luglio 1994

pag./ 2

LINEA PALERMO-CATANIA LOTTO 5 VI02  
SPalle

Geometria Palificata

palo	vin	X m	Y m	Z m	axz deg	ayz deg	axy deg	Box m	Boy m
1	0	4.500	4.500	.000	.00	.00	.00	1.50	.00
2	0	4.500	.000	.000	.00	.00	.00	1.50	.00
3	0	4.500	-4.500	.000	.00	.00	.00	1.50	.00
4	0	.000	4.500	.000	.00	.00	.00	1.50	.00
5	0	.000	.000	.000	.00	.00	.00	1.50	.00
6	0	.000	-4.500	.000	.00	.00	.00	1.50	.00
7	0	-4.500	4.500	.000	.00	.00	.00	1.50	.00
8	0	-4.500	.000	.000	.00	.00	.00	1.50	.00
9	0	-4.500	-4.500	.000	.00	.00	.00	1.50	.00

vin = 0 - incastro; 1 - cerniera; 2 - appoggio  
X, Y, Z = Coordinate testa pali  
axz = Inclinazione palo nel piano Xp Z rispetto alla verticale  
(positiva se verso Xp positivo)  
ayz = Inclinazione palo nel piano Yp Z rispetto alla verticale  
(positiva se verso Yp positivo)  
axy = Rotazione assi Xp Yp (positiva se antioraria)  
Box = Lato dell'elemento parallelo all'asse Xp  
Boy = Lato dell'elemento parallelo all'asse Yp  
se Boy = 0 D = Box: diametro  
altrimenti D =  $\sqrt{\text{Box} * \text{Boy} * 1.273}$ : diametro equivalente





NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

PROGETTO DEFINITIVO

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	41 di 46

pag. / 3

Caratterizzazione dei pali soggetti a carichi assiali e torsionali  
(uguali per tutti i pali)

palo	AK kN/m	TK kN*m/rad
1	1500000.	.0

AK = Rigidezza assiale palo-terreno  
TK = Rigidezza torsionale palo-terreno

Baricentro palificata: Xg = .000 m Yg = .000 m  
Rotazione direzioni princip. di inerzia: .00 deg

Caratterizzazione del terreno per pali soggetti a carichi trasversali

Terreno tipo 1

Prof. m	E kN/m <sup>2</sup>
.00	26250.0
8.00	26250.0
8.10	87500.0
40.00	87500.0

Caratterizzazione dei pali soggetti a carichi trasversali  
(uguali per tutti i pali)

palo	Lp m	EJx kN*m <sup>2</sup>	Itx	Ridx	EJy kN*m <sup>2</sup>	Ity	Ridy
1	35.00	7455147.	1	1.000	7455147.	1	1.000

Lp = Lunghezza palo (compreso eventuale tratto fuori terra)  
EJ = Rigidezza flessionale del palo  
It = Tipo di terreno  
Rid = Moltiplicatore del modulo di reazione orizzontale

LINEA PALERMO-CATANIA LOTTO 5 VI02  
SPalle

CONDIZIONE DI CARICO 1  
VI02 - SLV - N max \_

Coordinate Centri di Carico (c.c.)

c.c.	Xc m	Yc m	Zc m	Alfc deg
1	.000	.000	.000	.00

Componenti di Azioni Esterne riferite ai Centri di Carico

c.c.	Fzc kN	Fxc kN	Mxc kN*m	Fyc kN	Myc kN*m	Mzc kN*m
1	32771.0	6500.0	24083.0	1901.0	11686.0	.0

Componenti di Carico Risultanti (riferimento globale)

Fz kN	Fx kN	Mx kN*m	Fy kN	My kN*m	Mz kN*m
32771.0	6500.0	24083.0	1901.0	11686.0	.0

Punto di applic. carico verticale: Xv = .735 m Yv = .357 m

Componenti di Spostamento del Plinto (riferimento globale)

dz mm	dx mm	rx mRad	dy mm	ry mRad	rz mRad
2.427	5.232	.224	1.602	.089	.000

Sollecitazioni in Sommita' ai Singoli Pali (riferimento locale)

palo	Fzp kN	Fxp kN	Mxp kN*m	Fyp kN	Myp kN*m	Mzp kN*m	Mris kN*m
1	5753.7	722.2	-1853.2	211.2	-509.9	.0	1922.1
2	5150.9	722.2	-1853.2	211.2	-509.9	.0	1922.1
3	4548.1	722.2	-1853.2	211.2	-509.9	.0	1922.1
4	4244.0	722.2	-1853.2	211.2	-509.9	.0	1922.1
5	3641.2	722.2	-1853.2	211.2	-509.9	.0	1922.1
6	3038.4	722.2	-1853.2	211.2	-509.9	.0	1922.1
7	2734.3	722.2	-1853.2	211.2	-509.9	.0	1922.1
8	2131.5	722.2	-1853.2	211.2	-509.9	.0	1922.1
9	1528.7	722.2	-1853.2	211.2	-509.9	.0	1922.1

$$M_{ris} = (M_{xp}^2 + M_{yp}^2)^{0.5}$$

LINEA PALERMO-CATANIA LOTTO 5 VI02  
SPalle

CONDIZIONE DI CARICO 2  
VI02 - SLV - ML max gr.1 \_

Coordinate Centri di Carico (c.c.)

c.c.	Xc m	Yc m	Zc m	Alfc deg
1	.000	.000	.000	.00

Componenti di Azioni Esterne riferite ai Centri di Carico

c.c.	Fzc kN	Fxc kN	Mxc kN*m	Fyc kN	Myc kN*m	Mzc kN*m
1	30712.0	12346.0	57468.0	1901.0	11683.0	.0

Componenti di Carico Risultanti (riferimento globale)

Fz kN	Fx kN	Mx kN*m	Fy kN	My kN*m	Mz kN*m
30712.0	12346.0	57468.0	1901.0	11683.0	.0

Punto di applic. carico verticale: Xv = 1.871 m Yv = .380 m

Componenti di Spostamento del Plinto (riferimento globale)

dz mm	dx mm	rx mRad	dy mm	ry mRad	rz mRad
2.275	10.118	.485	1.601	.089	.000

Sollecitazioni in Sommita' ai Singoli Pali (riferimento locale)

palo	Fzp kN	Fxp kN	Mxp kN*m	Fyp kN	Myp kN*m	Mzp kN*m	Mris kN*m
1	7289.9	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
2	6687.2	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
3	6084.5	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
4	4015.1	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
5	3412.4	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
6	2809.8	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
7	740.4	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
8	137.7	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
9	-465.0	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6

$$M_{ris} = (M_{xp}^2 + M_{yp}^2)^{0.5}$$

LINEA PALERMO-CATANIA LOTTO 5 VI02  
SPalle

CONDIZIONE DI CARICO 3  
VI02 - SLV - MT max gr.1 \_

Coordinate Centri di Carico (c.c.)

c.c.	Xc m	Yc m	Zc m	Alfc deg
1	.000	.000	.000	.00

Componenti di Azioni Esterne riferite ai Centri di Carico

c.c.	Fzc kN	Fxc kN	Mxc kN*m	Fyc kN	Myc kN*m	Mzc kN*m
1	30712.0	6500.0	23164.0	6164.0	37330.0	.0

Componenti di Carico Risultanti (riferimento globale)

Fz kN	Fx kN	Mx kN*m	Fy kN	My kN*m	Mz kN*m
30712.0	6500.0	23164.0	6164.0	37330.0	.0

Punto di applic. carico verticale: Xv = .754 m Yv = 1.215 m

Componenti di Spostamento del Plinto (riferimento globale)

dz mm	dx mm	rx mRad	dy mm	ry mRad	rz mRad
2.275	5.218	.219	5.184	.287	.000

Sollecitazioni in Sommita' ai Singoli Pali (riferimento locale)

palo	Fzp kN	Fxp kN	Mxp kN*m	Fyp kN	Myp kN*m	Mzp kN*m	Mris kN*m
1	6825.3	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
2	4890.2	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
3	2955.2	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
4	5347.5	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
5	3412.4	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
6	1477.4	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
7	3869.7	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
8	1934.7	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
9	-.4	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9

$$M_{ris} = (M_{xp}^2 + M_{yp}^2)^{0.5}$$

LINEA PALERMO-CATANIA LOTTO 5 VI02  
SPalle

CONDIZIONE DI CARICO 4  
VI02 - SLV - MT max gr.1 \_

Coordinate Centri di Carico (c.c.)

c.c.	Xc m	Yc m	Zc m	Alfc deg
1	.000	.000	.000	.00

Componenti di Azioni Esterne riferite ai Centri di Carico

c.c.	Fzc kN	Fxc kN	Mxc kN*m	Fyc kN	Myc kN*m	Mzc kN*m
1	30712.0	6500.0	23164.0	6164.0	37330.0	.0

Componenti di Carico Risultanti (riferimento globale)

Fz kN	Fx kN	Mx kN*m	Fy kN	My kN*m	Mz kN*m
30712.0	6500.0	23164.0	6164.0	37330.0	.0

Punto di applic. carico verticale: Xv = .754 m Yv = 1.215 m

Componenti di Spostamento del Plinto (riferimento globale)

dz mm	dx mm	rx mRad	dy mm	ry mRad	rz mRad
2.275	5.218	.219	5.184	.287	.000

Sollecitazioni in Sommita' ai Singoli Pali (riferimento locale)

palo	Fzp kN	Fxp kN	Mxp kN*m	Fyp kN	Myp kN*m	Mzp kN*m	Mris kN*m
1	6825.3	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
2	4890.2	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
3	2955.2	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
4	5347.5	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
5	3412.4	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
6	1477.4	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
7	3869.7	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
8	1934.7	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9
9	-.4	722.2	-1859.5	684.9	-1657.3	.0	2490.9

$$M_{ris} = (M_{xp}^2 + M_{yp}^2)^{0.5}$$

VI02 – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RB	VI0203 002	A	46 di 46

pag. / 8

LINEA PALERMO-CATANIA LOTTO 5 VI02  
SPalle

CONDIZIONE DI CARICO 5  
VI02 - SLV - ML max gr.1 \_

Coordinate Centri di Carico (c.c.)

c.c.	Xc m	Yc m	Zc m	Alfc deg
1	.000	.000	.000	.00

Componenti di Azioni Esterne riferite ai Centri di Carico

c.c.	Fzc kN	Fxc kN	Mxc kN*m	Fyc kN	Myc kN*m	Mzc kN*m
1	30712.0	12346.0	57468.0	1901.0	11683.0	.0

Componenti di Carico Risultanti (riferimento globale)

Fz kN	Fx kN	Mx kN*m	Fy kN	My kN*m	Mz kN*m
30712.0	12346.0	57468.0	1901.0	11683.0	.0

Punto di applic. carico verticale: Xv = 1.871 m Yv = .380 m

Componenti di Spostamento del Plinto (riferimento globale)

dz mm	dx mm	rx mRad	dy mm	ry mRad	rz mRad
2.275	10.118	.485	1.601	.089	.000

Sollecitazioni in Sommita' ai Singoli Pali (riferimento locale)

palo	Fzp kN	Fxp kN	Mxp kN*m	Fyp kN	Myp kN*m	Mzp kN*m	Mris kN*m
1	7289.9	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
2	6687.2	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
3	6084.5	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
4	4015.1	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
5	3412.4	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
6	2809.8	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
7	740.4	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
8	137.7	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6
9	-465.0	1371.8	-3439.0	211.2	-510.0	.0	3476.6

Mris = (Mxp<sup>2</sup> + Myp<sup>2</sup>)<sup>0.5</sup>