

**PNC - PNRR: Piano Nazionale Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza nei territori colpiti dal sisma 2009-2016, Sub-misura A4,"Investimenti sulla rete stradale statale"**

**Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento delle intersezioni - 1° Stralcio lungo la S.S. n. 210 "Fermana Faleriense" - Amandola - Servigliano"**

**PROGETTO DEFINITIVO**

<p>PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Eugenio Moroni Ordine Roma n° 10020</p>	<p>IMPRESA CONCORRENTE A.T.I.: Mandataria:  <b>MONACO</b> S.p.A. Costruzioni generali Mandante:  <b>IRCOP</b> Costruzioni Generali</p>
<p>IL GEOLOGO Dott.ssa Geol. Maria Bruno Ordine dei Geologi del Lazio al n° 668</p>	<p>RTP DI PROGETTAZIONE: Mandataria:  <b>S.T.E.</b> s.r.l. Structure and Transport Engineering Direttore Tecnico Ing. E. Moroni Ordine Ing. Roma N. 10020 Mandanti:  <b>E.D.IN.</b> s.r.l. Società di Ingegneria Direttore Tecnico Ing. G. Grimaldi Ordine Ing. Roma N. 17703A Dott. Geol. M. BRUNO Ordine Geologi Lazio N. 668</p>
<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Francesco M. La Camera Ordine Roma n° 7290</p>	

**OPERE D'ARTE MAGGIORI  
VIADOTTI E PONTI  
Viadotto VI01 - Castellano  
Relazione di calcolo - Fondazioni**

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T03_VI01_STR_RE03_A		
<b>A</b> <b>N</b> <b>2</b> <b>6</b> <b>6</b>	<b>D</b>	<b>2</b> <b>3</b>	CODICE ELAB. <b>T</b> <b>0</b> <b>3</b> <b>V</b> <b>I</b> <b>0</b> <b>1</b> <b>S</b> <b>T</b> <b>R</b> <b>R</b> <b>E</b> <b>0</b> <b>3</b>	<b>A</b>	-
<b>D</b>					
<b>C</b>					
<b>B</b>					
<b>A</b>	Prima Emissione		Dicembre 2023	CAPATA	GRIMALDI MORONI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

## INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	Descrizione dell'opera	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	8
3	Riferimenti bibliografici	9
4	Materiali	10
4.1	Calcestruzzo	10
4.1.1	Magrone sottofondazione	10
4.1.2	Pali di fondazione	10
4.2	Acciaio	10
4.2.1	Acciaio per armatura lenta	10
5	Caratterizzazione geotecnica	12
5.1	Stratigrafia	12
5.2	Sintesi dei parametri geotecnici di progetto	15
6	METODOLOGIE DI CALCOLO CAPACITA' PORTANTE DEI PALI	17
6.1	Analisi agli stati limite	17
6.2	Metodologia di calcolo capacità portante ai carichi verticali	20
6.3	Metodologia di verifica	24
6.4	Dominio di resistenza della palificata	25
7	METODOLOGIA PER LA DETERMINAZIONE DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI	30
7.1	Premessa	30
7.2	Analisi agli stati limite	30
7.3	Verifica a carico limite orizzontale - Broms	30
8	METODOLOGIA PER L'ANALISI DELLE PALIFICATE	33

8.1	Comportamento del palo soggetto ai carichi orizzontali - Modulo di reazione orizzontale del terreno	33
8.2	Valutazione del momento adimensionale lungo il palo	33
9	Calcolo della portanza verticale del singolo palo – Curve di portanza	35
9.1	Curve di portanza verticale spalla A Palo diametro 1.2 m (SLU/SLV/SLE)	36
9.2	Curve di portanza verticale pila 1-2 Palo diametro 1.2 m (SLU/SLV/SLE)	40
9.3	Curve di portanza verticale pila 3-4-5-6-7 Palo diametro 1.2 m (SLU/SLV/SLE)	44
9.4	Curve di portanza verticale pila 8 Palo diametro 1.2 m (SLU/SLV/SLE)	48
9.5	Curve di portanza verticale pila 9 Palo diametro 1.2 m (SLU/SLV/SLE)	52
9.6	Curve di portanza verticale pila 10 Palo diametro 1.2 m (SLU/SLV/SLE)	56
9.7	Curve di portanza verticale pila 11 Palo diametro 1.2 m (SLU/SLV/SLE)	60
9.8	Curve di portanza verticale spalla b Palo diametro 1.2 m (SLU/SLV/SLE)	64
10	CAPACITÀ PORTANTE DEL GRUPPO DI PALI PER CARICO VERTICALE ECCENTRICO – DOMINI DI RESISTENZA DELLA PALIFICATA	68
11	Calcolo della portanza trasversale del singolo palo	82
12	Riepilogo dei risultati e delle verifiche di portanza delle palificate	85

## 1 PREMESSA

La presente relazione riguarda il dimensionamento strutturale delle fondazioni del viadotto Castellano, denominato "VI01", previsto nell'ambito della progettazione definitiva dei lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento delle intersezioni - 1° Stralcio lungo la S.S. n. 210 "Fermana Faleriense" - Amandola - Servigliano".

### 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il viadotto è composto da n. 12 campate variabili da 35 a 50 m per una lunghezza totale di 555 m. La fondazione delle pile è composta da un plinto su n. 8 pali di dimensioni 13.2x6.0 m in pianta e altezza di 2 m. I pali presentano un diametro di 1200 mm e interasse nelle due direzioni di 3.6 m.

La fondazione delle pile da 1 a 9 è composta da un plinto su n. 6 pali di dimensioni 9.2 m x 6 m e altezza di 2.2 m. I pali presentano un diametro di 1200 mm e interasse nelle due direzioni di 3.6 m.

Per le pile 10 e 11 è prevista una geometria di fondazione a pozzo.

Di seguito si riporta la planimetria di progetto con le relative sezioni del viadotto d'interesse.

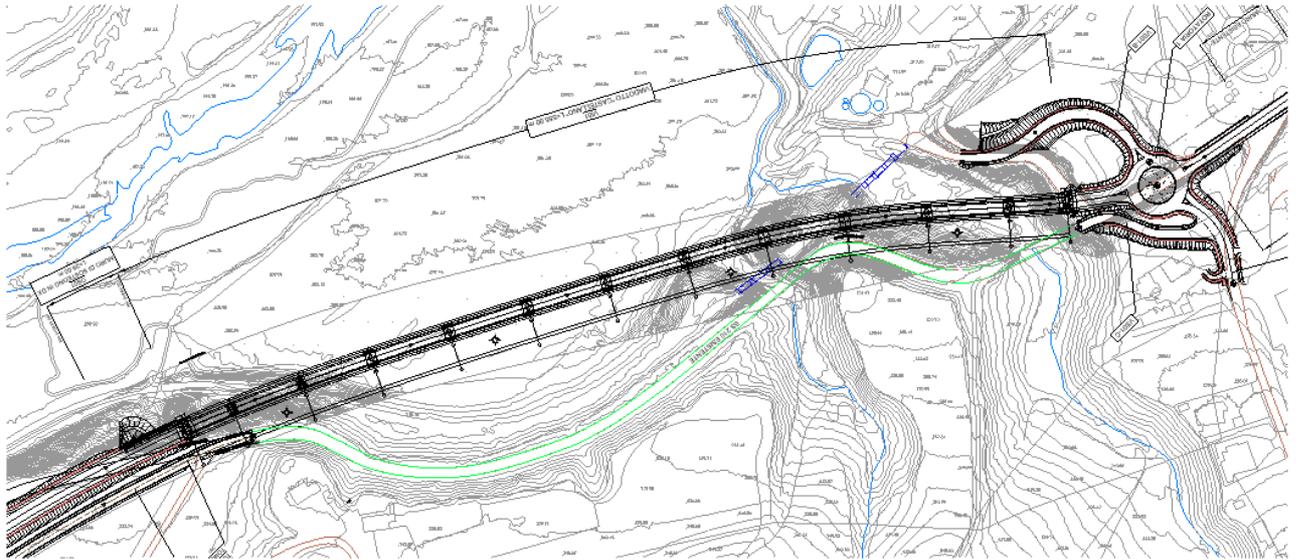


Figura 1 – planimetria di progetto viadotto Castellano

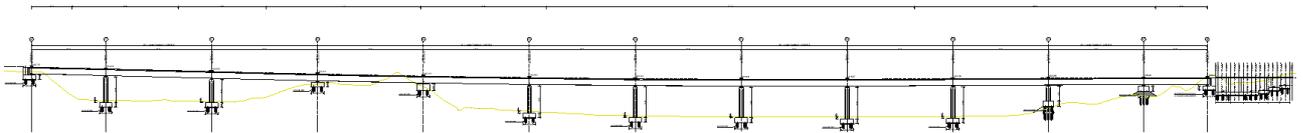


Figura 2 – sezione longitudinale di progetto viadotto Castellano

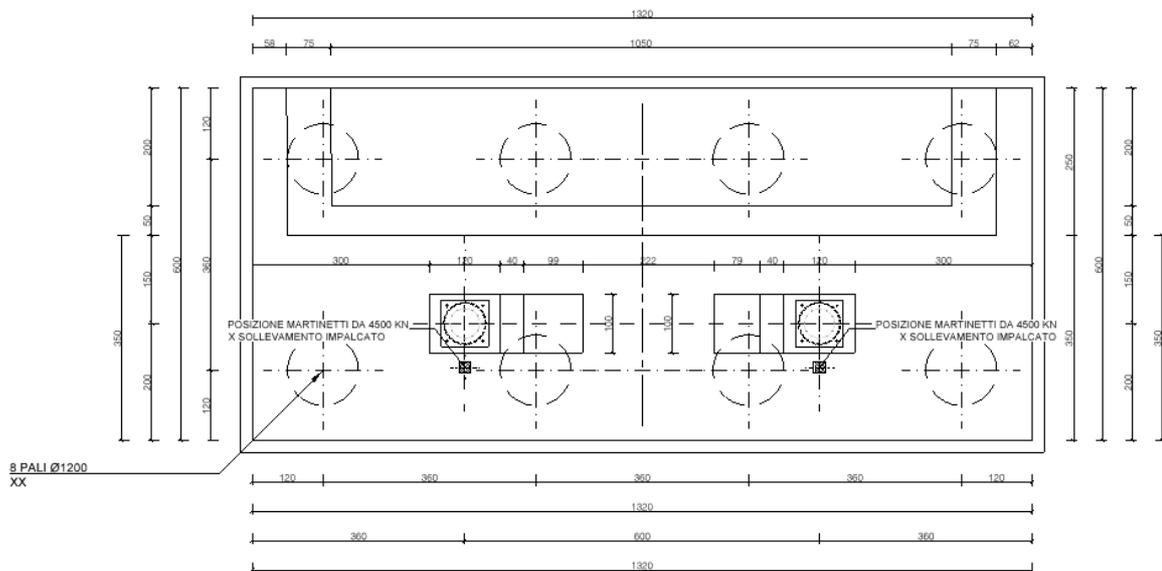


Figura 3 – pianta di progetto spalla tipo viadotto Castellano

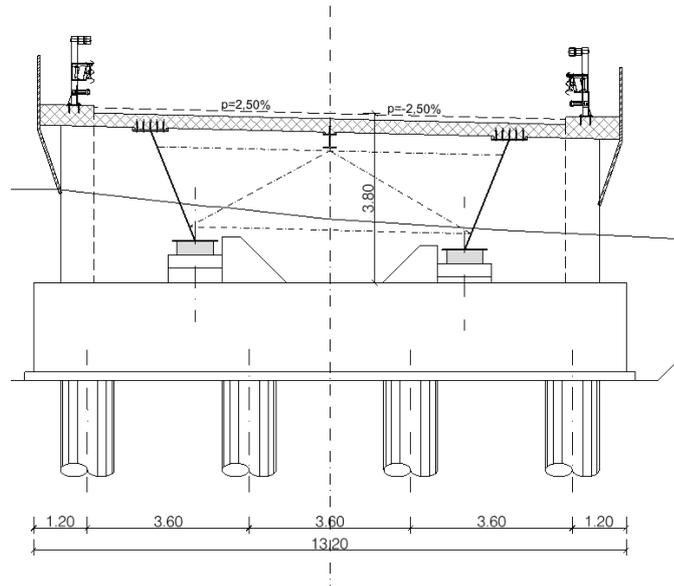


Figura 4 – sezione longitudinale di progetto spalla tipo viadotto Castellano

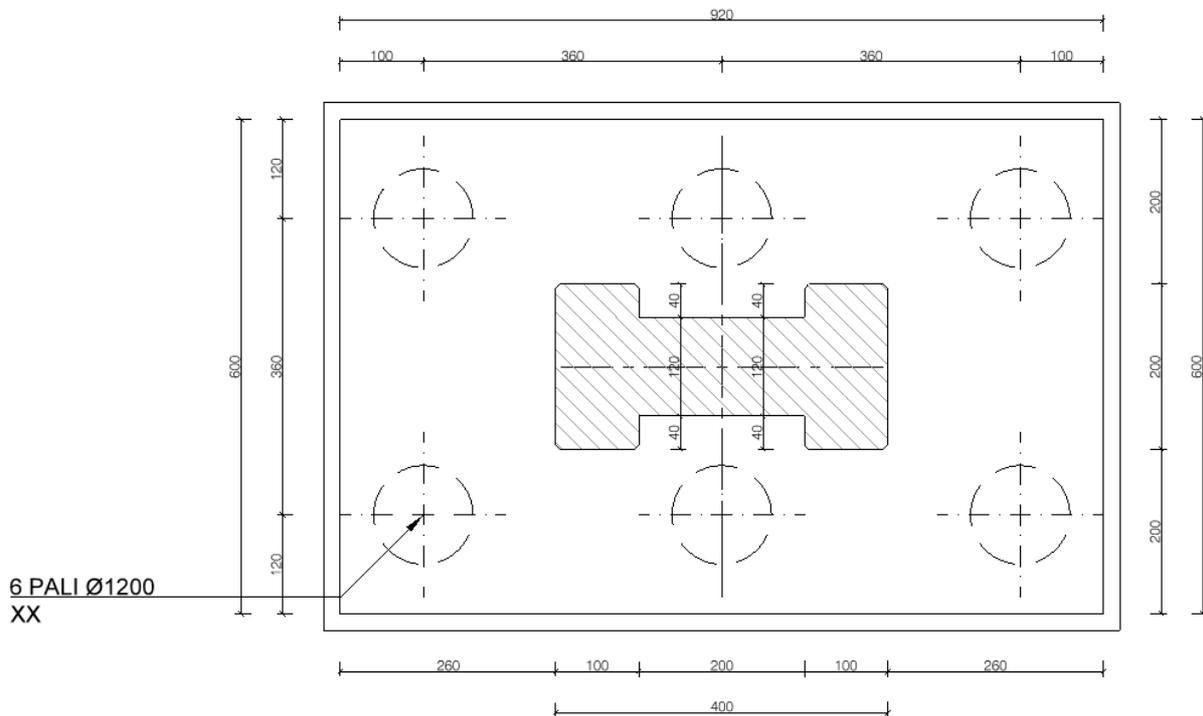
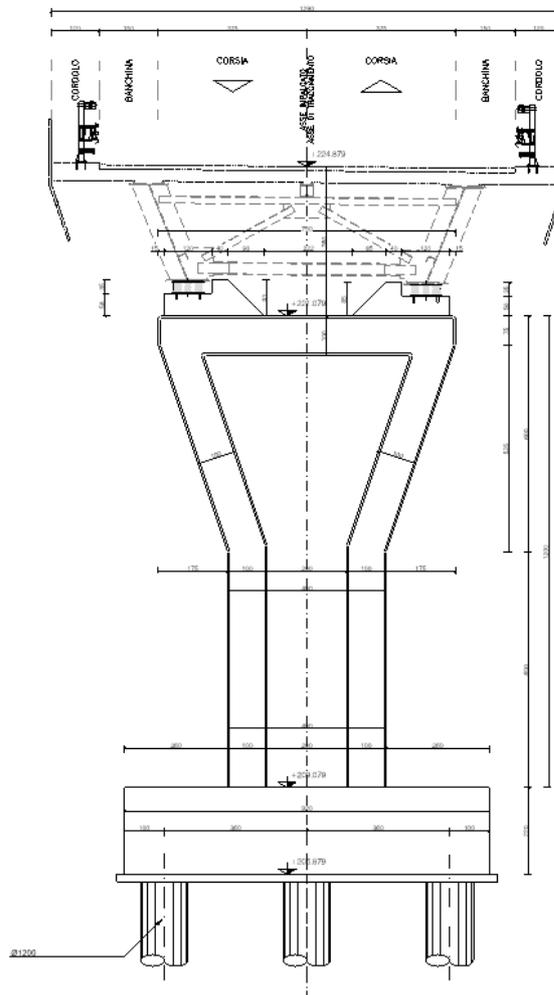


Figura 5 – sezione longitudinale di progetto pila tipo viadotto Castellano



**Figura 6 – sezione longitudinale di progetto pila pozzo viadotto Castellano**

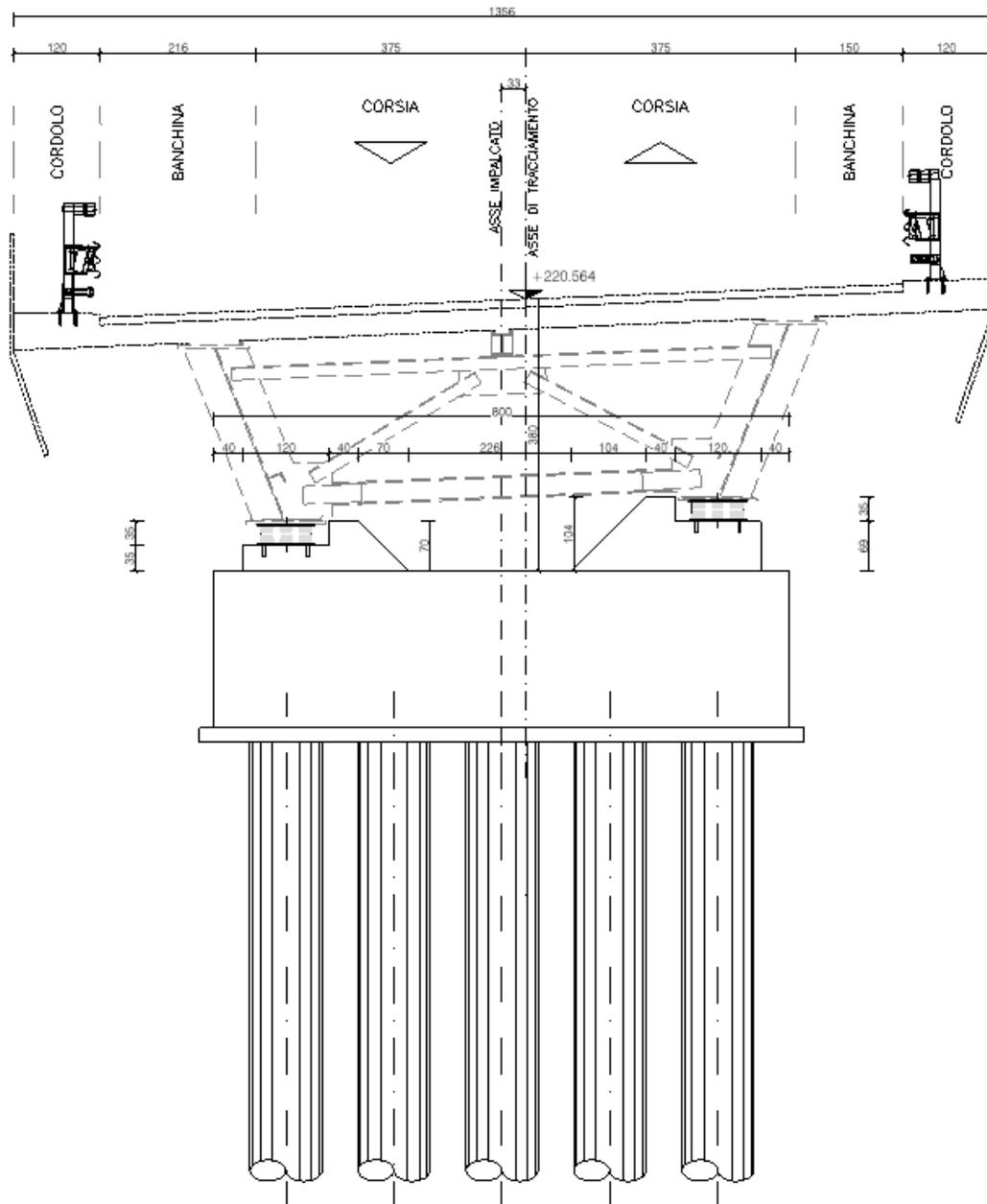


Figura 7 – sezione longitudinale di progetto pila pozzo viadotto Castellano

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- [1].Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- [2].Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
- [3].UNI EN 1997-1: Geotechnical design - General rules
- [4].UNI EN 1998-5: Design of structures for earthquake resistance – Foundations, retaining structures and geotechnical aspects

### 3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1].AGI, Raccomandazioni sui pali di fondazione, Quaderni dell'Associazione Geotecnica Italiana, 1984.
- [2].C. Viggiani, A. Mandolini e G. Russo, Piles and pile foundations, CRC Press, 2014.
- [3].R. Di Laora, L. de Sanctis e S. Aversa, «Bearing capacity of pile groups under vertical eccentric load,» Acta Geotechnica, vol. 14, n. 1, 2019.
- [4].C. Viaggiani, Fondazioni, Hevelius Edizioni, 1999.

## 4 MATERIALI

### 4.1 CALCESTRUZZO

#### 4.1.1 MAGRONE SOTTOFONDAZIONE

Classe del calcestruzzo		C12/15	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	15	N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione		XC0	-

#### 4.1.2 PALI DI FONDAZIONE

Classe del calcestruzzo		C25/30	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	30	N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione		XC2	-
Classe di consistenza (Slump)		S4	-
Dimensione massima dell'aggregato		32	mm
Copriferro nominale		60	mm
Modulo elastico	$E_{cm} =$	31475	N/mm <sup>2</sup>

## 4.2 ACCIAIO

### 4.2.1 ACCIAIO PER ARMATURA LENTA

Classe di acciaio		B450	
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	540	N/mm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>

Resistenza di progetto	$f_{yd}$	391.3	N/mm <sup>2</sup>
Sovra-resistenza	$f_{tk} / f_{yk}$	≥1.15	-
Modulo di elasticità	$E_s$	210000	N/mm <sup>2</sup>

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

La stratigrafia di riferimento finalizzata al dimensionamento delle palificate di fondazione è rappresentata nel profilo stratigrafico longitudinale di linea del progetto.

Per maggiori dettagli sulla caratterizzazione geotecnica si rimanda alla Relazione geotecnica generale del progetto definitivo.

### 5.1 STRATIGRAFIA

La stratigrafia utilizzata per i vari elementi lungo lo sviluppo dell'opera è la seguente:

Spalla A		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da testa palo
All_Gs	Ghiaie con sabbie / Ghiaie sabbiose	0.0÷4.0
Ma	Argille con limo marnose	>4.0
FALDA di calcolo: testa palo		

Pila 1-2		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da testa palo
Ma	Argille con limo marnose	>0.0
FALDA di calcolo: testa palo		

Pila 3-4-5-6-7		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da testa palo
All_Gs	Ghiaie con sabbie / Ghiaie sabbiose	0.0÷3.0
Ma	Argille con limo marnose	>3.0
FALDA di calcolo: testa palo		

Pila 8		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da testa palo
All_Gs	Ghiaie con sabbie / Ghiaie sabbiose	0.0÷2.0
Ma	Argille con limo marnose	2.0÷24.0
Ar	Arenarie	>24.0
FALDA di calcolo: testa palo		

Pila 9		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da testa palo
All_Gs	Ghiaie con sabbie / Ghiaie sabbiose	0.0÷2.0
Ma	Argille con limo marnose	2.0÷17.0
Ar	Arenarie	>17.0
FALDA di calcolo: testa palo		

Pila 10		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da testa palo
All_Gs	Ghiaie con sabbie / Ghiaie sabbiose	0.0÷9.0
Ma	Argille con limo marnose	9.0÷20.0
Ar	Arenarie	20.0÷40.0
Ma	Argille con limo marnose	>40.0
FALDA di calcolo: -6 m da testa palo		

Pila 11		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da testa palo
All_Gs	Ghiaie con sabbie / Ghiaie sabbiose	0.0÷3.0
Ma	Argille con limo marnose	3.0÷18.0
Ar	Arenarie	18.0÷40.0
Ma	Argille con limo marnose	>40.0
FALDA di calcolo: -6 m da testa palo		

Spalla B		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da testa palo
All_Gs	Ghiaie con sabbie / Ghiaie sabbiose	0.0÷2.0
Ma	Argille con limo marnose	2.0÷12.0
Ar	Arenarie	>12.0
FALDA di calcolo: -10 m da testa palo		

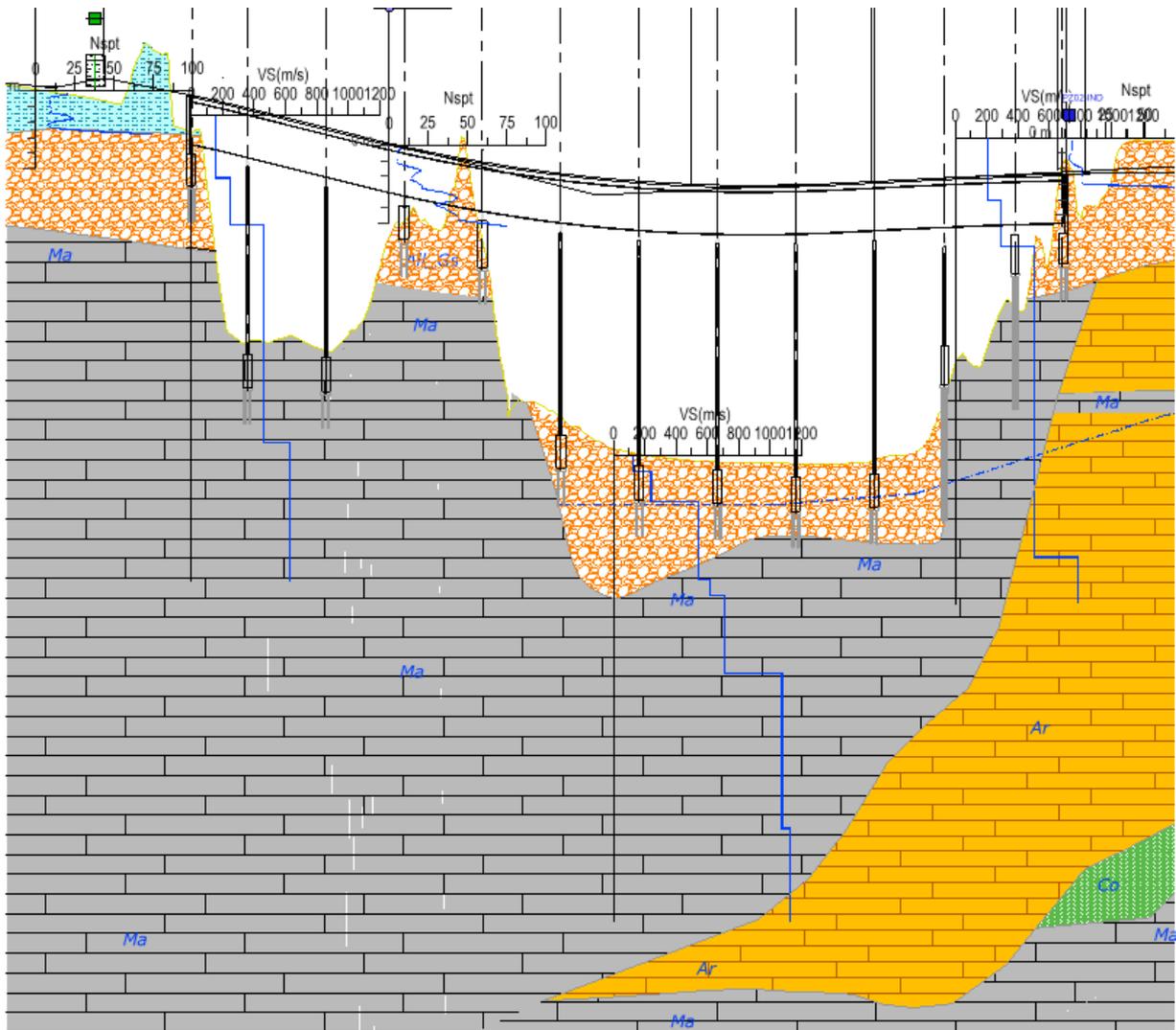


Figura 8 – stralcio del profilo geotecnico di progetto viadotto Castellano

## 5.2 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

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

Unità geotecnica	Litologia	g [kN/m <sup>3</sup> ]	Resistenza		
			$f_k$ [°]	$c'_k$ [kPa]	$c_{uk}$ [kPa]
ALL_Gs	Ghiaia sabbiosa	19-20	35-37 (36)	0	-

ALL_Ls	Limo sabbioso-Sabbie limose	19-20	27-32 (28)	5-10	50-100
Ma	Marne-Argille marnose	20-21	28-31 (29)	10-15	300
Ar	Arenaria	22-22.5	38	240	-

(): valore suggerito

**Tabella 1: Parametri di resistenza del terreno**

Unità geotecnica	Moduli a piccole deformazioni	Moduli elastici operativi		Consolidazione			
	E <sub>0</sub> [MPa]	E <sub>op</sub> = (E <sub>0</sub> /5) [MPa]	E <sub>op</sub> = (E <sub>0</sub> /10) [MPa]	e <sub>0</sub>	cc	cs	OCR
ALL_Gs	400 per 0m<z<7m; 1250 per z>7m	80 per 0m<z<7m; 250 per z>7m	40 per 0m<z<7m; 125 per z>7m	-	-	-	-
ALL_Ls	170 per 0m<z<4m; 400 per z>4m	34 per 0m<z<4m; 80 per z>4m	17 per 0m<z<4m; 40 per z>4m	0.5-0.7 (0.6)	0.12-0.2	0.02-0.04	2.5-3
Ma	1000-3000 (2000)	200-600 (400)	100-300 (200)	0.4-0.6 (0.5)	0.12-0.24 (0.12-0.16)	0.05	1-2.5
Ar	2000-8000	400-1600	200-800	-	-	-	-

**Tabella 2: Parametri di deformabilità del terreno**

## 6 METODOLOGIE DI CALCOLO CAPACITA' PORTANTE DEI PALI

### 6.1 ANALISI AGLI STATI LIMITE

Le verifiche di capacità portante dei pali vengono svolte secondo la metodologia degli stati limite ultimi, in accordo alla normativa vigente NTC2018. La verifica della capacità portante dei pali è soddisfatta se:

$$F_{cd} < R_{cd}$$

essendo

$$R_{cd} = R_k / \gamma_R$$

dove:

$F_{cd}$  = carico assiale di compressione di progetto;

$R_{cd}$  = capacità portante di progetto nei confronti dei carichi assiali;

$R_k$  = valore caratteristico della capacità portante limite del palo.

In particolare le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi (SLU) vengono condotte secondo l'Approccio 2 con la combinazione (A1+M1+R3) tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali delle tabelle di normativa 6.2.I, 6.2.II e 6.4.VI.

La resistenza di progetto a compressione  $R_{c,d}$  è calcolata applicando al valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  i coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati in tabella seguente (tabella di normativa 6.4.II), relativi alla condizione di pali trivellati.

Il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  a compressione del palo (o a trazione  $R_{t,k}$ ) è ottenuto applicando i fattori di correlazione  $\xi_3$  e  $\xi_4$  (vedasi tabella seguente) alle resistenze di calcolo  $R_{c,cal}$  (o  $R_{t,cal}$ ); tali fattori di correlazione sono funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative (tabella di normativa 6.4.IV).

Per ogni opera verrà assunto un coefficiente  $\xi_3$  in funzione delle verticali di indagine eseguite, sufficientemente rappresentative per la caratterizzazione geotecnica, secondo quanto indicato da normativa.

In condizioni sismiche le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi vanno condotte con riferimento allo stesso approccio utilizzato per le condizioni statiche (A1+M1+R3), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nella successiva tabella e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari all'unità.

Tabella 3 - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	$\gamma_R$	(R3)	(R3)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

<sup>(\*)</sup> da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

Tabella 4 - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Si verificherà inoltre che la risposta del palo in esercizio sia di tipo "elastico"; verificando un adeguato coefficiente di sicurezza sulla portata ultima per attrito laterale:

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

## 6.2 METODOLOGIA DI CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE AI CARICHI VERTICALI

La portata di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) "Qd" può essere espressa dalla seguente relazione:

$$Q_d = Q_{ll} / FSL + Q_{bl} / FSB - W'p$$

dove:

Q<sub>ll</sub> = portata laterale limite,

Q<sub>bl</sub> = portata di base limite,

W'p = peso efficace del palo (al netto del peso del terreno asportato: peso calcestruzzo-peso terreno),

FSL = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ( $=\xi_3 \cdot \gamma_s$ ).

FSB = fattore di sicurezza per la portata di base ( $=\xi_3 \cdot \gamma_b$ ).

### Portata laterale

La portata laterale limite viene valutata con la seguente relazione:

$$Q_{ll} = \pi \cdot D \cdot \sum_i (\tau_i \cdot h_i)$$

dove:

D = diametro palo,

$\tau_i$  = tensione di adesione laterale limite nello strato i-esimo,

h<sub>i</sub> = altezza dello strato i-esimo.

### Depositi incoerenti

Per i depositi incoerenti, la tensione tangenziale ultima lungo il fusto del palo, in accordo ad esempio a Burland [1973], Reese & O'Neill [1988], Chen & Kulhawy [1994], O'Neill & Hassan [1994], può essere valutata con riferimento alla seguente espressione:

$$\tau_i = \beta \cdot \sigma'_v \leq \tau_{l,max}$$

dove:

$\sigma_v$  = tensione verticale efficace litostatica,

$\tau_{l,max}$  = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 150 kPa per terreni incoerenti).

$\beta$  = coefficiente empirico  $\beta = k \cdot \tan \phi$  essendo

$k$  = coefficiente di pressione laterale = 0.7 a compressione e 0.5 a trazione;

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio.

### Depositi coesivi

Per i terreni coesivi superficiali (alluvionali) la tensione tangenziale è stata valutata con la seguente espressione:

$$\tau_i = \alpha \cdot c_u \leq \tau_{l,max}$$

Dove:

$c_u$  = resistenza al taglio in condizioni non drenate

$\alpha$  = parametro empirico assunto come da Indicazione AGI:

$\alpha = 0.90$  per  $c_u \leq 25$  kPa;

$\alpha = 0.80$  per  $25 \leq c_u \leq 50$  kPa;

$\alpha = 0.60$  per  $50 \leq c_u \leq 75$  kPa;

$\alpha = 0.40$  per  $c_u \geq 75$  kPa.

$\tau_{l,max}$  = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 100 kPa per terreni coesivi alluvionali).

Inoltre per i terreni coesivi alluvionali è stata anche eseguita una verifica in tensioni efficaci; in particolare si è controllato che:

$$\tau_i > 0.23 \cdot \sigma_v$$

$$\tau_i < 0.25 \cdot \sigma_v$$

Per i depositi coesivi del substrato (unità FYN, AAC, TRV) la tensione tangenziale può essere valutata con la correlazione di Burland (1993):

$$\tau_i = \beta \cdot \sigma'_v \leq \tau_{l,max}$$

Dove

$$\beta = 0.1 + 0.4 \cdot c_u / \sigma'_v \quad (\text{con } \beta > 0.23, \text{ AGI dicembre 1984}).$$

$c_u$  = resistenza al taglio in condizioni non drenate;

$\sigma'_v$  = tensioni verticali efficaci;

$\tau_{l,max}$  = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 120 kPa per terreni coesivi del substrato).

### Portata di base

Per la valutazione della portata di base limite sono state utilizzate le seguenti relazioni:

$$Q_{bl} = A_p \cdot q_{bl}$$

dove:

$A_p$  = area della base del palo,

$q_{bl}$  = portata limite specifica di base.

### Depositi incoerenti

Nei terreni incoerenti, la pressione di base del palo, associabile a cedimenti pari al 10% del diametro del palo, viene valutata con la relazione di Berezantzev (1965) indicata nelle Raccomandazioni AGI:

$$q_b = N_q^* \cdot \sigma'_v \leq q_{b,lim}$$

essendo:

$Nq^*$  = coefficiente in funzione dell'angolo di resistenza al taglio del terreno (Raccomandazioni AGI);

$\sigma'_v$  = tensione verticale efficace;

$q_{b,lim}$  = pressione ultima di base massima consigliabile. Nel caso in esame si è fatto riferimento a quanto indicato da Gwizdala, 1984, vedasi seguente tabella.

Tabella 5 - Valori di  $q_{b,lim}$  secondo Gwizdala [1984]

	$q_{b,lim}$ (kPa)
GHIAIE	7300
SABBIE	5800
SABBIE LIMOSE	4300

Cautelativamente per le unità in esame si assume:

- terreni sabbiosi con angolo di resistenza al taglio  $\phi' = 31-32^\circ$ :  $Nq^* = 10$ ;  $q_b \leq 4300$  kPa

- terreni sabbiosi con angolo di resistenza al taglio  $\phi' = 34^\circ$ :  $Nq^* = 14$ ;  $q_b \leq 4300$  kPa

- terreni ghiaioso sabbiosi con angolo di resistenza al taglio  $\phi' = 38^\circ$ :  $Nq^* = 23$ ;  $q_b \leq 5800$  kPa

### Depositi coesivi

La portata di base limite nei terreni coesivi viene valutata con la seguente relazione:

$$q_b = 9 \cdot c_u + \sigma'_v \leq q_{b,lim}$$

dove:

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata [kPa];

$\sigma'_v$  = tensione totale verticale;

$q_{b,lim}$  = pressione ultima di base massima consigliabile (3800 kN in accordo a Engling e Reese, 1974).

### Determinazione della resistenza di progetto a trazione

La portata a trazione di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) "Qd" può essere espressa dalla seguente relazione:

$$Q_d = Q_{LL} / FSL + W'P$$

dove:

Q<sub>LL</sub> = portata laterale limite (da determinarsi in conformità a quanto già descritto nel precedente paragrafo),

W'P = peso efficace del palo (alleggerito se sotto falda),

FSL = fattore di sicurezza per la portata laterale a trazione (=  $\gamma_{st} \cdot \xi_3$ ).

## 6.3 METODOLOGIA DI VERIFICA

Ai sensi delle NTC2018 la verifica per stati limite ultimi di tipo GEO della fondazione mista può essere svolta "limitatamente alle azioni verticali" (par. 6.4.3.3); tale indicazione si deve interpretare nel senso di escludere il caso di combinazioni di azioni verticali e coppie in fondazione, cioè di azioni verticali eccentriche. In quest'ultimo caso, si deve far riferimento al solo contributo dei pali, che può essere valutato applicando metodologie di calcolo in grado di rappresentare lo stato limite ultimo di collasso della palificata nel suo complesso, in virtù del raggiungimento del carico limite di tutti i pali. Nel seguito si fa riferimento al Metodo dei Domini di Interazione M-N o Metodo dei Domini di Resistenza della palificata [3].

#### 6.4 DOMINIO DI RESISTENZA DELLA PALIFICATA

Il dominio di resistenza  $\mathcal{D}$  delle fondazioni su pali è costruito come il luogo dei punti rappresentativi del collasso dell'intera palificata. Il dominio di resistenza, se costruito con riferimento ai valori delle resistenze di progetto del palo singolo (in compressione,  $R_{c,d}$ , e in trazione,  $R_{t,d}$ ), assume il significato di dominio delle resistenze di progetto  $\mathcal{D}_d$ .

Le verifiche SLU-GEO delle fondazioni su pali sono soddisfatte se i punti rappresentativi delle azioni di progetto  $(N_{Ed}, M_{Ed})$  risultano interni al dominio di resistenza di progetto  $\mathcal{D}_d$ . La verifica è dunque formalmente soddisfatta se risulta verificata la seguente condizione:

$$(N_{Ed}, M_{Ed}) \in \mathcal{D}_d$$

I punti della frontiera del dominio rappresentano le coppie di valori "Nu, Mu" (resistenza a compressione/trazione e momento resistente del gruppo di pali, rispettivamente) per i quali tutte le riserve di resistenza della palificata risultano esaurite.

Il dominio è costruito secondo le seguenti ipotesi di calcolo:

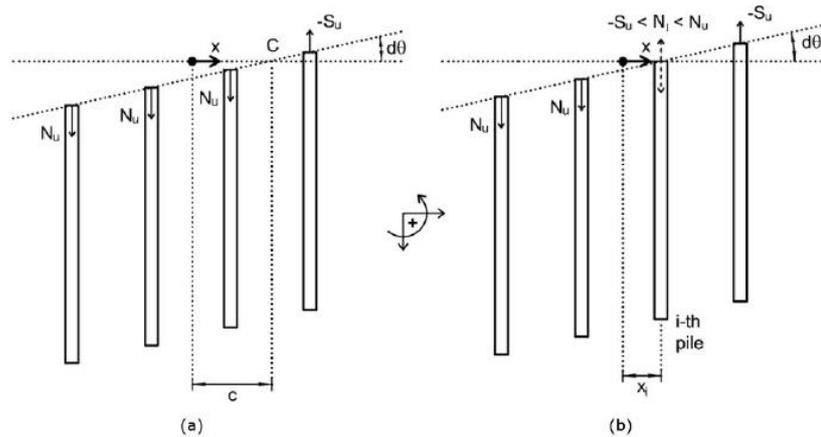
I pali sono modellati sia a trazione sia in compressione come elementi monodimensionali rigido-perfettamente plastici, indipendenti fra loro, caratterizzati dai due carichi limite (di "snervamento") in compressione "Nu" ( $=R_{c,d}$ ) ed in trazione "-Su" ( $=R_{t,d}$ );

I pali sono connessi con una platea infinitamente rigida;

La testa dei pali può essere considerata sia incastrata alla platea (vincolo in grado di esprimere un momento flettente) sia incernierata alla platea.

In estrema sintesi, a titolo esemplificativo, considerando una generica riga di n pali, identici e equidistanti fra loro, su cui agiscono un carico verticale centrato  $Q_{u,i}$  e un momento flettente  $M_{u,i}$ , il sistema può subire una rotazione intorno ad un punto posto tra due pali adiacenti (o eventualmente posto anche esternamente ai pali d'estremità) o intorno alla testa di un palo (rispettivamente caso (a) e caso (b) della **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Essendo tutti i pali a comportamento rigido-perfettamente plastico, in testa al singolo palo agirà un carico assiale paria a  $N_u$  o  $-S_u$ : nel caso (a) tutti i pali saranno soggetti al loro carico limite, mentre nel caso (b) ciò sarà vero per tutti i pali, eccetto quello intorno al quale avviene la rotazione.



**Figura 9 –Meccanismo di collasso per una riga di pali identici ed equidistanti: (a) rotazione intorno ad un punto tra due pali adiacenti; (b) rotazione intorno alla testa di un palo (Di Laora et al, 2019 [3])**

Applicando i teoremi dell'analisi limite è possibile ricavare le seguenti equazioni:

$$\begin{cases} Q_{u,i} = N_u \cdot (i - 1) - S_u \cdot (n - i + 1) \\ M_{u,i} = \frac{s}{2} \cdot (N_u + S_u) \cdot (i - 1) \cdot (n - i + 1) \end{cases} \quad \text{con } i = 1, \dots, n.$$

$$\begin{cases} Q_{u,(k+n)} = -(k - 1) \cdot S_u + (n - k + 1) \cdot N_u \\ M_{u,(k+n)} = -\frac{s}{2} \cdot (N_u + S_u) \cdot (k - 1) \cdot (n - k + 1) \end{cases} \quad \text{con } k = 1, \dots, n.$$

Le coppie di valori  $(Q_{u,i}, M_{u,i})$  o  $(Q_{u,(k+n)}, M_{u,(k+n)})$  definiscono un poligono nel piano  $(V_u, M_u)$ , ottenuto tracciando le congiungenti tra due punti consecutivi. Le rette così determinate costituiscono, a loro volta, soluzioni del teorema e rappresentano la condizione in cui la rotazione avviene proprio in corrispondenza della testa di un palo.

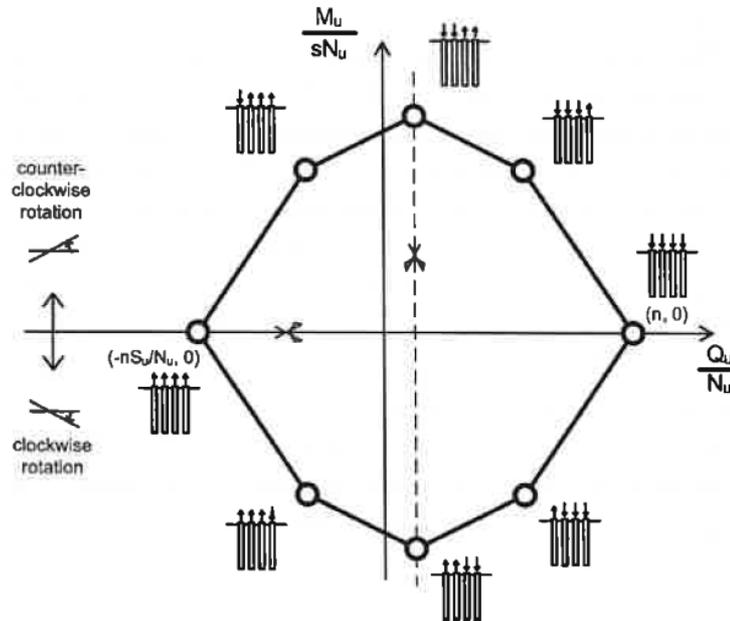


Figura 10 - Diagramma di interazione relativo ad una generica riga di 4 pali identici, equidistanti fra loro.

Quanto esposto fino ad ora può essere esteso ad un gruppo di pali, caratterizzato da: a) un generico numero di elementi; b) differenti valori di carico assiale limite a compressione e trazione per ciascun palo e c) valori non nulli del momento di plasticizzazione dei singoli pali nella loro sezione di testa. Nella generica condizione sopra descritta le coordinate dei vertici del dominio possono essere determinate attraverso le seguenti espressioni:

$$\begin{cases} Q_{u,i} = \sum_{j=1}^{i-1} N_{uj} - \sum_{j=i}^p S_{uj} \\ M_{u,i} = \sum_{j=1}^{i-1} (M_{ycj} - N_{uj}\xi_j) + \sum_{j=i}^p (M_{ytj} + S_{uj}\xi_j) \end{cases} \quad \text{con } i = 1, \dots, p+1$$

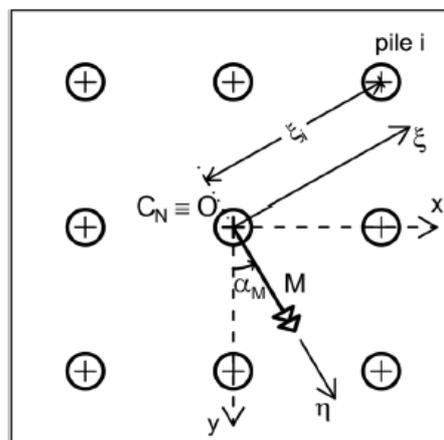
$$\begin{cases} Q_{u(k+p+1)} = -\sum_{j=1}^{k-1} S_{uj} + \sum_{j=k}^p N_{uj} \\ M_{u(k+p+1)} = \sum_{j=1}^{k-1} (S_{uj}\xi_j - M_{ytj}) - \sum_{j=k}^p (M_{ycj} + N_{uj}\xi_j) \end{cases} \quad \text{con } k = 1, \dots, p+1$$

dove

$M_{ycj}, M_{ytj}$ : momenti di plasticizzazione della sezione in corrispondenza della testa del palo di fondazione valutati, rispettivamente, con i valori di sforzo assiale pari a  $N_{uj}$  e  $S_{uj}$ ;

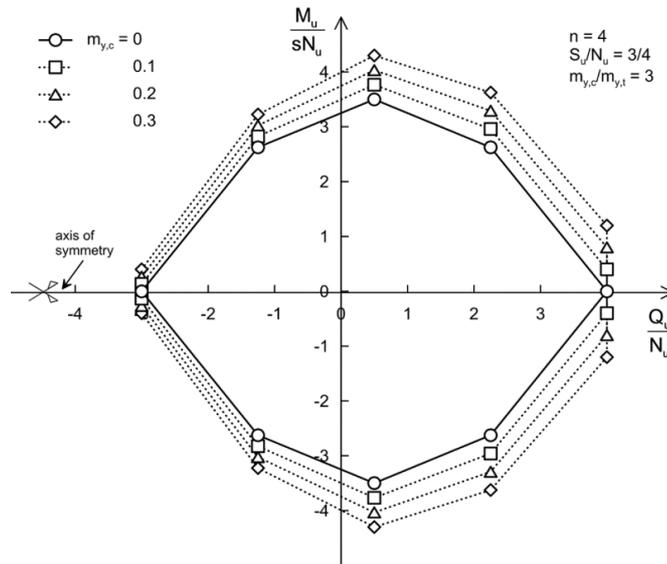
$\xi_j$ : distanza lungo l'asse  $\xi$  del j-esimo palo nel sistema di riferimento ( $\xi; \eta$ ) (v. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**);

$p$ : numero di pali che compongono la palificata.



**Figura 11 - Definizione del sistema di riferimento ( $\xi; \eta$ ).**

Nella Figura seguente si riporta, a titolo di esempio, il dominio di resistenza di una palificata costituita da una generica riga di 4 pali identici e equidistanti fra loro, in cui si evidenzia l'effetto della variazione del momento di plasticizzazione sul dominio stesso. Si precisa che nella figura seguente  $m_{yt} = M_{yt}/(sN_u)$  e  $m_{yc} = M_{yc}/(sN_u)$  rappresentano i momenti di plasticizzazione adimensionali della sezione in corrispondenza della testa del palo di fondazione, valutati, rispettivamente, con i valori di sforzo assiale pari a  $S_{uj}$  e  $N_{uj}$  e  $s$  rappresenta l'interasse dei pali.



**Figura 12 - Esempio di Dominio di Resistenza di una palificata 4x4.**

Per ulteriori approfondimenti circa il calcolo dei domini di resistenza si rimanda a Di Laora et al. [3].

## 7 METODOLOGIA PER LA DETERMINAZIONE DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI

### 7.1 PREMESSA

In linea generale, 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 sono riportate nel paragrafo seguente.

### 7.2 ANALISI AGLI STATI LIMITE

Per la determinazione del valore di progetto della resistenza dei pali soggetti a carichi trasversali valgono le indicazioni della normativa riportate al paragrafo 6.4.3.1.1, applicando il coefficiente parziale ( $\gamma_T$ ) della seguente tabella (vedasi tabella di normativa 6.4.VI) ed i coefficienti  $\xi_3$  e  $\xi_4$ , fattori di correlazione in funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative (tabella di normativa 6.4.IV).

Tabella 6 - Coefficiente parziale  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

### 7.3 VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE - BROMS

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 equazioni con cui si determina il carico limite a forze orizzontali dei pali sono definite di seguito al variare del tipo di meccanismo considerato.

In terreni coesivi si ha:

Palo corto: 
$$H = 9c_u d^2 \left( \frac{L}{d} - 1.5 \right)$$

Palo intermedio: 
$$H = -9c_u d^2 \left( \frac{L}{d} + 1.5 \right) + 9c_u d^2 \sqrt{2 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{4}{9} \frac{M_y}{c_u d^3}} + 4.5$$

Palo lungo: 
$$H = -13.5c_u d^2 + c_u d^2 \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_y}{c_u d^3}}$$

dove :

H = carico limite orizzontale del palo;

$c_u$  = resistenza non drenata del terreno;

$M_y$  = momento di plasticizzazione del palo;

L = lunghezza del palo;

d = diametro del palo.

In terreni incoerenti si ha (vedasi figura seguente):

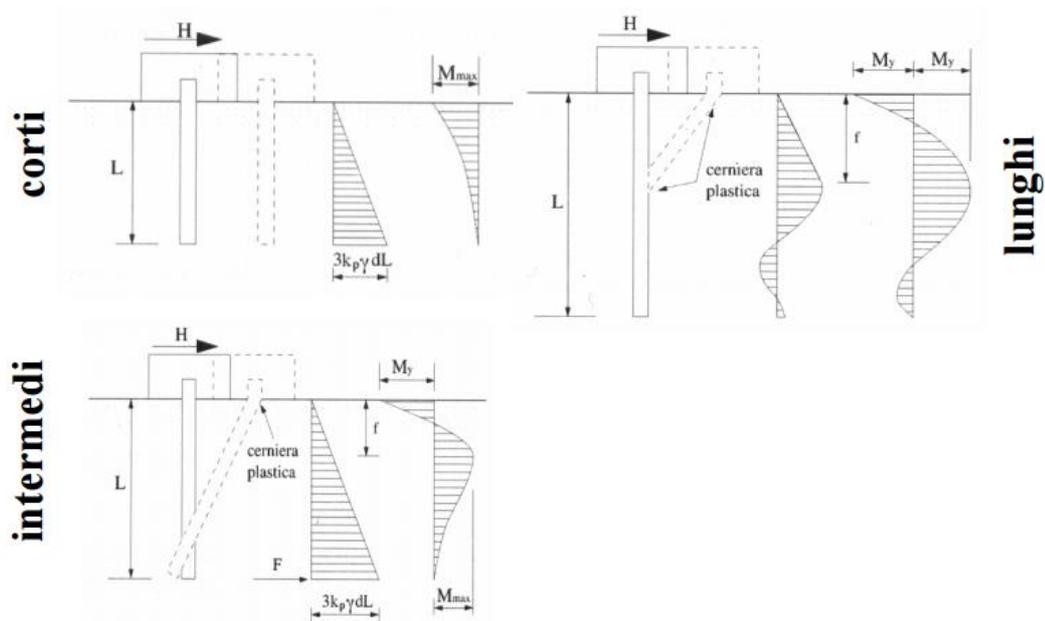
Palo corto: 
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio: 
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo: 
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left( 3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4} \right)^2}$$

Dove, oltre ai termini già definiti,

$k_p$  = coefficiente di spinta passiva.



Il valore di H dovrà essere confrontato con il massimo valore del taglio agente sul palo al variare delle combinazioni (Vpd). Il valore del taglio agente sui pali verrà determinato come taglio medio:

$$V_{ed} = V_{tot} / n_{pali}$$

Per le verifiche a carico limite orizzontale, al fine di portare in conto gli effetti di interazione tra i diversi pali del gruppo, si considera un coefficiente di efficienza pari a 0.80. Tale valore costituisce un valore medio dei valori di efficienza che si ricavano per i pali appartenenti alle diverse file applicando la teoria di Reese & Van Impe.

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

$$H_{lim} = H / (\xi \cdot \gamma_T) > V_{pd}$$

dove:

H = valore limite in funzione del meccanismo attivato;

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

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

## 8 METODOLOGIA PER L'ANALISI DELLE PALIFICATE

### 8.1 COMPORTAMENTO DEL PALO SOGGETTO AI CARICHI ORIZZONTALI - 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 (EMR) definito come il rapporto fra la reazione del terreno per unità di lunghezza del palo ( $p$ ) ed il corrispondente spostamento orizzontale ( $y$ ):

$$EMR = p / y \quad [FL-2]$$

Si osservi che, definito  $KW$  [FL-3] il coefficiente di sottofondo di Winkler, per un palo di diametro  $D$  si ha:

$$EMR = KW \cdot D$$

L'andamento del modulo di reazione orizzontale con la profondità è funzione principalmente del tipo di terreno.

Per i terreni incoerenti si assume in genere una legge di variazione lineare caratterizzata dai seguenti parametri:

$$EMR = EMR,0 + kh \cdot z \quad [FL-2]$$

dove:

$EMR,0$  = valore del modulo di reazione a testa palo;

$kh$  = gradiente del modulo di reazione del terreno funzione principalmente della  $D_r$ ;

$z$  = profondità a partire dalla sommità del palo.

### 8.2 VALUTAZIONE DEL 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, ottenuti esprimendo l'equazione della linea elastica attraverso equazioni differenziali funzione del tipo di sollecitazione agente.

Nel caso in esame, considerando l'andamento del modulo di reazione orizzontale palo-terreno (EMR, valutato in accordo al precedente 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];

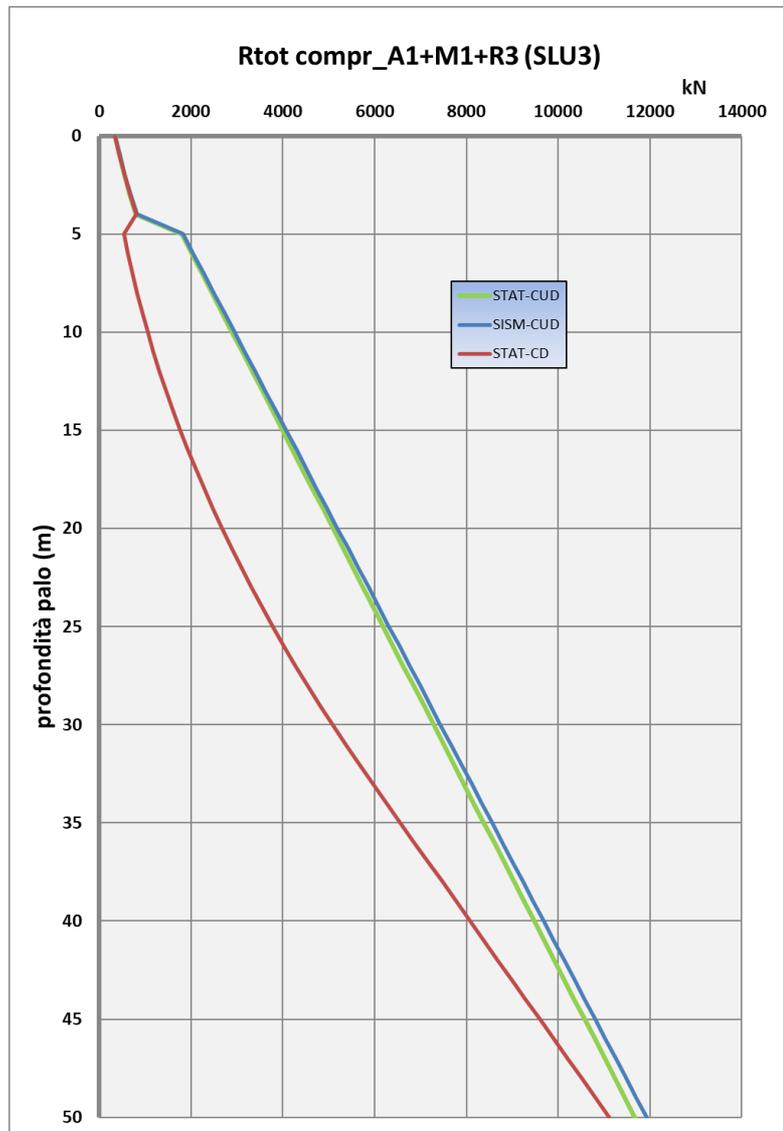
$M_{ad}$  = momento flettente adimensionale lungo il fusto del palo.

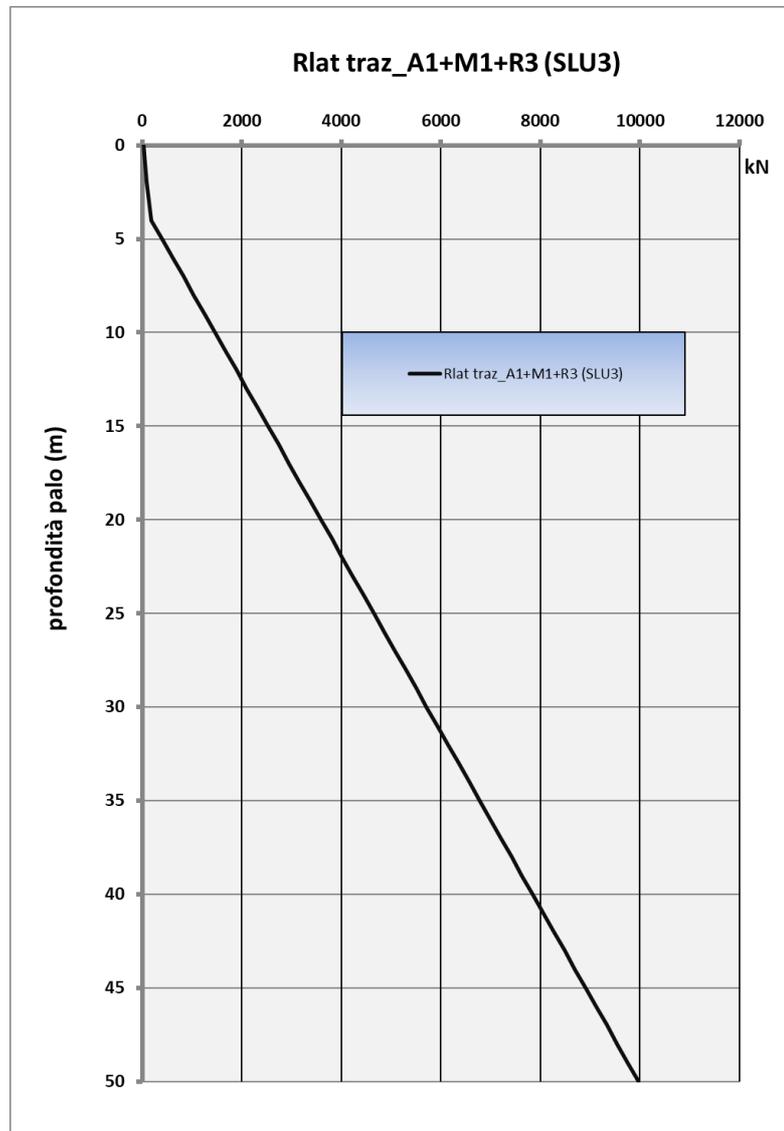
## 9 CALCOLO DELLA PORTANZA VERTICALE DEL SINGOLO PALO – CURVE DI PORTANZA

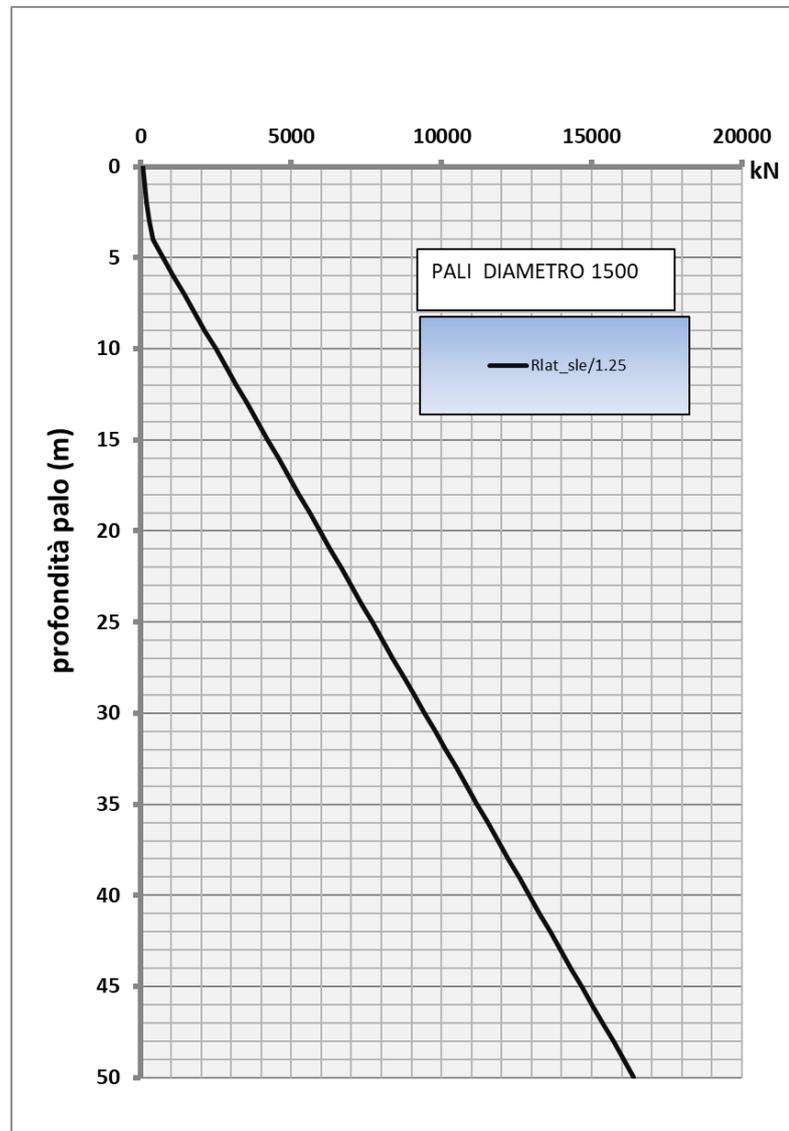
Facendo riferimento ad una verticale per il calcolo dei pali si considera un coefficiente riduttivo  $\xi = 1.70$  per tutte le curve analizzate. A favore di sicurezza, nei pali che incontrano la formazione arenaria litoide massiva (Ar) si è trascurato il contributo coesivo nella resistenza laterale, affidandola tutta al contributo attritivo, nelle curve di portanza. Per tali pali la lunghezza di progetto è stata scelta in maniera tale da intestare il palo per almeno 2-3 m nella formazione rocciosa.

## 9.1 CURVE DI PORTANZA VERTICALE SPALLA A PALO DIAMETRO 1.2 M (SLU/SLV/SLE)

Z	Rtot_slu3	Rtot_slu3	Rtot_slu3 STA	Rtraz_slu3	Rlat_sle/1.25
m, da p.c.	kN	kN	kN	kN	kN
0	346	346	346	25	60
1	446	451	446	56	121
2	556	566	556	94	196
3	675	690	675	137	286
4	803	823	803	187	390
5	1803	1828	541	400	738
6	2022	2053	629	612	1087
7	2242	2277	724	825	1435
8	2461	2502	827	1038	1783
9	2680	2726	938	1251	2131
10	2900	2951	1057	1463	2479
11	3119	3175	1184	1676	2827
12	3338	3399	1318	1889	3176
13	3558	3624	1461	2102	3524
14	3777	3848	1611	2315	3872
15	3996	4073	1769	2527	4220
16	4216	4297	1935	2740	4568
17	4435	4521	2109	2953	4916
18	4654	4746	2290	3166	5265
19	4874	4970	2480	3379	5613
20	5093	5195	2677	3591	5961
21	5312	5419	2883	3804	6309
22	5532	5644	3096	4017	6657
23	5751	5868	3317	4230	7005
24	5970	6092	3545	4442	7354
25	6190	6317	3782	4655	7702
26	6409	6541	4027	4868	8050
27	6628	6766	4279	5081	8398
28	6848	6990	4539	5294	8746
29	7067	7215	4807	5506	9094
30	7286	7439	5083	5719	9443
31	7506	7663	5367	5932	9791
32	7725	7888	5658	6145	10139
33	7944	8112	5958	6357	10487
34	8164	8337	6261	6570	10835
35	8383	8561	6564	6783	11183
36	8602	8786	6868	6996	11532
37	8822	9010	7171	7209	11880
38	9041	9234	7474	7421	12228
39	9260	9459	7778	7634	12576
40	9480	9683	8081	7847	12924
41	9699	9908	8384	8060	13272
42	9918	10132	8687	8272	13621
43	10138	10357	8991	8485	13969
44	10357	10581	9294	8698	14317
45	10576	10805	9597	8911	14665
46	10796	11030	9900	9124	15013
47	11015	11254	10204	9336	15361
48	11234	11479	10507	9549	15710
49	11454	11703	10810	9762	16058
50	11673	11928	11113	9975	16406

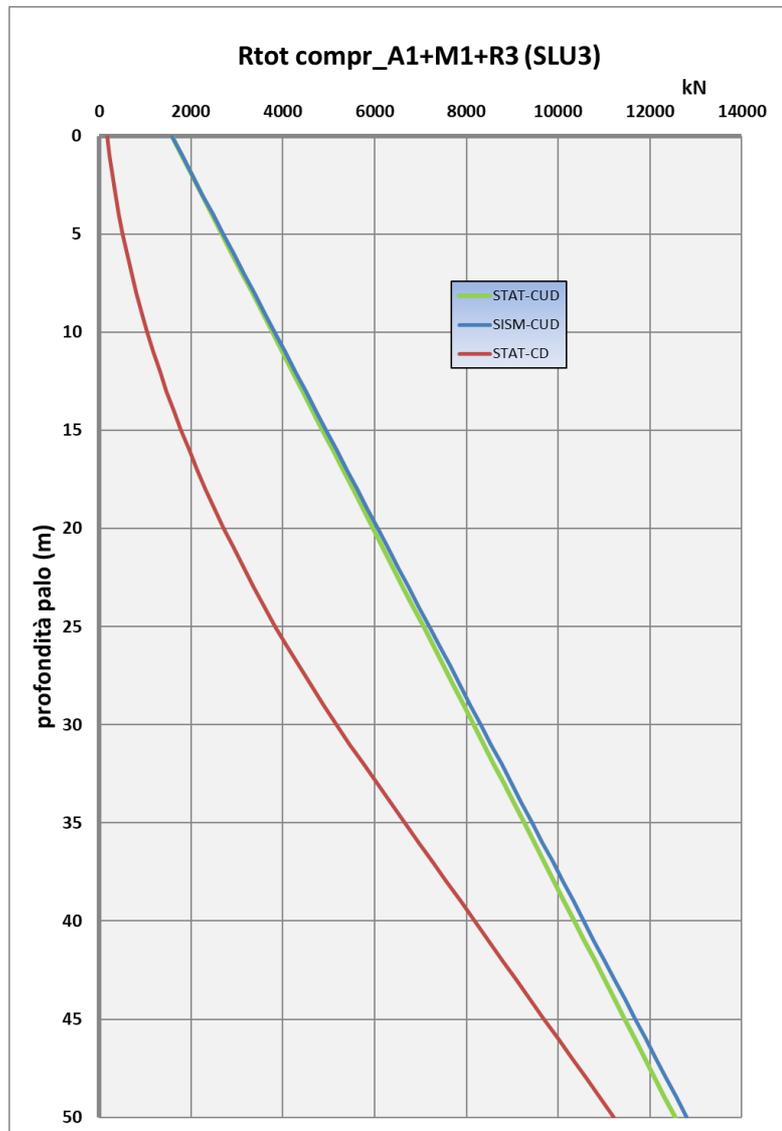


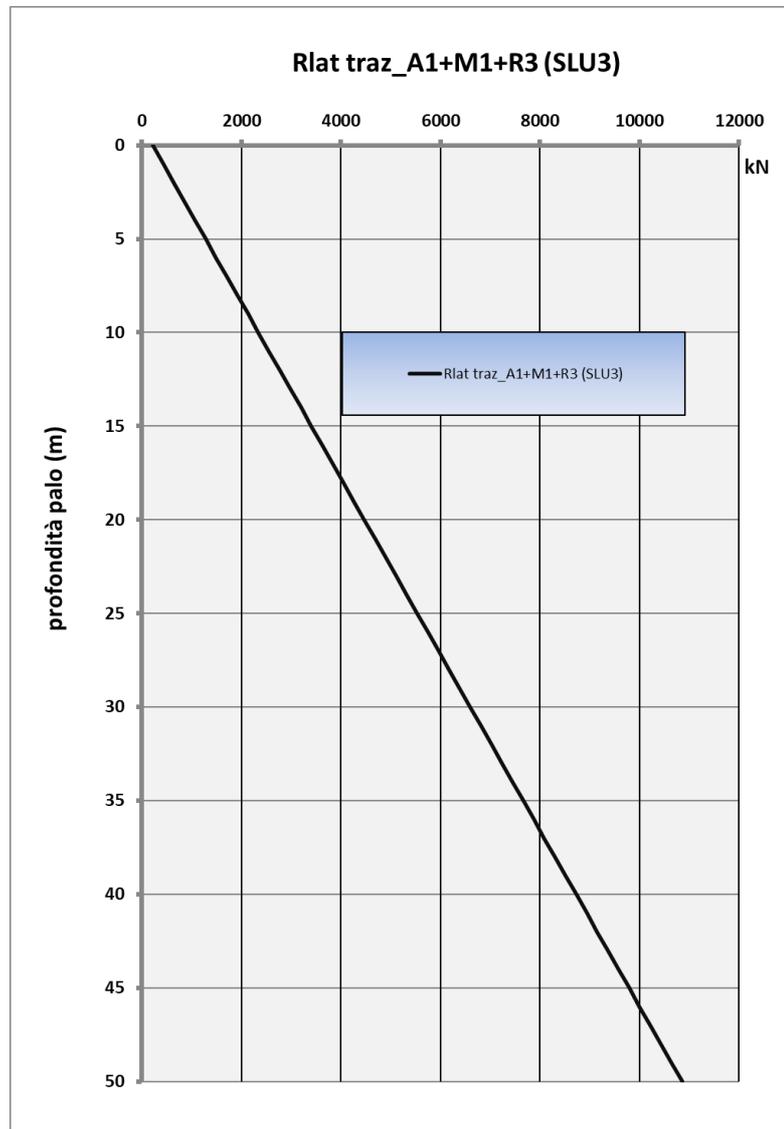


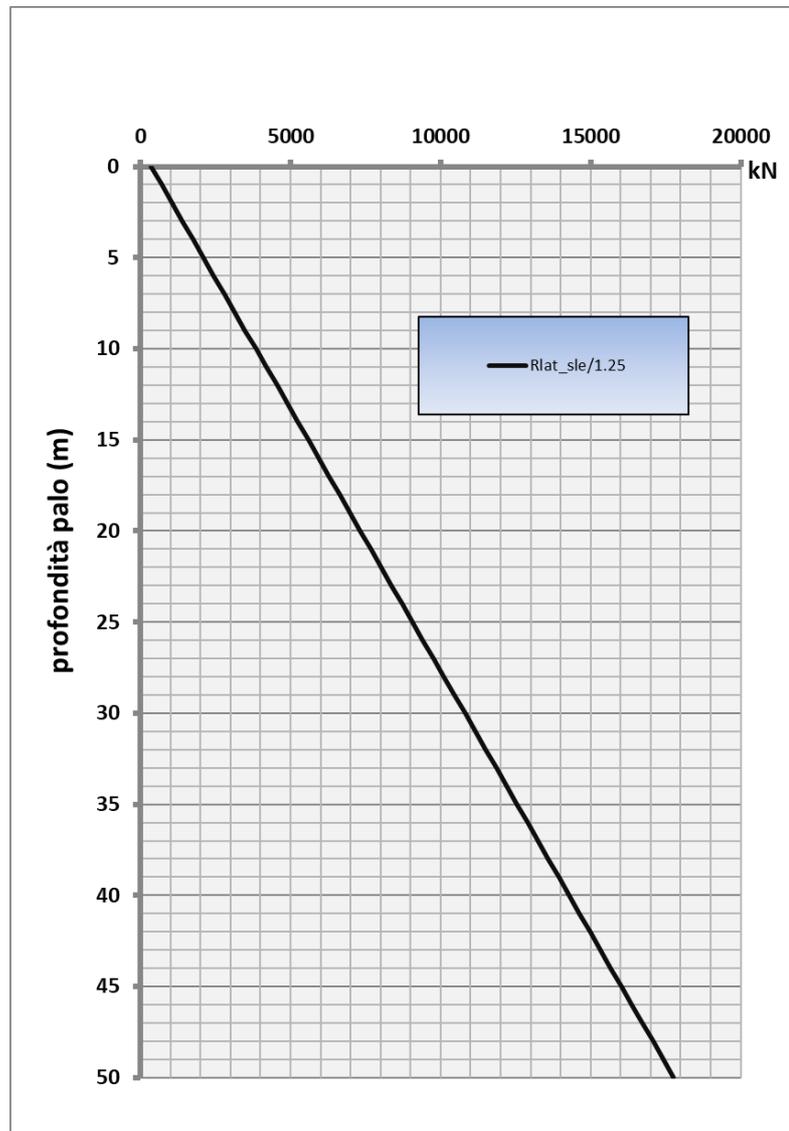


## 9.2 CURVE DI PORTANZA VERTICALE PILA 1-2 PALO DIAMETRO 1.2 M (SLU/SLV/SLE)

Z	Rtot_slu3	Rtot_slu3	Rtot_slu3 STA	Rtraz_slu3	Rlat_sle/1.25
m, da p.c.	kN	kN	kN	kN	kN
0	1581	1581	172	213	362
1	1801	1806	225	426	710
2	2020	2030	285	638	1058
3	2239	2255	354	851	1406
4	2459	2479	430	1064	1754
5	2678	2703	514	1277	2103
6	2897	2928	606	1489	2451
7	3117	3152	706	1702	2799
8	3336	3377	813	1915	3147
9	3555	3601	929	2128	3495
10	3775	3826	1052	2341	3843
11	3994	4050	1183	2553	4192
12	4213	4274	1322	2766	4540
13	4433	4499	1469	2979	4888
14	4652	4723	1624	3192	5236
15	4871	4948	1787	3404	5584
16	5091	5172	1957	3617	5932
17	5310	5397	2135	3830	6281
18	5529	5621	2322	4043	6629
19	5749	5845	2516	4256	6977
20	5968	6070	2717	4468	7325
21	6187	6294	2927	4681	7673
22	6407	6519	3145	4894	8021
23	6626	6743	3370	5107	8369
24	6845	6968	3603	5320	8718
25	7065	7192	3845	5532	9066
26	7284	7416	4094	5745	9414
27	7503	7641	4350	5958	9762
28	7723	7865	4615	6171	10110
29	7942	8090	4888	6383	10458
30	8162	8314	5168	6596	10807
31	8381	8539	5456	6809	11155
32	8600	8763	5752	7022	11503
33	8820	8987	6056	7235	11851
34	9039	9212	6359	7447	12199
35	9258	9436	6662	7660	12547
36	9478	9661	6965	7873	12896
37	9697	9885	7269	8086	13244
38	9916	10110	7572	8298	13592
39	10136	10334	7875	8511	13940
40	10355	10558	8178	8724	14288
41	10574	10783	8482	8937	14636
42	10794	11007	8785	9150	14985
43	11013	11232	9088	9362	15333
44	11232	11456	9392	9575	15681
45	11452	11680	9695	9788	16029
46	11671	11905	9998	10001	16377
47	11890	12129	10301	10213	16725
48	12110	12354	10605	10426	17074
49	12329	12578	10908	10639	17422
50	12548	12803	11211	10852	17770

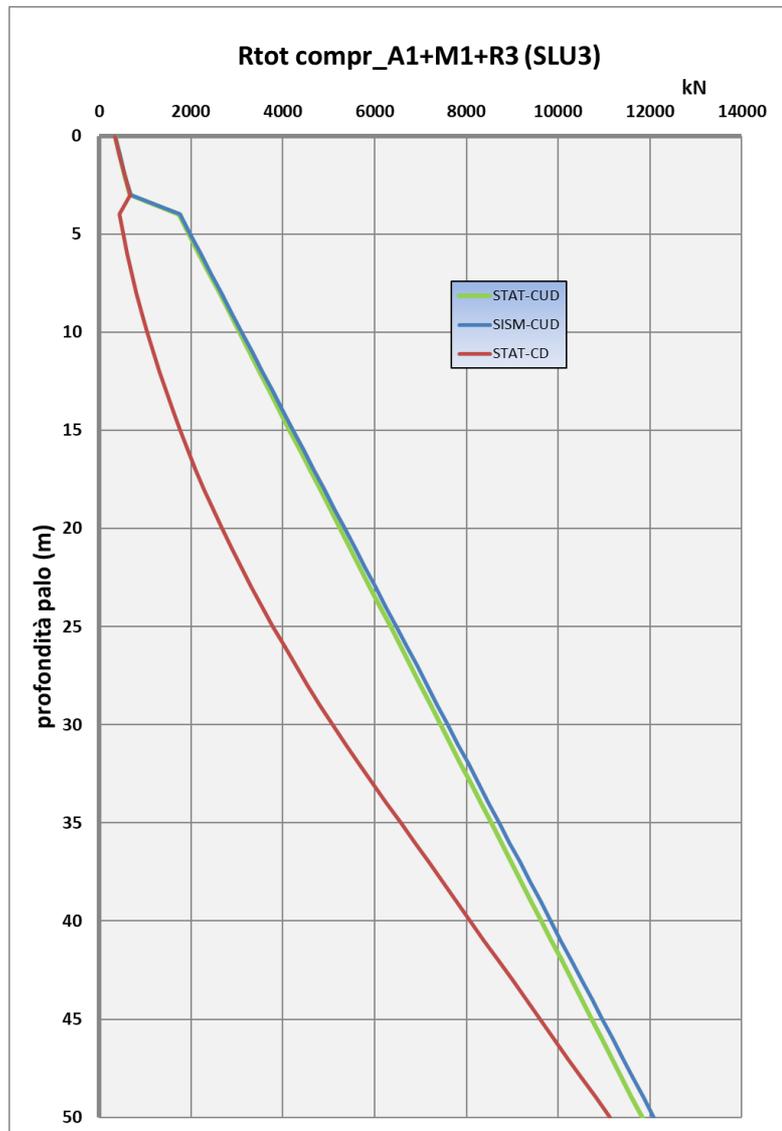


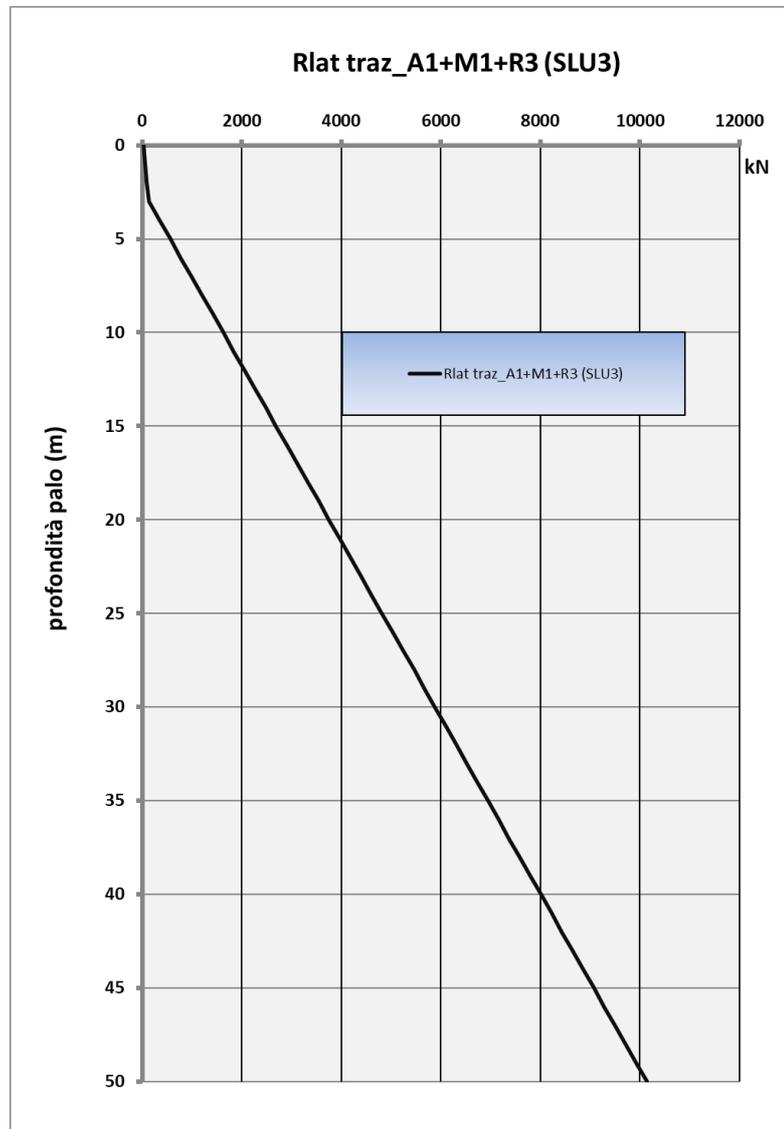


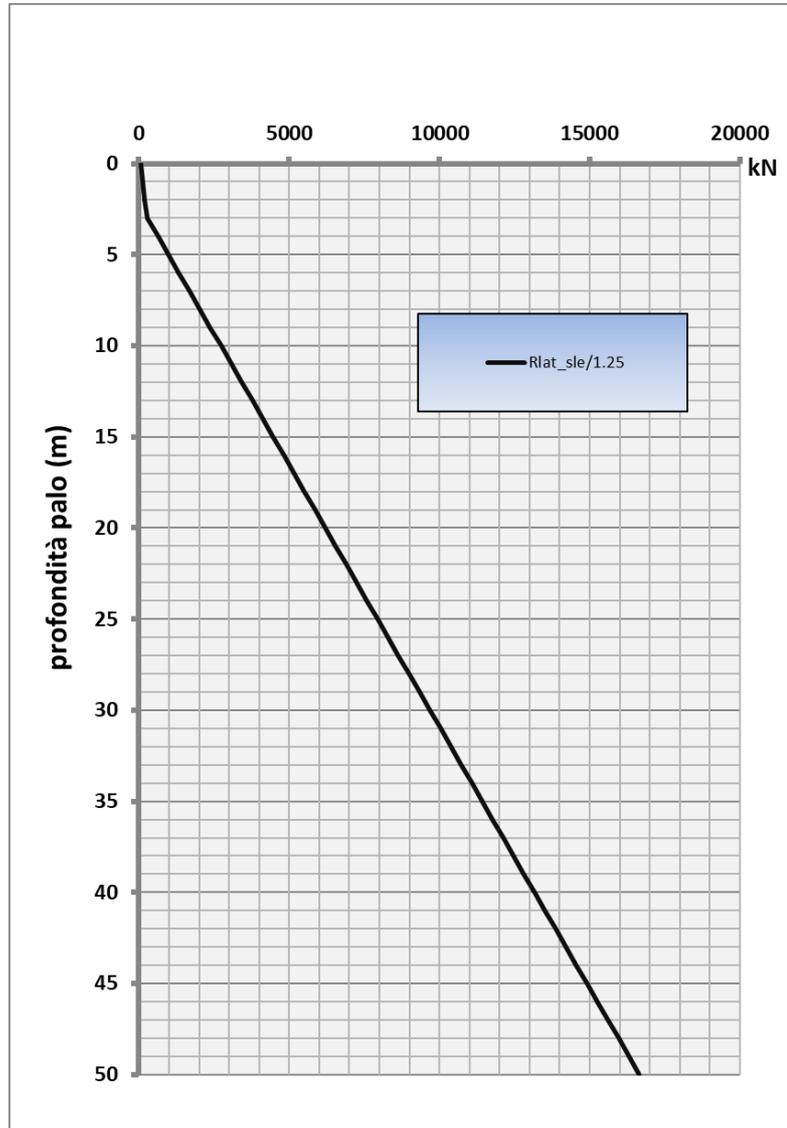


### 9.3 CURVE DI PORTANZA VERTICALE PILA 3-4-5-6-7 PALO DIAMETRO 1.2 M (SLU/SLV/SLE)

Z	Rtot_slu3	Rtot_slu3	Rtot_slu3 STA	Rtraz_slu3	Rlat_sle/1.25
m, da p.c.	kN	kN	kN	kN	kN
0	346	346	346	25	60
1	446	451	446	56	121
2	556	566	556	94	196
3	675	690	675	137	286
4	1740	1760	448	350	634
5	1959	1985	528	563	982
6	2179	2209	616	776	1330
7	2398	2434	712	988	1679
8	2617	2658	816	1201	2027
9	2837	2882	928	1414	2375
10	3056	3107	1048	1627	2723
11	3275	3331	1175	1839	3071
12	3495	3556	1311	2052	3419
13	3714	3780	1454	2265	3767
14	3933	4005	1605	2478	4116
15	4153	4229	1764	2691	4464
16	4372	4453	1930	2903	4812
17	4591	4678	2105	3116	5160
18	4811	4902	2287	3329	5508
19	5030	5127	2478	3542	5856
20	5249	5351	2676	3754	6205
21	5469	5575	2882	3967	6553
22	5688	5800	3095	4180	6901
23	5907	6024	3317	4393	7249
24	6127	6249	3547	4606	7597
25	6346	6473	3784	4818	7945
26	6565	6698	4029	5031	8294
27	6785	6922	4282	5244	8642
28	7004	7146	4543	5457	8990
29	7223	7371	4812	5670	9338
30	7443	7595	5089	5882	9686
31	7662	7820	5373	6095	10034
32	7881	8044	5666	6308	10383
33	8101	8269	5966	6521	10731
34	8320	8493	6269	6733	11079
35	8539	8717	6572	6946	11427
36	8759	8942	6876	7159	11775
37	8978	9166	7179	7372	12123
38	9197	9391	7482	7585	12472
39	9417	9615	7786	7797	12820
40	9636	9840	8089	8010	13168
41	9855	10064	8392	8223	13516
42	10075	10288	8695	8436	13864
43	10294	10513	8999	8648	14212
44	10513	10737	9302	8861	14561
45	10733	10962	9605	9074	14909
46	10952	11186	9908	9287	15257
47	11171	11411	10212	9500	15605
48	11391	11635	10515	9712	15953
49	11610	11859	10818	9925	16301
50	11829	12084	11121	10138	16650

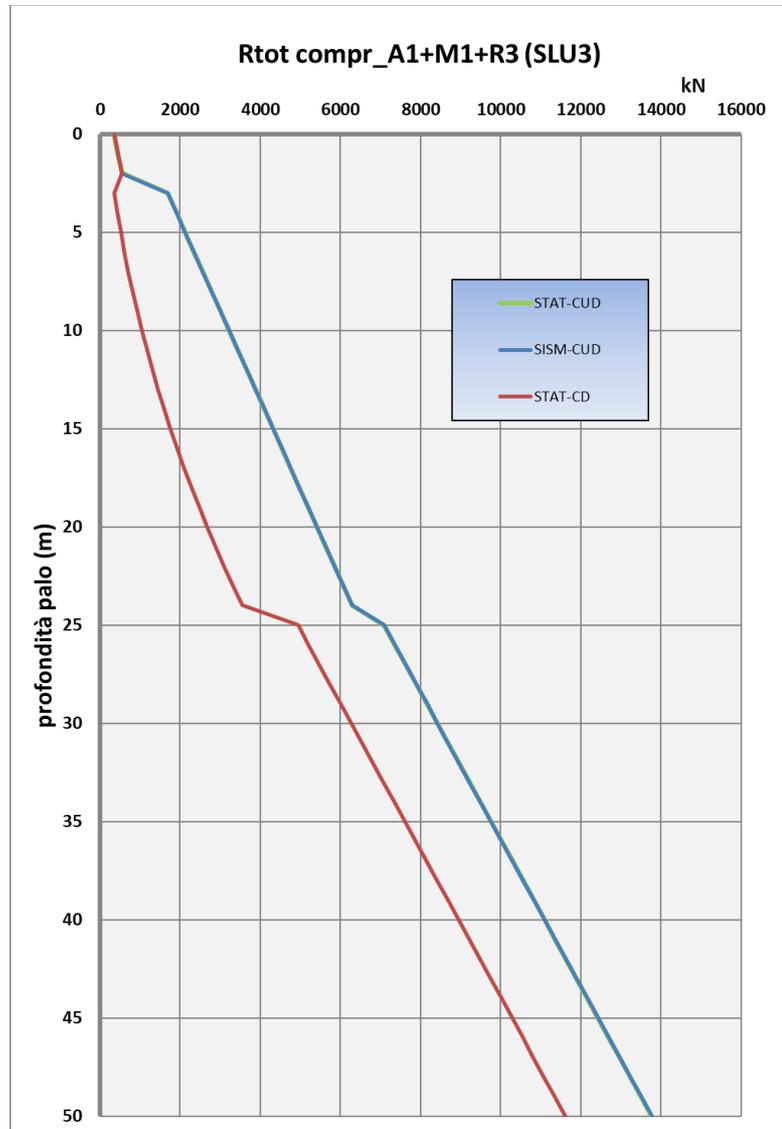


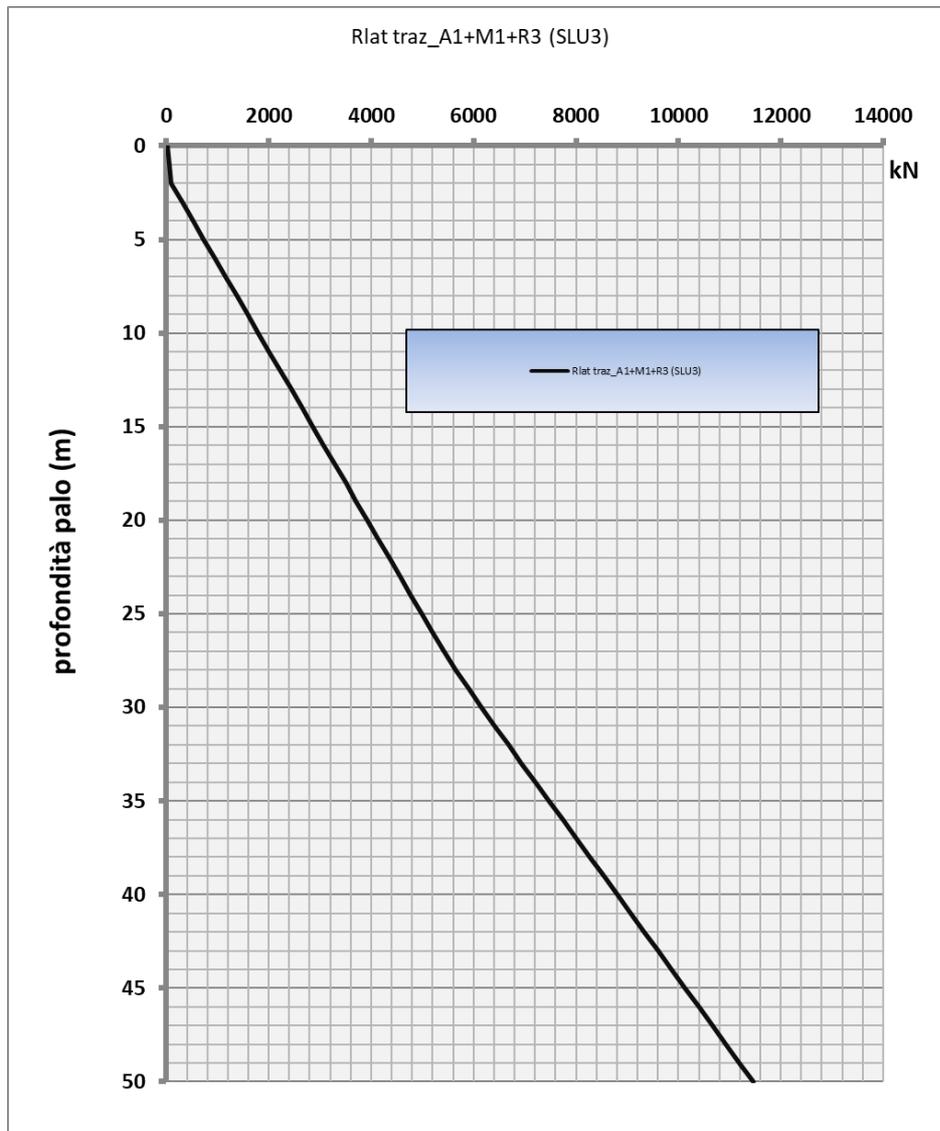


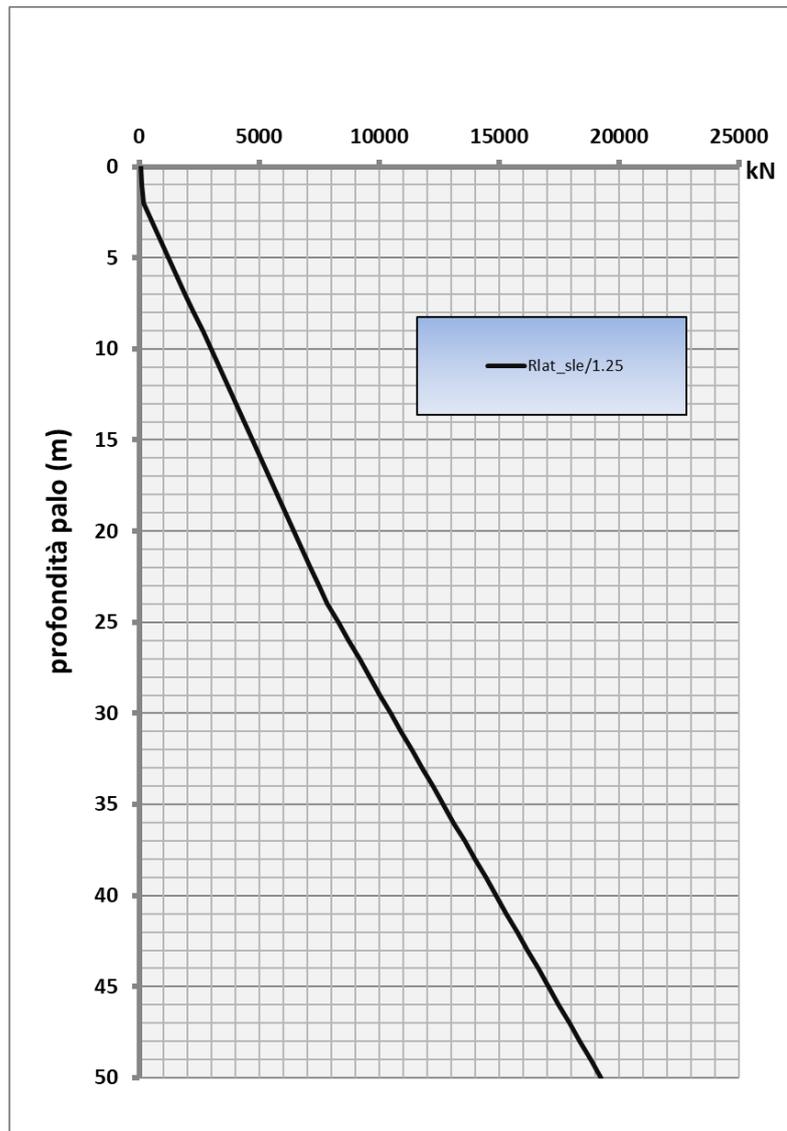


## 9.4 CURVE DI PORTANZA VERTICALE PILA 8 PALO DIAMETRO 1.2 M (SLU/SLV/SLE)

Z	Rtot_slu3	Rtot_slu3	Rtot_slu3 STA	Rtraz_slu3	Rlat_sle/1.25
m, da p.c.	kN	kN	kN	kN	kN
0	346	346	346	25	60
1	446	446	446	56	121
2	556	556	556	94	196
3	1686	1686	364	307	544
4	1906	1906	437	519	892
5	2125	2125	518	732	1240
6	2344	2344	607	945	1589
7	2564	2564	704	1158	1937
8	2783	2783	809	1370	2285
9	3002	3002	921	1583	2633
10	3222	3222	1041	1796	2981
11	3441	3441	1170	2009	3329
12	3660	3660	1306	2222	3678
13	3880	3880	1450	2434	4026
14	4099	4099	1601	2647	4374
15	4318	4318	1761	2860	4722
16	4538	4538	1929	3073	5070
17	4757	4757	2104	3285	5418
18	4976	4976	2287	3498	5767
19	5196	5196	2478	3711	6115
20	5415	5415	2677	3924	6463
21	5634	5634	2884	4137	6811
22	5854	5854	3098	4349	7159
23	6073	6073	3321	4562	7507
24	6292	6292	3551	4775	7856
25	7087	7087	4940	4983	8294
26	7354	7354	5207	5200	8733
27	7621	7621	5474	5425	9171
28	7888	7888	5741	5659	9610
29	8155	8155	6008	5901	10048
30	8422	8422	6275	6151	10487
31	8689	8689	6542	6409	10926
32	8956	8956	6809	6675	11364
33	9223	9223	7076	6941	11803
34	9490	9490	7343	7207	12241
35	9757	9757	7610	7473	12680
36	10025	10025	7877	7739	13119
37	10292	10292	8144	8005	13557
38	10559	10559	8411	8271	13996
39	10826	10826	8678	8537	14434
40	11093	11093	8945	8803	14873
41	11360	11360	9213	9069	15312
42	11627	11627	9480	9335	15750
43	11894	11894	9747	9601	16189
44	12161	12161	10014	9867	16627
45	12428	12428	10281	10133	17066
46	12695	12695	10548	10399	17505
47	12962	12962	10815	10665	17943
48	13229	13229	11082	10931	18382
49	13496	13496	11349	11197	18820
50	13763	13763	11616	11462	19259

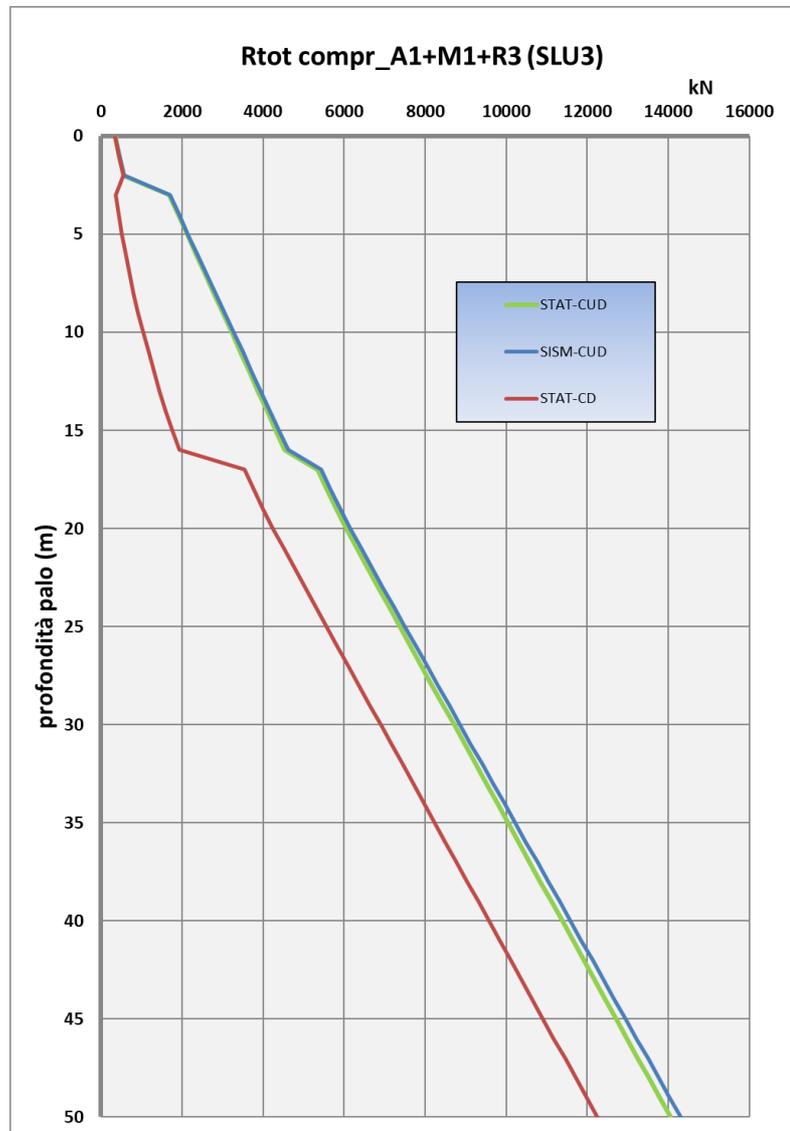


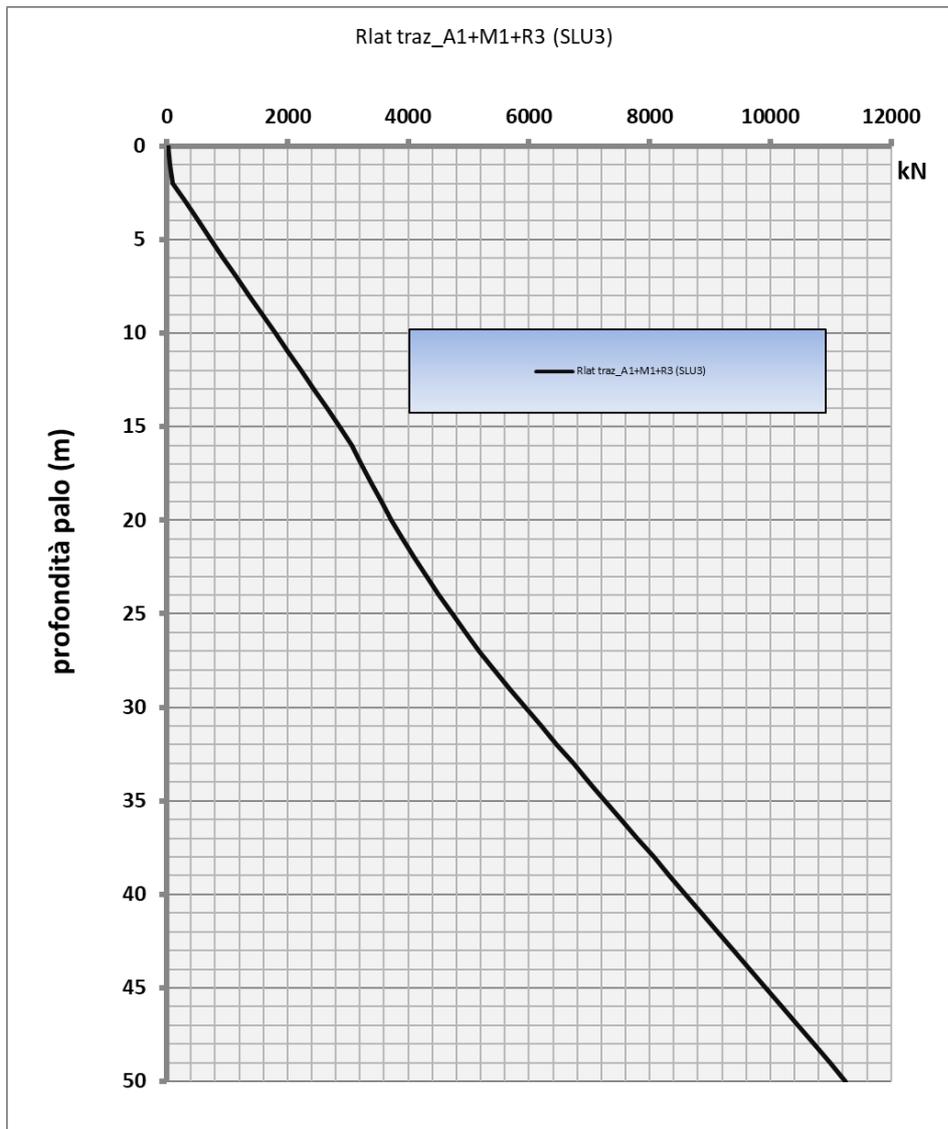


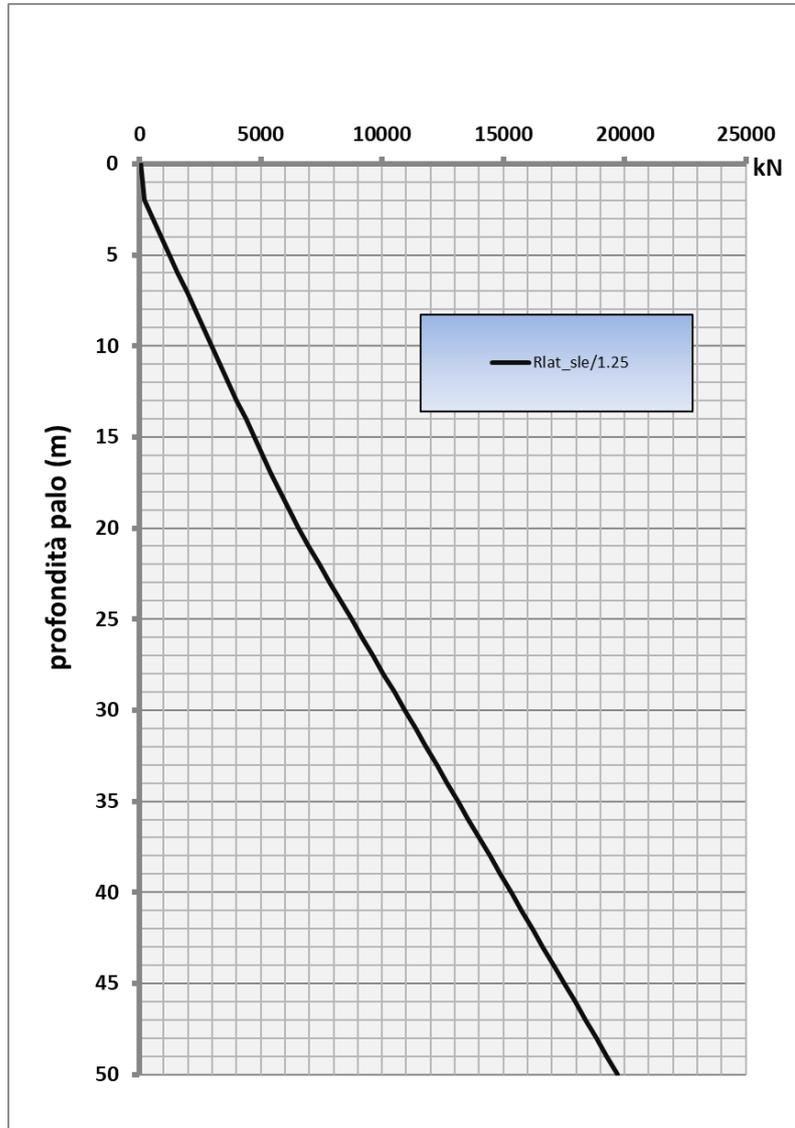


## 9.5 CURVE DI PORTANZA VERTICALE PILA 9 PALO DIAMETRO 1.2 M (SLU/SLV/SLE)

Z	Rtot_slu3	Rtot_slu3	Rtot_slu3 STA	Rtraz_slu3	Rlat_sle/1.25
m, da p.c.	kN	kN	kN	kN	kN
0	346	346	346	25	60
1	446	451	446	56	121
2	556	566	556	94	196
3	1686	1701	364	307	544
4	1906	1926	437	519	892
5	2125	2150	518	732	1240
6	2344	2375	607	945	1589
7	2564	2599	704	1158	1937
8	2783	2824	809	1370	2285
9	3002	3048	921	1583	2633
10	3222	3272	1041	1796	2981
11	3441	3497	1170	2009	3329
12	3660	3721	1306	2222	3678
13	3880	3946	1450	2434	4026
14	4099	4170	1601	2647	4374
15	4318	4395	1761	2860	4722
16	4538	4619	1929	3073	5070
17	5353	5439	3546	3223	5414
18	5572	5663	3766	3382	5778
19	5804	5901	3998	3549	6162
20	6049	6150	4242	3724	6566
21	6306	6413	4500	3907	6989
22	6573	6685	4767	4099	7428
23	6840	6957	5034	4299	7866
24	7107	7229	5301	4508	8305
25	7374	7501	5568	4725	8743
26	7641	7773	5835	4950	9182
27	7908	8046	6102	5183	9620
28	8175	8318	6369	5425	10059
29	8442	8590	6636	5675	10498
30	8709	8862	6903	5933	10936
31	8976	9134	7170	6199	11375
32	9244	9406	7437	6465	11813
33	9511	9678	7704	6731	12252
34	9778	9951	7971	6997	12691
35	10045	10223	8238	7263	13129
36	10312	10495	8506	7529	13568
37	10579	10767	8773	7795	14006
38	10846	11039	9040	8061	14445
39	11113	11311	9307	8327	14884
40	11380	11583	9574	8593	15322
41	11647	11856	9841	8859	15761
42	11914	12128	10108	9125	16199
43	12181	12400	10375	9391	16638
44	12448	12672	10642	9657	17077
45	12715	12944	10909	9923	17515
46	12982	13216	11176	10189	17954
47	13249	13489	11443	10455	18392
48	13516	13761	11710	10721	18831
49	13784	14033	11977	10987	19270
50	14051	14305	12244	11253	19708

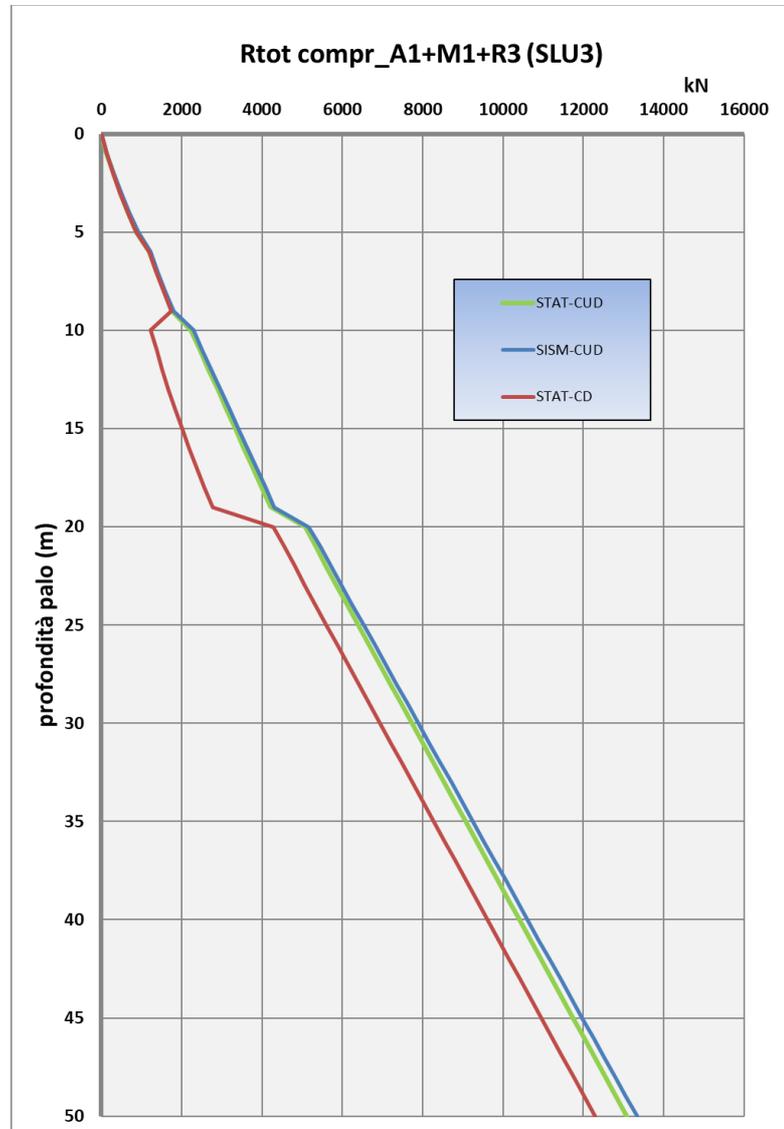


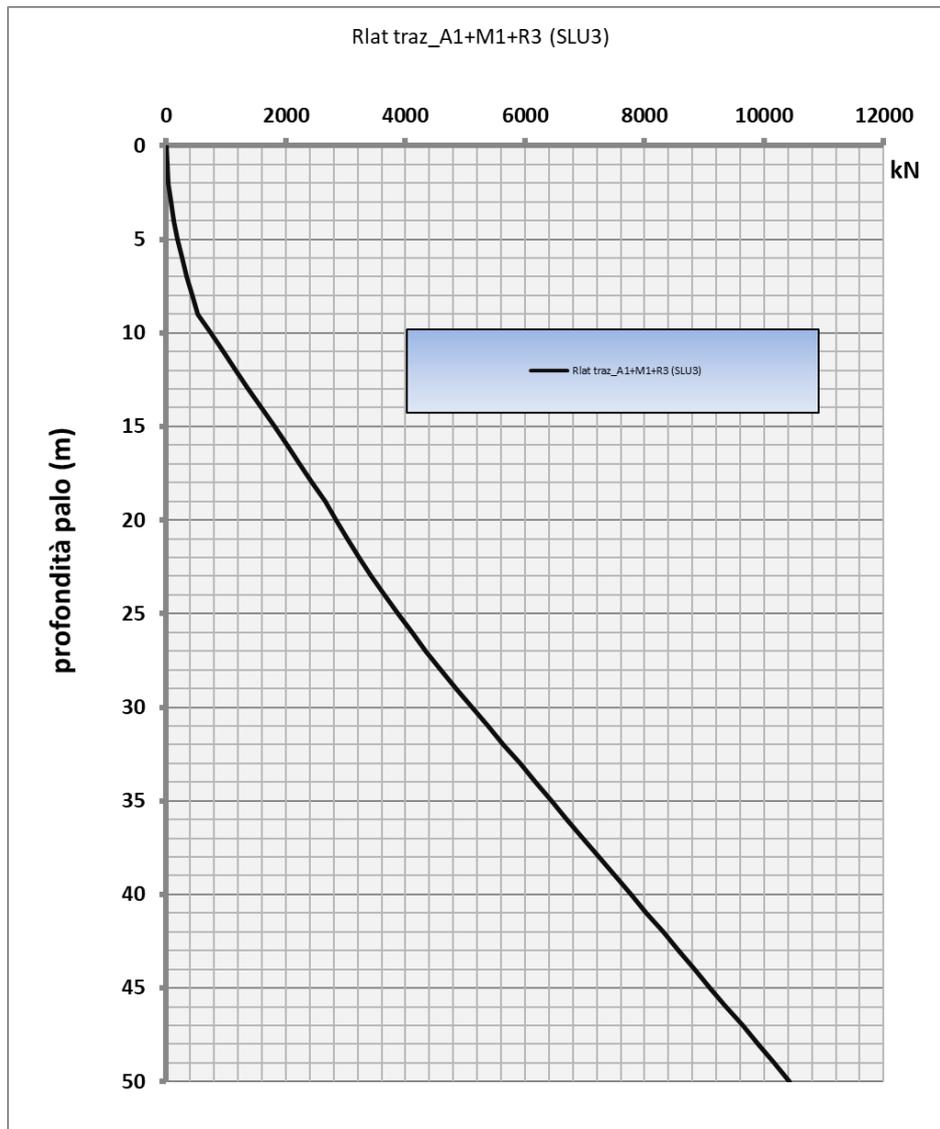


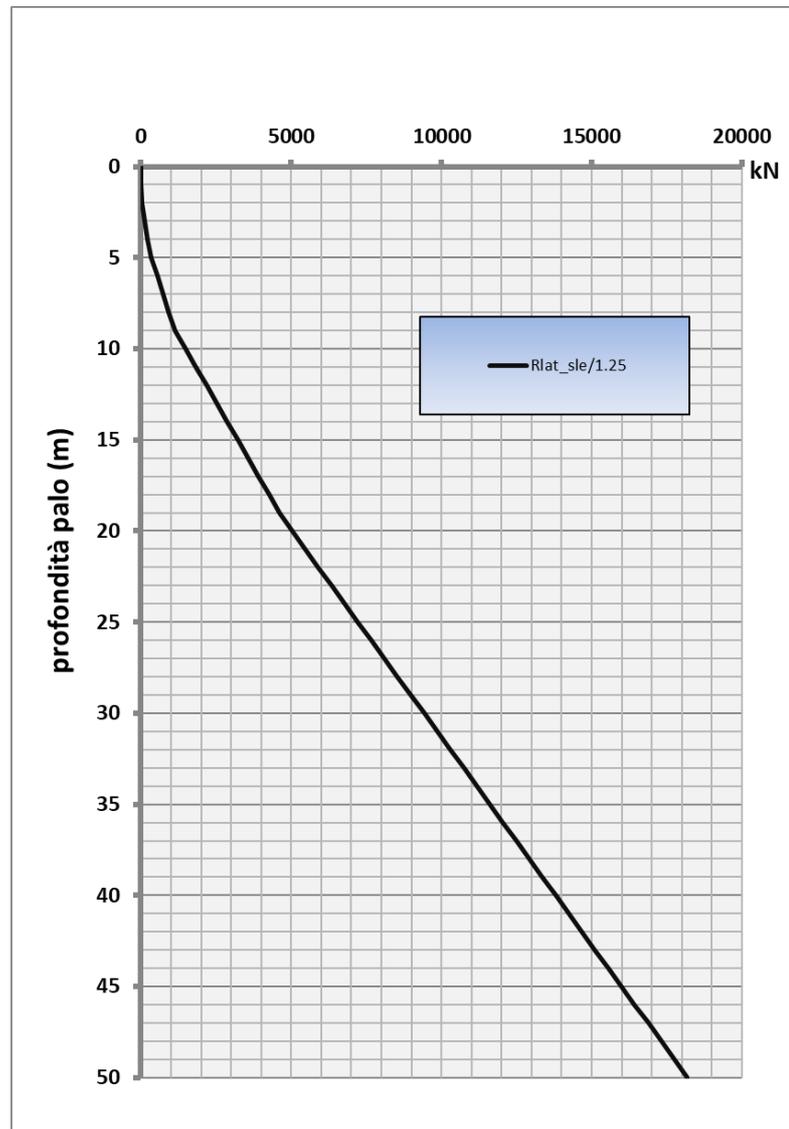


## 9.6 CURVE DI PORTANZA VERTICALE PILA 10 PALO DIAMETRO 1.2 M (SLU/SLV/SLE)

Z	Rtot_slu3	Rtot_slu3	Rtot_slu3 STA	Rtraz_slu3	Rlat_sle/1.25
m, da p.c.	kN	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0	0
1	136	145	136	13	7
2	291	308	291	38	44
3	465	491	465	75	112
4	659	693	659	126	209
5	871	914	871	188	335
6	1191	1222	1191	264	546
7	1368	1404	1368	345	727
8	1554	1595	1554	433	922
9	1750	1795	1750	527	1131
10	2239	2289	1235	739	1479
11	2458	2514	1374	952	1828
12	2677	2738	1521	1165	2176
13	2897	2963	1675	1378	2524
14	3116	3187	1837	1590	2872
15	3335	3412	2007	1803	3220
16	3555	3636	2185	2016	3568
17	3774	3860	2371	2229	3917
18	3993	4085	2565	2442	4265
19	4213	4309	2766	2654	4613
20	5068	5170	4275	2836	5032
21	5335	5442	4542	3026	5471
22	5602	5714	4809	3225	5909
23	5869	5986	5076	3432	6348
24	6136	6258	5343	3647	6786
25	6403	6530	5610	3870	7225
26	6670	6803	5878	4102	7664
27	6937	7075	6145	4342	8102
28	7204	7347	6412	4590	8541
29	7472	7619	6679	4847	8979
30	7739	7891	6946	5112	9418
31	8006	8163	7213	5378	9857
32	8273	8435	7480	5644	10295
33	8540	8708	7747	5910	10734
34	8807	8980	8014	6176	11172
35	9074	9252	8281	6442	11611
36	9341	9524	8548	6708	12050
37	9608	9796	8815	6974	12488
38	9875	10068	9082	7239	12927
39	10142	10341	9349	7505	13365
40	10409	10613	9616	7771	13804
41	10676	10885	9883	8037	14243
42	10943	11157	10150	8303	14681
43	11210	11429	10418	8569	15120
44	11477	11701	10685	8835	15558
45	11745	11973	10952	9101	15997
46	12012	12246	11219	9367	16435
47	12279	12518	11486	9633	16874
48	12546	12790	11753	9899	17313
49	12813	13062	12020	10165	17751
50	13080	13334	12287	10431	18190

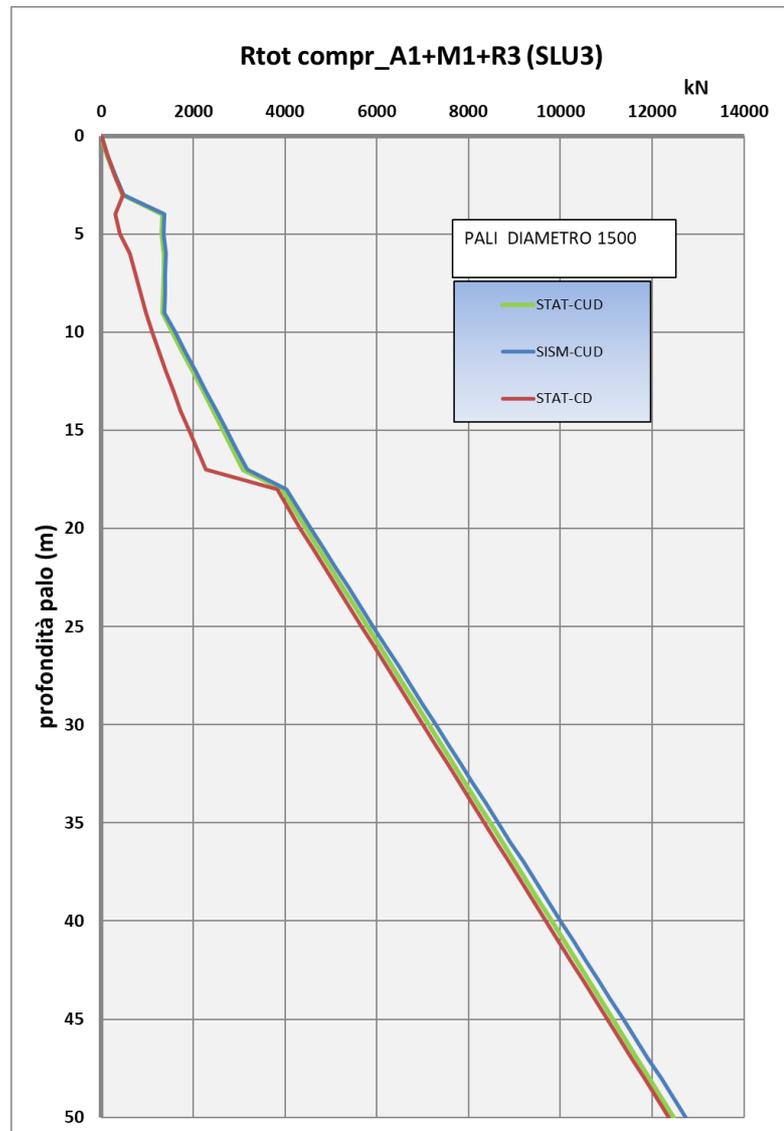


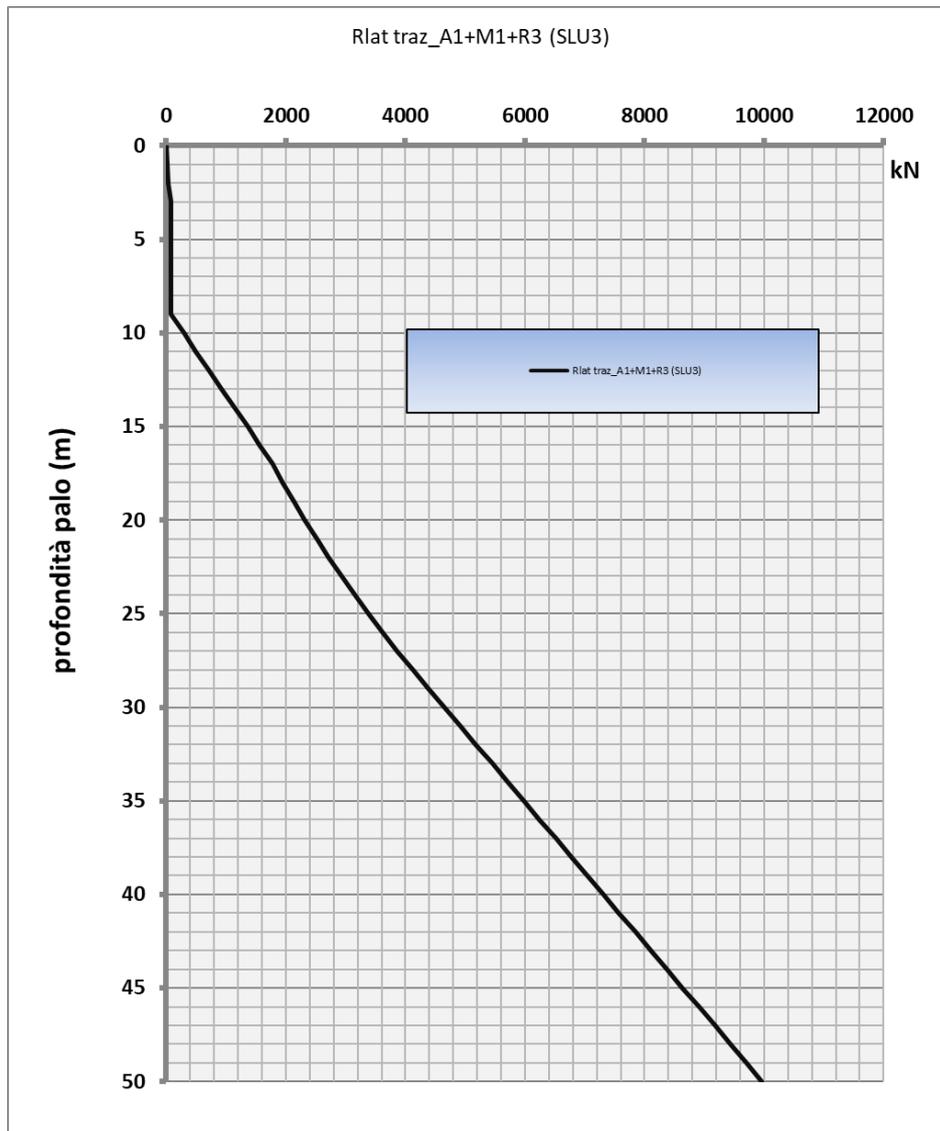


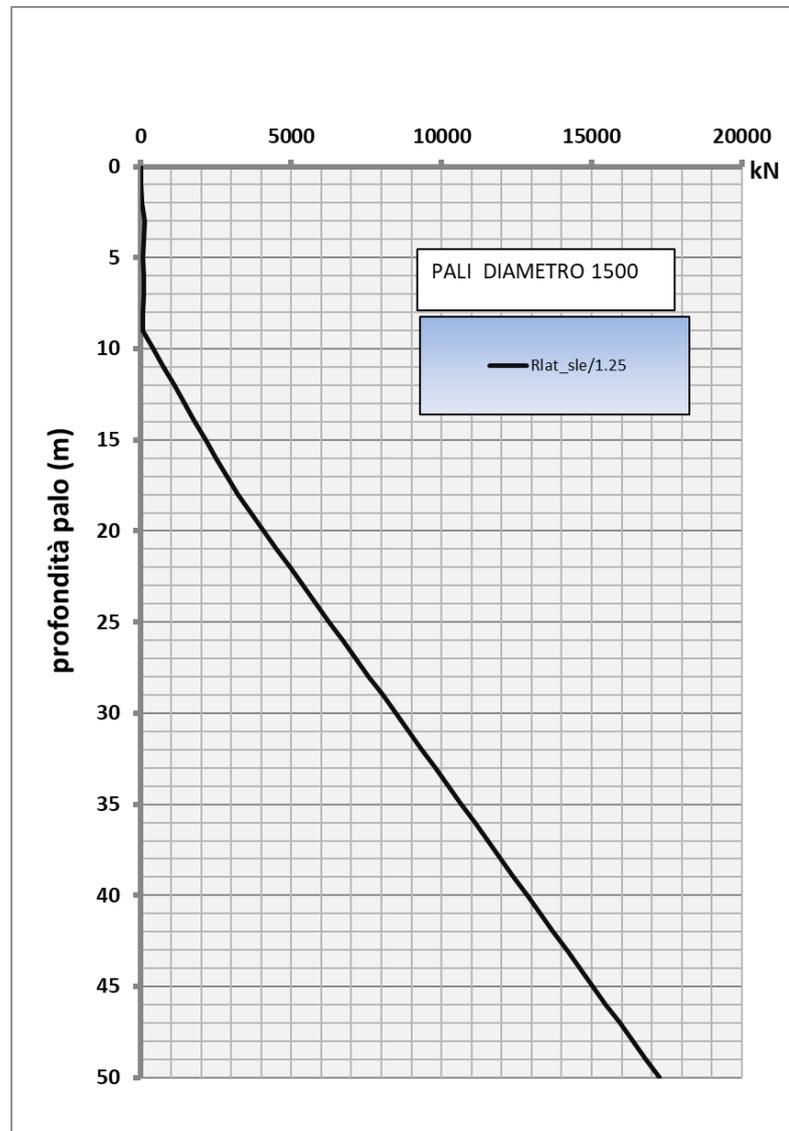


## 9.7 CURVE DI PORTANZA VERTICALE PILA 11 PALO DIAMETRO 1.2 M (SLU/SLV/SLE)

Z	Rtot_slu3	Rtot_slu3	Rtot_slu3 STA	Rtraz_slu3	Rlat_sle/1.25
m, da p.c.	kN	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0	0
1	136	145	136	13	7
2	291	308	291	38	44
3	465	491	465	75	112
4	1337	1370	299	75	89
5	1310	1352	408	75	66
6	1371	1402	619	75	98
7	1359	1395	731	75	84
8	1348	1388	851	75	71
9	1336	1381	978	75	57
10	1555	1606	1114	288	405
11	1774	1830	1257	501	754
12	1994	2055	1408	714	1102
13	2213	2279	1567	926	1450
14	2432	2503	1733	1139	1798
15	2652	2728	1908	1352	2146
16	2871	2952	2090	1565	2494
17	3090	3177	2281	1778	2843
18	3947	4039	3825	1949	3237
19	4199	4295	4077	2129	3651
20	4463	4564	4341	2317	4085
21	4730	4837	4608	2513	4524
22	4997	5109	4875	2718	4963
23	5264	5381	5142	2931	5401
24	5531	5653	5409	3152	5840
25	5798	5925	5676	3382	6278
26	6065	6197	5943	3620	6717
27	6332	6469	6210	3866	7155
28	6599	6742	6478	4121	7594
29	6866	7014	6745	4383	8033
30	7133	7286	7012	4649	8471
31	7400	7558	7279	4915	8910
32	7667	7830	7546	5181	9348
33	7934	8102	7813	5447	9787
34	8202	8374	8080	5713	10226
35	8469	8647	8347	5979	10664
36	8736	8919	8614	6245	11103
37	9003	9191	8881	6511	11541
38	9270	9463	9148	6777	11980
39	9537	9735	9415	7043	12419
40	9804	10007	9682	7309	12857
41	10071	10280	9949	7575	13296
42	10338	10552	10216	7841	13734
43	10605	10824	10483	8107	14173
44	10872	11096	10751	8373	14612
45	11139	11368	11018	8639	15050
46	11406	11640	11285	8905	15489
47	11673	11912	11552	9171	15927
48	11940	12185	11819	9437	16366
49	12207	12457	12086	9703	16805
50	12475	12729	12353	9969	17243

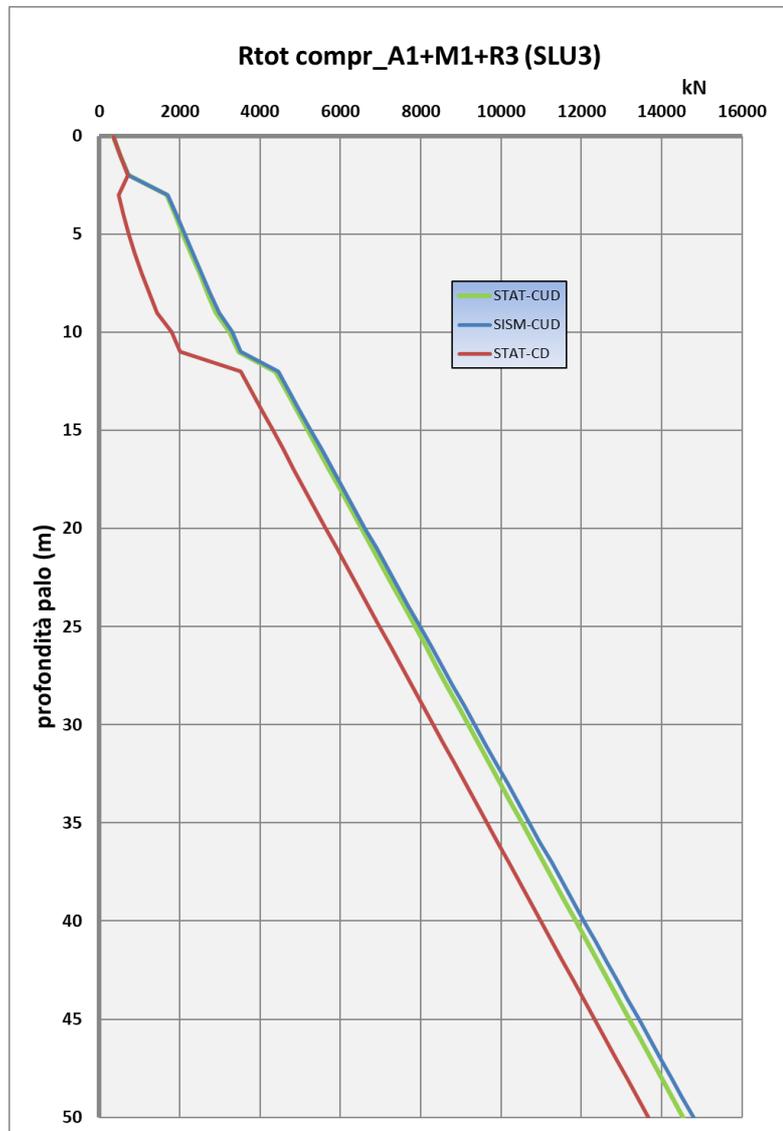


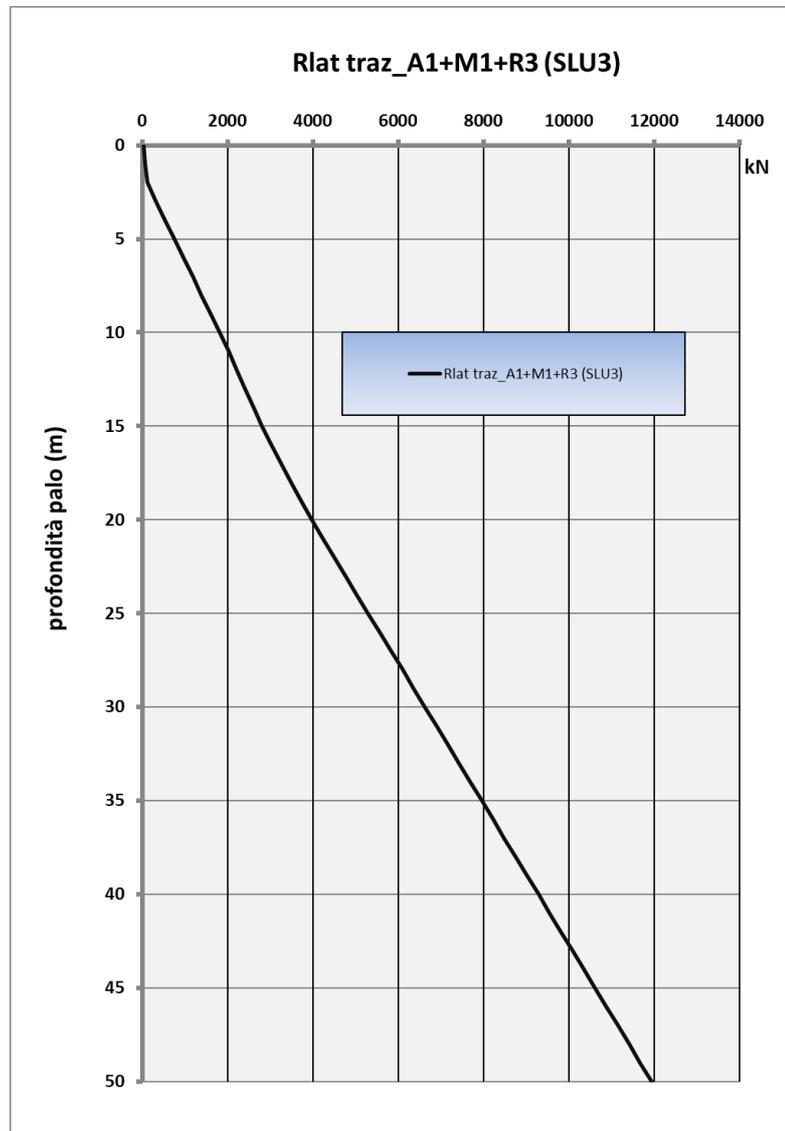


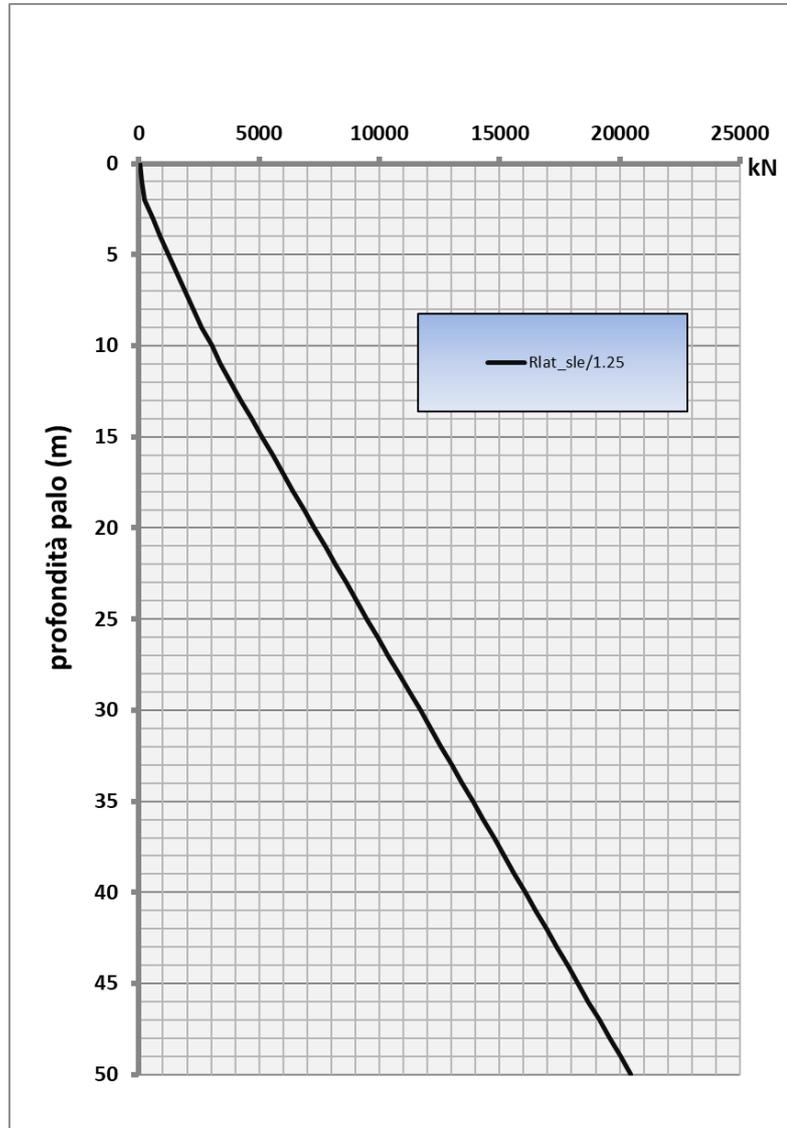


## 9.8 CURVE DI PORTANZA VERTICALE SPALLA B PALO DIAMETRO 1.2 M (SLU/SLV/SLE)

Z	Rtot_slu3	Rtot_slu3	Rtot_slu3 STA	Rtraz_slu3	Rlat_sle/1.25
m, da p.c.	kN	kN	kN	kN	kN
0	346	346	346	25	60
1	520	528	520	63	127
2	713	730	713	113	224
3	1671	1697	475	326	563
4	1876	1910	598	539	902
5	2081	2123	736	751	1241
6	2285	2336	890	964	1580
7	2490	2549	1059	1177	1919
8	2695	2763	1243	1390	2259
9	2899	2976	1443	1603	2598
10	3251	3302	1805	1815	3027
11	3470	3526	2008	2028	3375
12	4386	4447	3512	2211	3798
13	4653	4719	3779	2403	4236
14	4920	4991	4046	2603	4675
15	5187	5263	4313	2811	5114
16	5454	5535	4580	3027	5552
17	5721	5808	4847	3252	5991
18	5988	6080	5114	3485	6429
19	6255	6352	5381	3727	6868
20	6522	6624	5648	3976	7307
21	6789	6896	5915	4234	7745
22	7056	7168	6182	4500	8184
23	7324	7441	6449	4766	8622
24	7591	7713	6716	5032	9061
25	7858	7985	6983	5298	9500
26	8125	8257	7251	5564	9938
27	8392	8529	7518	5830	10377
28	8659	8801	7785	6096	10815
29	8926	9073	8052	6362	11254
30	9193	9346	8319	6628	11693
31	9460	9618	8586	6894	12131
32	9727	9890	8853	7160	12570
33	9994	10162	9120	7426	13008
34	10261	10434	9387	7692	13447
35	10528	10706	9654	7958	13886
36	10795	10978	9921	8224	14324
37	11062	11251	10188	8490	14763
38	11329	11523	10455	8756	15201
39	11597	11795	10722	9022	15640
40	11864	12067	10989	9288	16079
41	12131	12339	11256	9554	16517
42	12398	12611	11524	9820	16956
43	12665	12883	11791	10086	17394
44	12932	13156	12058	10352	17833
45	13199	13428	12325	10618	18272
46	13466	13700	12592	10884	18710
47	13733	13972	12859	11150	19149
48	14000	14244	13126	11416	19587
49	14267	14516	13393	11682	20026
50	14534	14789	13660	11948	20464





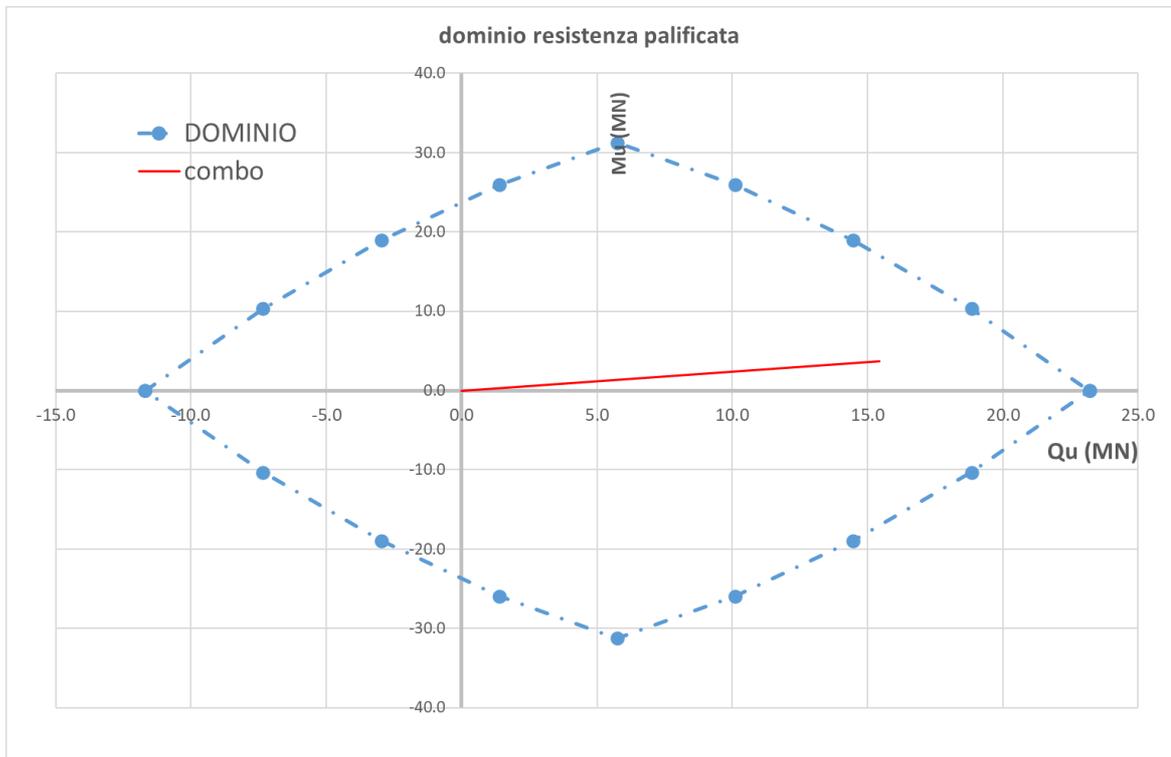


## 10 CAPACITÀ PORTANTE DEL GRUPPO DI PALI PER CARICO VERTICALE ECCENTRICO – DOMINI DI RESISTENZA DELLA PALIFICATA

### SPALLA A

<b>n° pali</b>	<b>8</b>				
<b>AZIONI</b>		<i>long</i>	<i>trasv</i>		
<b>combo</b>	<b>Qu</b>	<b>Muy</b>	<b>Mux</b>	<b>M</b>	<b>alfaM</b>
-	kN	kNm	kNm	kNm	rad
SLU1	15450	3705	395	3726	0.11

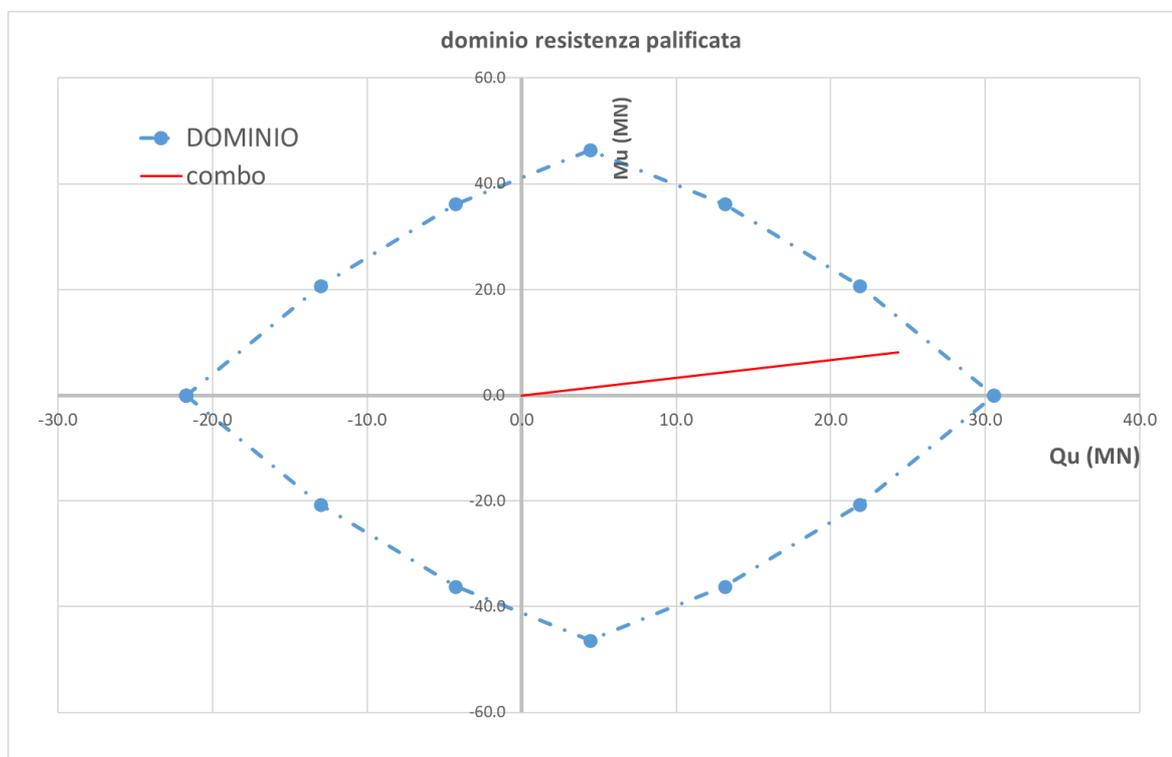
<b>i</b>	<b>Nu</b>	<b>Su</b>	<b>Myc</b>	<b>Myt</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>ξ calc</b>	<b>ξ</b>
-	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	m
1	2900	1463	0	0	-1.80	-5.40	-1.22	-2.36
2	2900	1463	0	0	1.80	-5.40	2.36	-1.98
3	2900	1463	0	0	-1.80	-1.80	-1.60	-1.60
4	2900	1463	0	0	1.80	-1.80	1.98	-1.22
5	2900	1463	0	0	-1.80	1.80	-1.98	1.22
6	2900	1463	0	0	1.80	1.80	1.60	1.60
7	2900	1463	0	0	-1.80	5.40	-2.36	1.98
8	2900	1463	0	0	1.80	5.40	1.22	2.36



PILA 1

n° pali	6				
<b>AZIONI</b>		<b>long</b>	<b>trasv</b>		
<b>combo</b>	<b>Qu</b>	<b>Muy</b>	<b>Mux</b>	<b>M</b>	<b>alfaM</b>
-	kN	kNm	kNm	kNm	rad
SLU_2	24364	8031	1372	8147	0.17

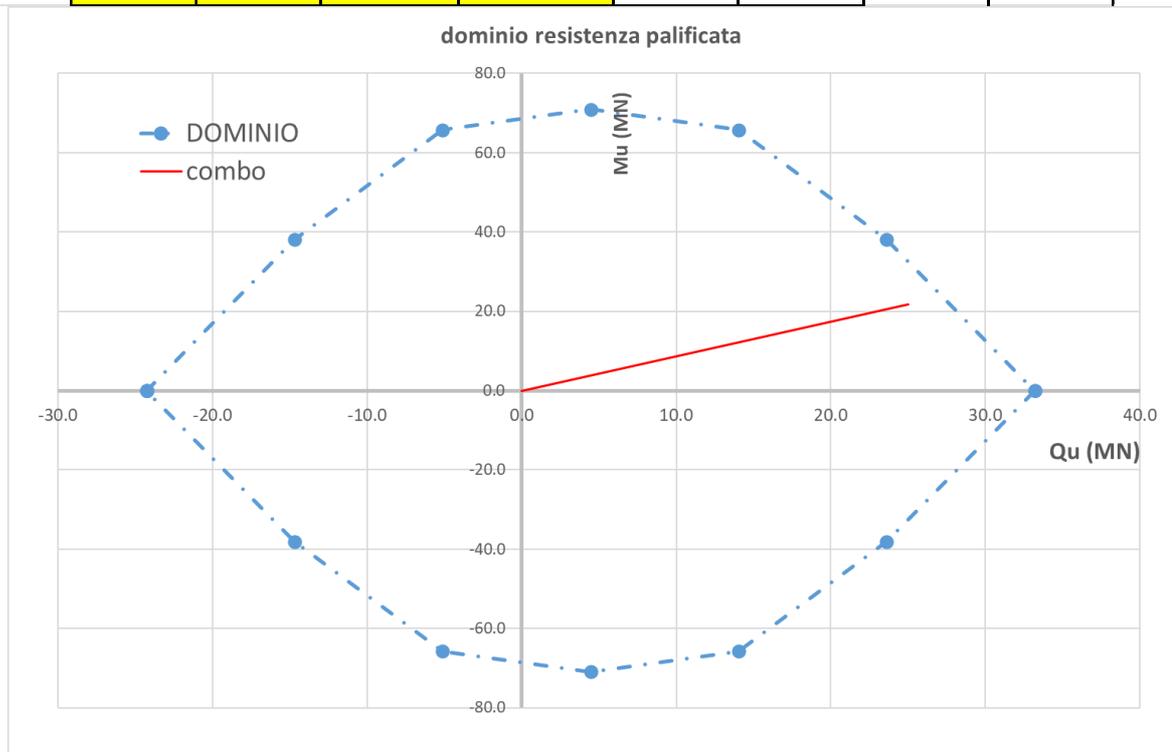
i	Nu	Su	Myc	Myt	X	Y	ξ calc	ξ
-	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	m
1	5091	3617	0	0	-1.80	-3.60	-1.17	-2.38
2	5091	3617	0	0	1.80	-3.60	2.38	-1.77
3	5091	3617	0	0	-1.80	0.00	-1.77	-1.17
4	5091	3617	0	0	1.80	0.00	1.77	1.17
5	5091	3617	0	0	-1.80	3.60	-2.38	1.77
6	5091	3617	0	0	1.80	3.60	1.17	2.38



PILA 2

n° pali	6				
<b>AZIONI</b>		<b>long</b>	<b>trav</b>		
<b>combo</b>	<b>Qu</b>	<b>Muy</b>	<b>Mux</b>	<b>M</b>	<b>alfaM</b>
-	kN	kNm	kNm	kNm	rad
SLU_2	25020	6544	20796	21801	1.27

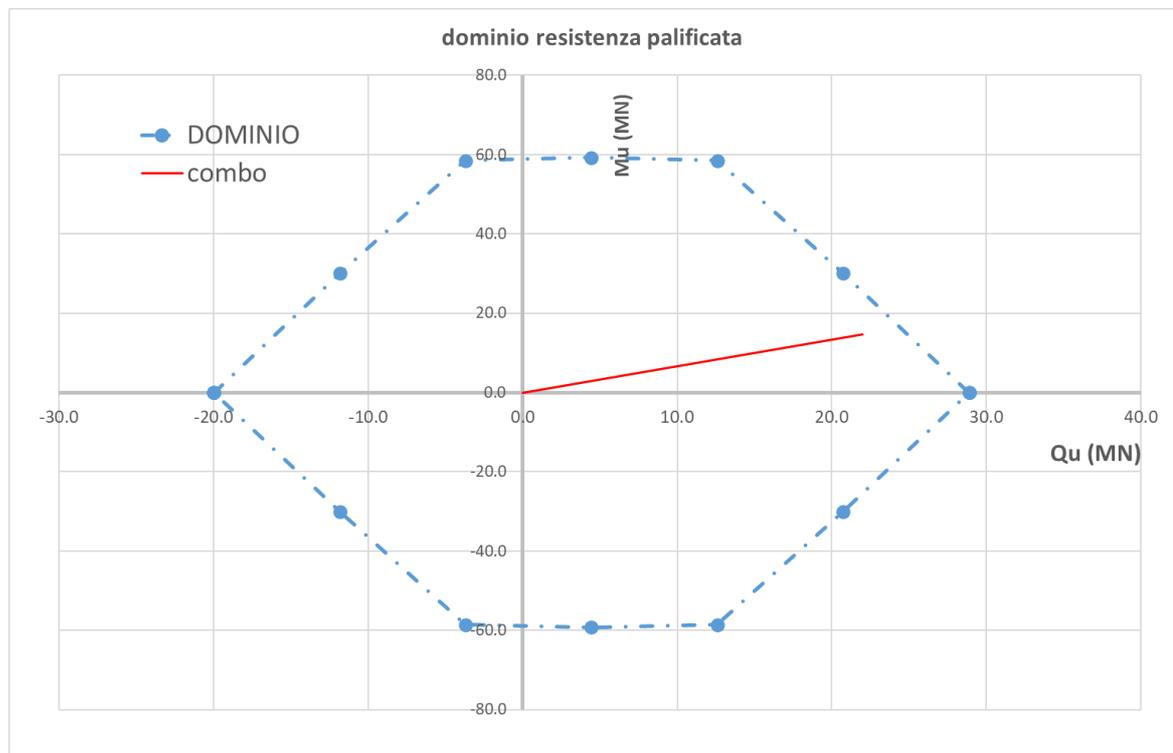
i	Nu	Su	Myc	Myt	X	Y	ξ calc	ξ
-	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	m
1	5529	4043	0	0	-1.80	-3.60	2.89	-3.97
2	5529	4043	0	0	1.80	-3.60	3.97	-2.89
3	5529	4043	0	0	-1.80	0.00	-0.54	-0.54
4	5529	4043	0	0	1.80	0.00	0.54	0.54
5	5529	4043	0	0	-1.80	3.60	-3.97	2.89
6	5529	4043	0	0	1.80	3.60	-2.89	3.97



PILA 3

n° pali	6				
<b>AZIONI</b>		<b>long</b>	<b>trav</b>		
<b>combo</b>	<b>Qu</b>	<b>Muy</b>	<b>Mux</b>	<b>M</b>	<b>alfaM</b>
-	kN	kNm	kNm	kNm	rad
<b>SLU_2</b>	<b>21980</b>	<b>752</b>	<b>14559</b>	<b>14578</b>	<b>1.52</b>

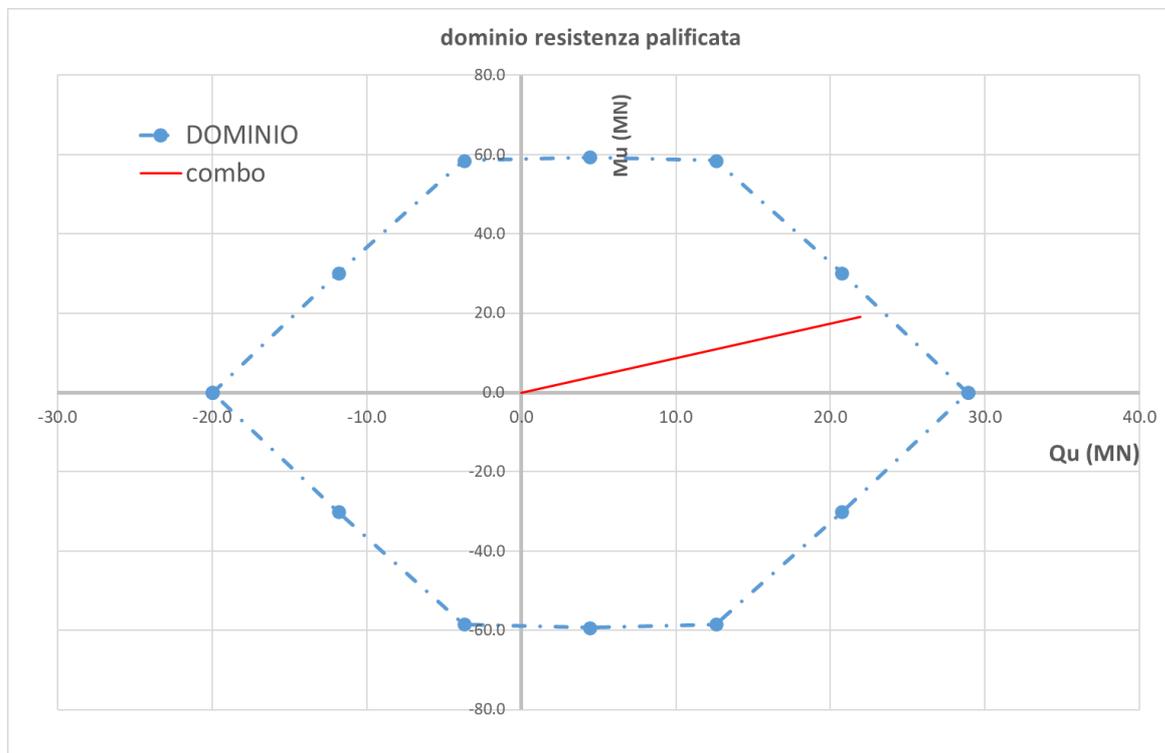
i	Nu	Su	Myc	Myt	X	Y	ξ calc	ξ
-	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	m
1	4811	3329	0	0	-1.80	-3.60	3.50	-3.69
2	4811	3329	0	0	1.80	-3.60	3.69	-3.50
3	4811	3329	0	0	-1.80	0.00	-0.09	-0.09
4	4811	3329	0	0	1.80	0.00	0.09	0.09
5	4811	3329	0	0	-1.80	3.60	-3.69	3.50
6	4811	3329	0	0	1.80	3.60	-3.50	3.69



PILA 4

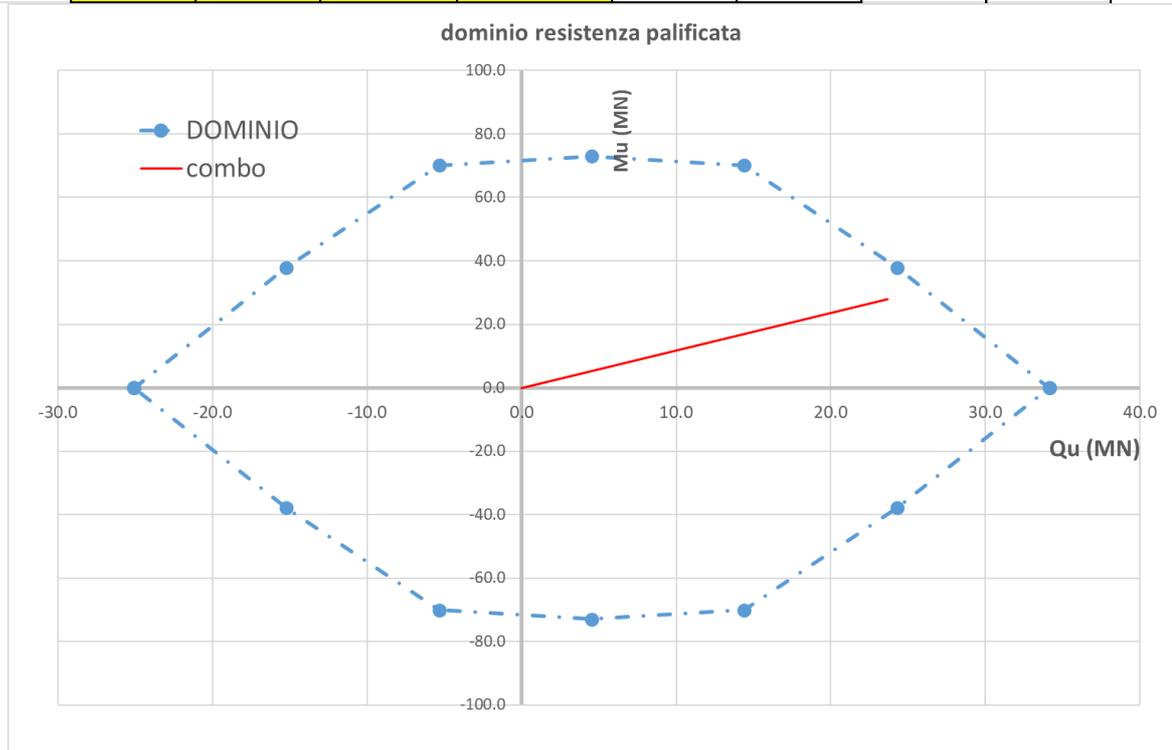
n° pali	6				
<b>AZIONI</b>		<b>long</b>	<b>trav</b>		
<b>combo</b>	<b>Qu</b>	<b>Muy</b>	<b>Mux</b>	<b>M</b>	<b>alfaM</b>
-	kN	kNm	kNm	kNm	rad
<b>SLU_2</b>	<b>21955</b>	<b>1138</b>	<b>19069</b>	<b>19103</b>	<b>1.51</b>

i	Nu	Su	Myc	Myt	X	Y	ξ calc	ξ
-	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	m
1	4811	3329	0	0	-1.80	-3.60	3.49	-3.70
2	4811	3329	0	0	1.80	-3.60	3.70	-3.49
3	4811	3329	0	0	-1.80	0.00	-0.11	-0.11
4	4811	3329	0	0	1.80	0.00	0.11	0.11
5	4811	3329	0	0	-1.80	3.60	-3.70	3.49
6	4811	3329	0	0	1.80	3.60	-3.49	3.70



PILA 5

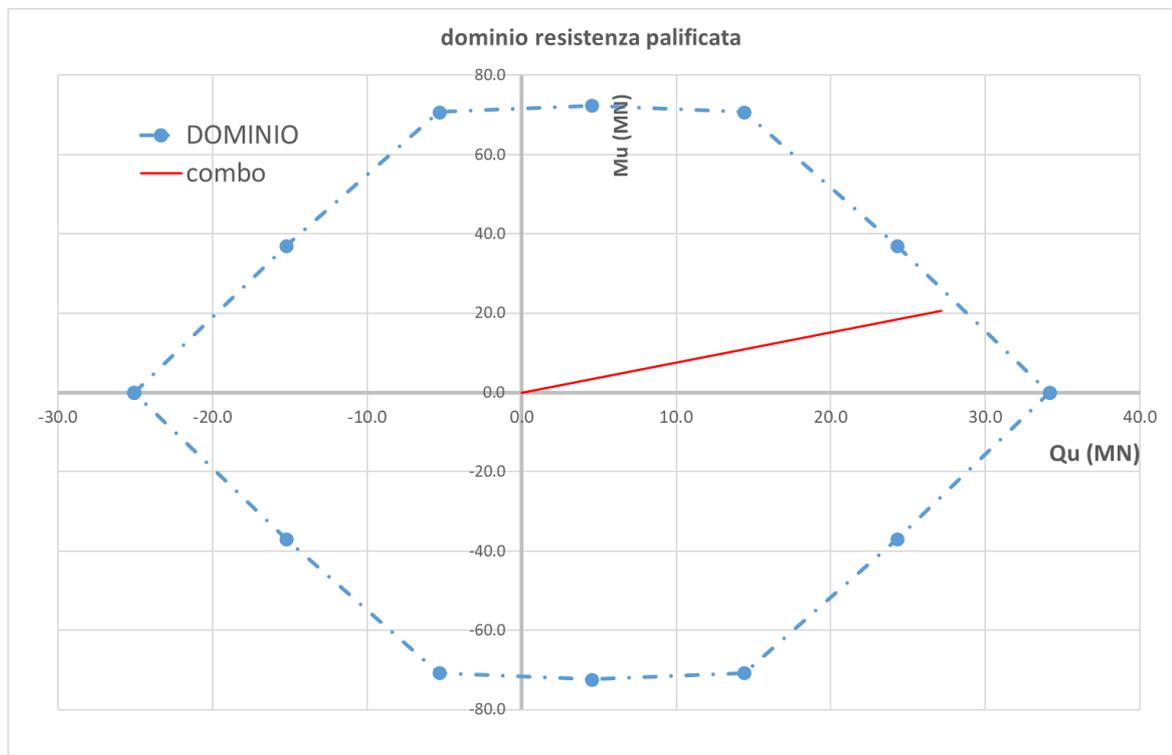
n° pali	6								
<b>AZIONI</b>		<b>long</b>	<b>trav</b>						
<b>combo</b>	<b>Qu</b>	<b>Muy</b>	<b>Mux</b>	<b>M</b>	<b>alfaM</b>				
-	kN	kNm	kNm	kNm	rad				
<b>SLU_2</b>	<b>23676</b>	<b>4407</b>	<b>27463</b>	<b>27814</b>	<b>1.41</b>				
<b>i</b>	<b>Nu</b>	<b>Su</b>	<b>Myc</b>	<b>Myt</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>ξ calc</b>	<b>ξ</b>	
-	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	m	
1	5688	4180	0	0	-1.80	-3.60	3.27	-3.84	
2	5688	4180	0	0	1.80	-3.60	3.84	-3.27	
3	5688	4180	0	0	-1.80	0.00	-0.29	-0.29	
4	5688	4180	0	0	1.80	0.00	0.29	0.29	
5	5688	4180	0	0	-1.80	3.60	-3.84	3.27	
6	5688	4180	0	0	1.80	3.60	-3.27	3.84	



PILA 6

n° pali	6				
<b>AZIONI</b>		<b>long</b>	<b>trav</b>		
<b>combo</b>	<b>Qu</b>	<b>Muy</b>	<b>Mux</b>	<b>M</b>	<b>alfaM</b>
-	kN	kNm	kNm	kNm	rad
<b>SLU_2</b>	<b>27115</b>	<b>1872</b>	<b>20439</b>	<b>20525</b>	<b>1.48</b>

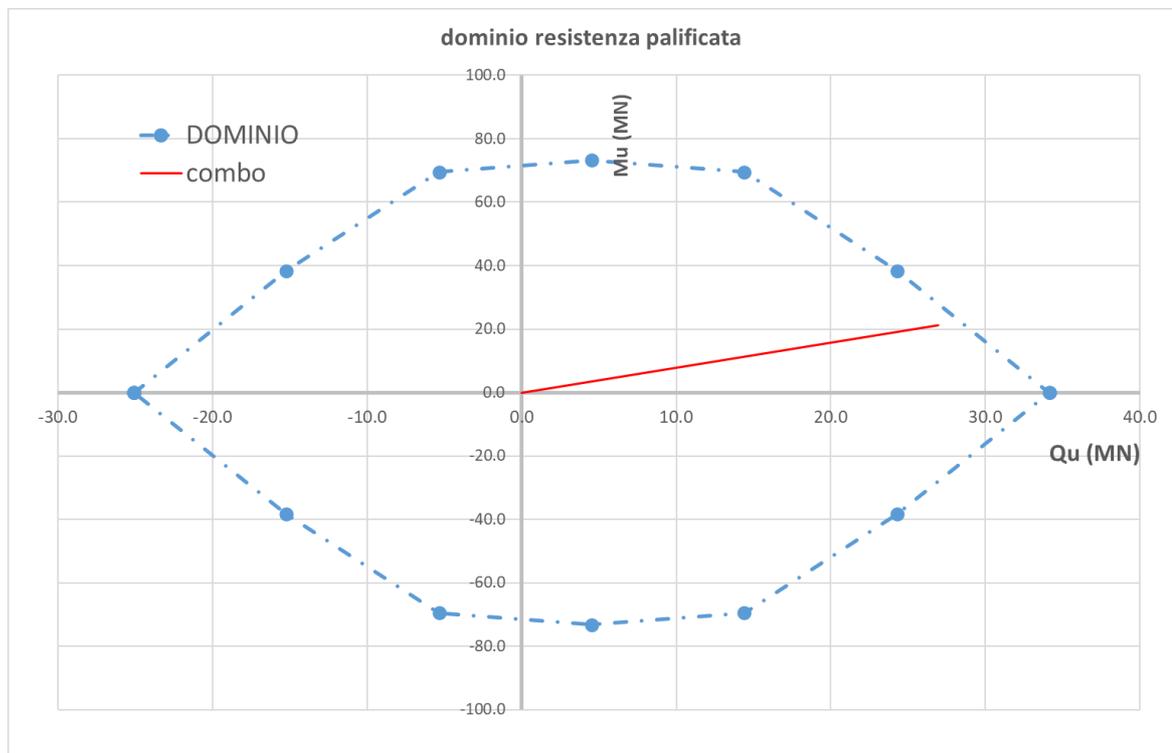
i	Nu	Su	Myc	Myt	X	Y	ξ calc	ξ
-	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	m
1	5688	4180	0	0	-1.80	-3.60	3.42	-3.75
2	5688	4180	0	0	1.80	-3.60	3.75	-3.42
3	5688	4180	0	0	-1.80	0.00	-0.16	-0.16
4	5688	4180	0	0	1.80	0.00	0.16	0.16
5	5688	4180	0	0	-1.80	3.60	-3.75	3.42
6	5688	4180	0	0	1.80	3.60	-3.42	3.75



PILA 7

n° pali	6				
<b>AZIONI</b>		<b>long</b>	<b>trav</b>		
<b>combo</b>	<b>Qu</b>	<b>Muy</b>	<b>Mux</b>	<b>M</b>	<b>alfaM</b>
-	kN	kNm	kNm	kNm	rad
SLU_2	26926	4381	20848	21303	1.36

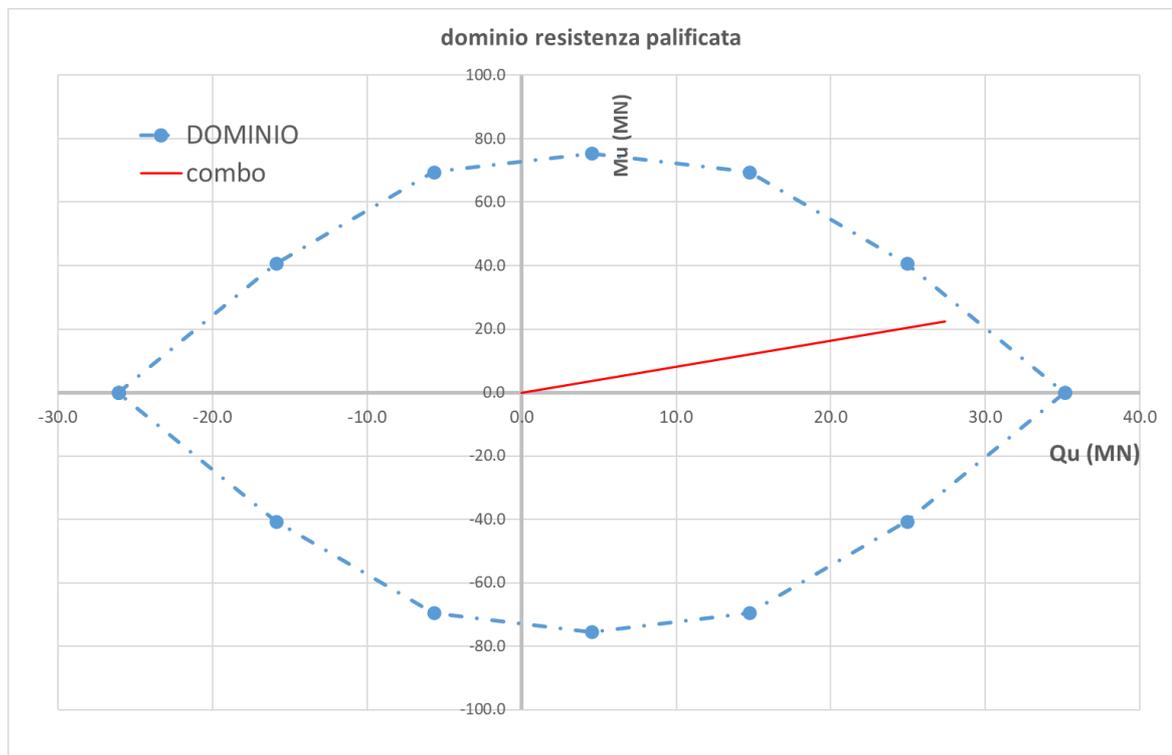
i	Nu	Su	Myc	Myt	X	Y	ξ calc	ξ
-	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	m
1	5688	4180	0	0	-1.80	-3.60	3.15	-3.89
2	5688	4180	0	0	1.80	-3.60	3.89	-3.15
3	5688	4180	0	0	-1.80	0.00	-0.37	-0.37
4	5688	4180	0	0	1.80	0.00	0.37	0.37
5	5688	4180	0	0	-1.80	3.60	-3.89	3.15
6	5688	4180	0	0	1.80	3.60	-3.15	3.89



PILA 8

n° pali	6				
<b>AZIONI</b>		<b>long</b>	<b>trav</b>		
<b>combo</b>	<b>Qu</b>	<b>Muy</b>	<b>Mux</b>	<b>M</b>	<b>alfaM</b>
-	kN	kNm	kNm	kNm	rad
SLU_2	27398	7272	21191	22404	1.24

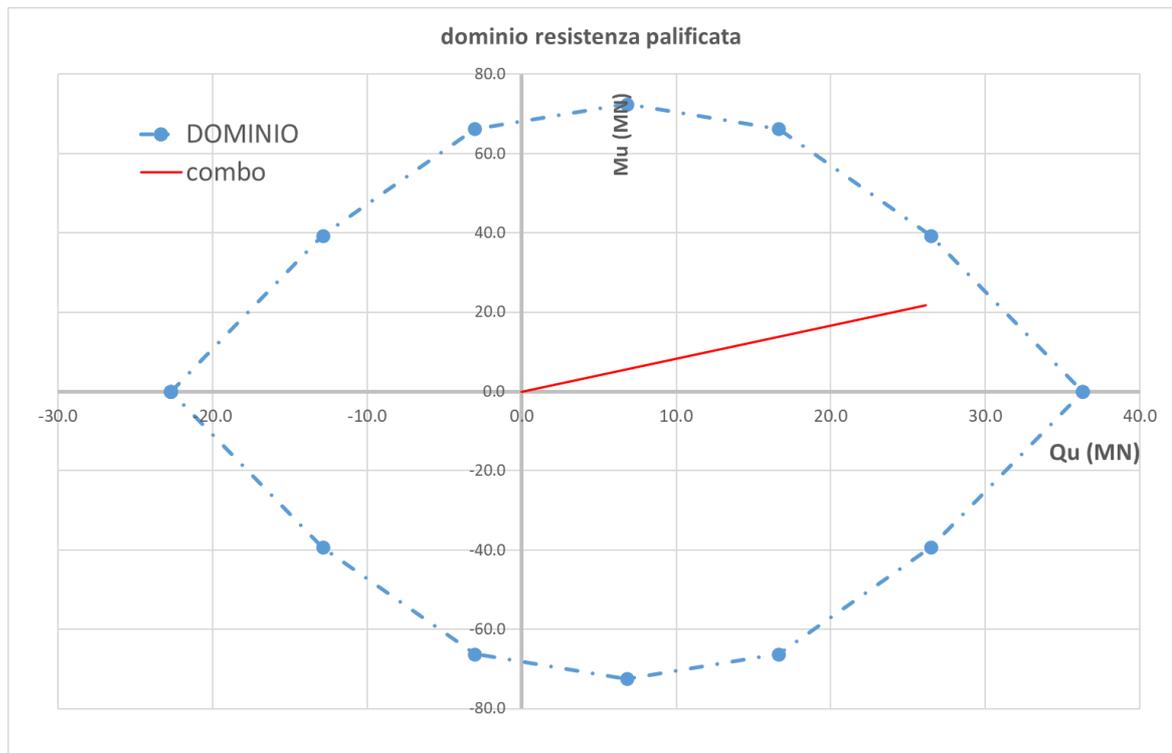
i	Nu	Su	Myc	Myt	X	Y	ξ calc	ξ
-	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	m
1	5854	4349	0	0	-1.80	-3.60	2.82	-3.99
2	5854	4349	0	0	1.80	-3.60	3.99	-2.82
3	5854	4349	0	0	-1.80	0.00	-0.58	-0.58
4	5854	4349	0	0	1.80	0.00	0.58	0.58
5	5854	4349	0	0	-1.80	3.60	-3.99	2.82
6	5854	4349	0	0	1.80	3.60	-2.82	3.99



PILA 9

n° pali	6				
<b>AZIONI</b>		<b>long</b>	<b>trav</b>		
<b>combo</b>	<b>Qu</b>	<b>Muy</b>	<b>Mux</b>	<b>M</b>	<b>alfaM</b>
-	kN	kNm	kNm	kNm	rad
SLU_2	26155	7665	20342	21738	1.21

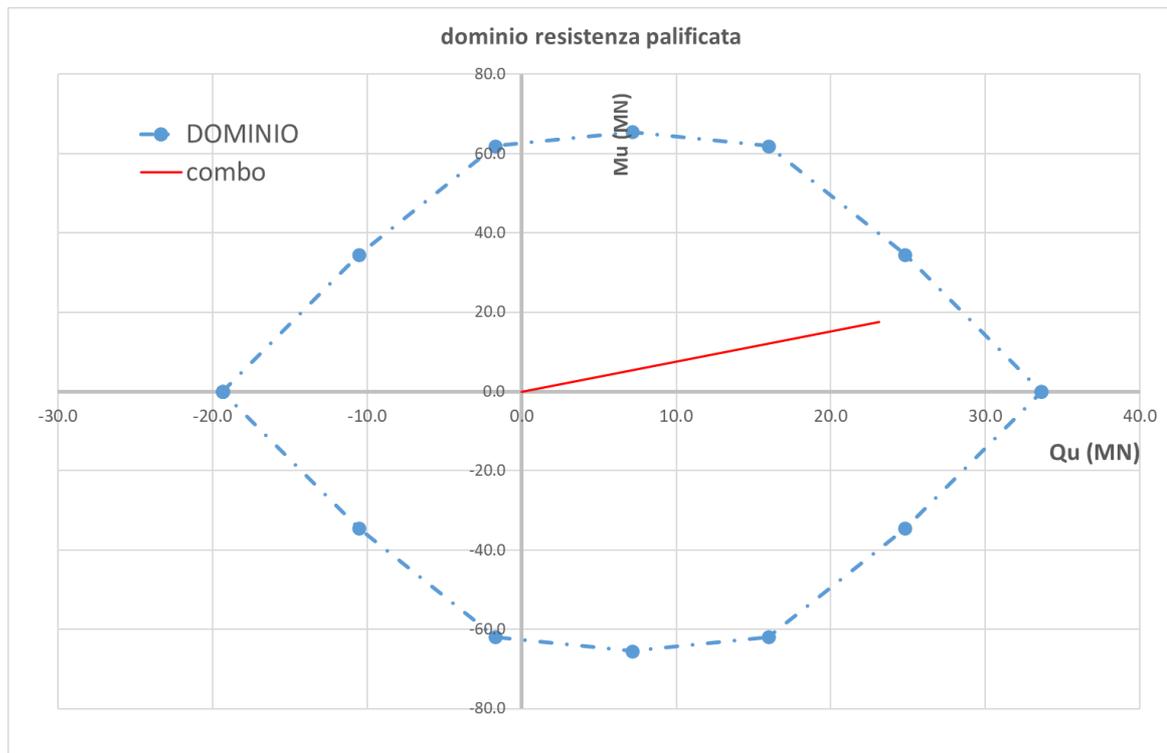
i	Nu	Su	Myc	Myt	X	Y	ξ calc	ξ
-	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	m
1	6046	3783	0	0	-1.80	-3.60	2.73	-4.00
2	6046	3783	0	0	1.80	-3.60	4.00	-2.73
3	6046	3783	0	0	-1.80	0.00	-0.63	-0.63
4	6046	3783	0	0	1.80	0.00	0.63	0.63
5	6046	3783	0	0	-1.80	3.60	-4.00	2.73
6	6046	3783	0	0	1.80	3.60	-2.73	4.00



PILA 10

<b>n° pali</b>	<b>6</b>				
<b>AZIONI</b>		<b>long</b>	<b>trav</b>		
<b>combo</b>	<b>Qu</b>	<b>Muy</b>	<b>Mux</b>	<b>M</b>	<b>alfaM</b>
-	kN	kNm	kNm	kNm	rad
<b>SLU_2</b>	<b>23125</b>	<b>3942</b>	<b>17178</b>	<b>17625</b>	<b>1.35</b>

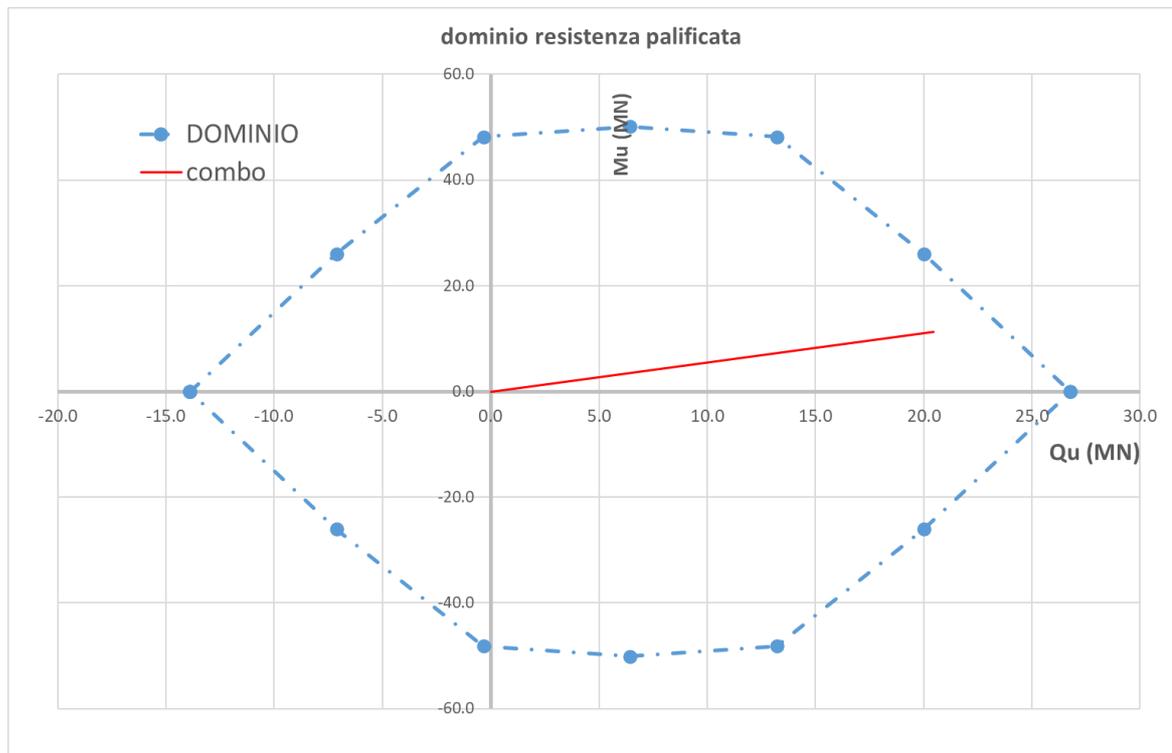
<b>i</b>	<b>Nu</b>	<b>Su</b>	<b>Myc</b>	<b>Myt</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>ξ calc</b>	<b>ξ</b>
-	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	m
1	5602	3225	0	0	-1.80	-3.60	3.11	-3.91
2	5602	3225	0	0	1.80	-3.60	3.91	-3.11
3	5602	3225	0	0	-1.80	0.00	-0.40	-0.40
4	5602	3225	0	0	1.80	0.00	0.40	0.40
5	5602	3225	0	0	-1.80	3.60	-3.91	3.11
6	5602	3225	0	0	1.80	3.60	-3.11	3.91



PILA 11

n° pali	6				
<b>AZIONI</b>		<b>long</b>	<b>trav</b>		
<b>combo</b>	<b>Qu</b>	<b>Muy</b>	<b>Mux</b>	<b>M</b>	<b>alfaM</b>
-	kN	kNm	kNm	kNm	rad
<b>SLU_2</b>	<b>20438</b>	<b>1818</b>	<b>11168</b>	<b>11315</b>	<b>1.41</b>

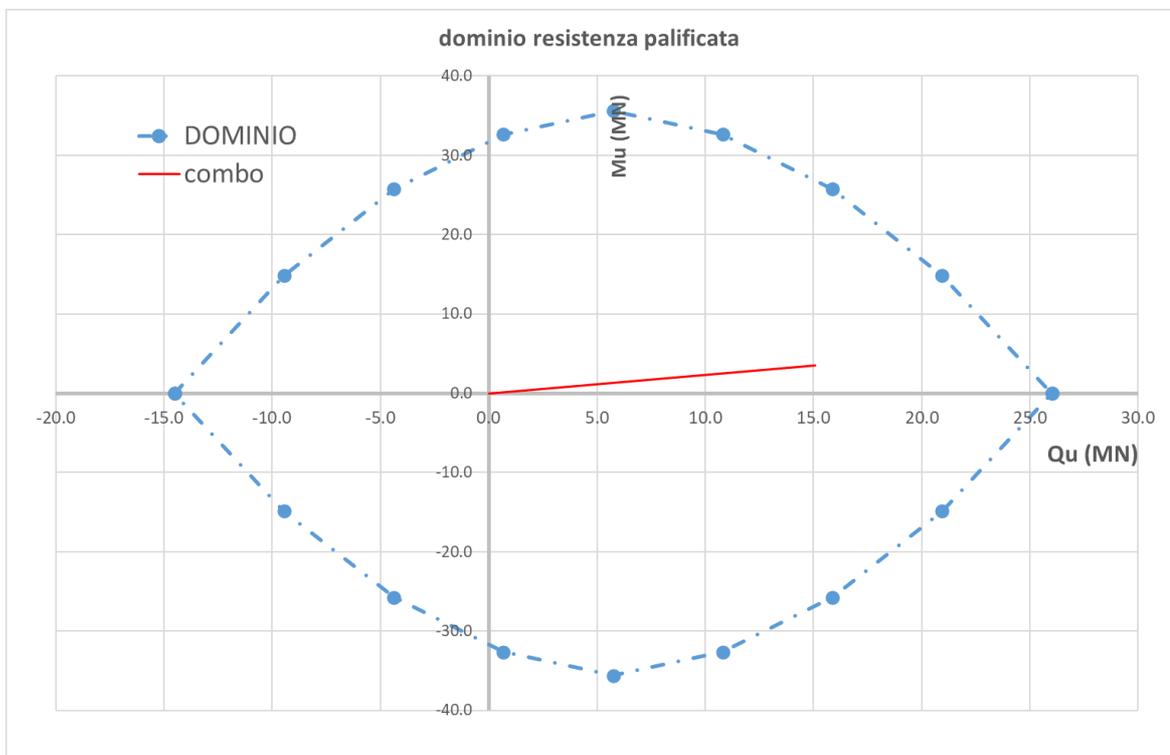
i	Nu	Su	Myc	Myt	X	Y	ξ calc	ξ
-	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	m
1	4463	2317	0	0	-1.80	-3.60	3.26	-3.84
2	4463	2317	0	0	1.80	-3.60	3.84	-3.26
3	4463	2317	0	0	-1.80	0.00	-0.29	-0.29
4	4463	2317	0	0	1.80	0.00	0.29	0.29
5	4463	2317	0	0	-1.80	3.60	-3.84	3.26
6	4463	2317	0	0	1.80	3.60	-3.26	3.84



SPALLA B

n° pali	8				
<b>AZIONI</b>		<i>long</i>	<i>trasv</i>		
<b>combo</b>	<b>Qu</b>	<b>Muy</b>	<b>Mux</b>	<b>M</b>	<b>alfaM</b>
-	kN	kNm	kNm	kNm	rad
SLU1	15064	3393	756	3476	0.22

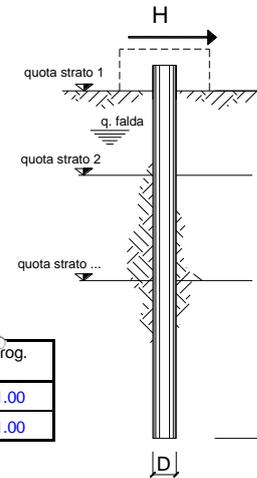
i	Nu	Su	Myc	Myt	X	Y	ξ calc	ξ
-	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	m
1	3251	1815	0	0	-1.80	-5.40	-0.58	-2.93
2	3251	1815	0	0	1.80	-5.40	2.93	-2.15
3	3251	1815	0	0	-1.80	-1.80	-1.37	-1.37
4	3251	1815	0	0	1.80	-1.80	2.15	-0.58
5	3251	1815	0	0	-1.80	1.80	-2.15	0.58
6	3251	1815	0	0	1.80	1.80	1.37	1.37
7	3251	1815	0	0	-1.80	5.40	-2.93	2.15
8	3251	1815	0	0	1.80	5.40	0.58	2.93



## 11 CALCOLO DELLA PORTANZA TRASVERSALE DEL SINGOLO PALO

opera **SPALLA A**

coefficienti parziali			A		M		R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	$\gamma_{\phi}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
		<input type="radio"/>	$\gamma_G$	$\gamma_Q$			
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.00	1.00	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.30
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			1.00	1.00	1.00	1.00	1.30



n	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$	I.A.	prog.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						$k_p$	$c_u$ (kPa)	$\phi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
<input checked="" type="checkbox"/> strato 1	All_Gs	100.00	19.5	9.5	36	3.85		36	3.85	
<input type="checkbox"/> strato 2	Ma	96.00	20.5	10.5	29	2.88		29	2.88	
<input type="checkbox"/> strato 3						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 4						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1.00			1.00	

Quota falda **90** (m)  
 Diametro del palo D **1.20** (m)  
 Lunghezza del palo L **15.00** (m)  
 Momento di plasticizzazione palo My **2342.40** (kNm)  
 Step di calcolo **n 2** (m)  
 palo impedito di ruotare **Calcolo (ctri+)**  
 palo libero

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	1852.2 (kN)		1852.2 (kN)	
Palo intermedio	6464.8 (kN)		6464.8 (kN)	
Palo corto	22636.5 (kN)		22636.5 (kN)	

$H_{med}$  **1852.2 (kN)** Palo lungo  $H_{min}$  **1852.2 (kN)** Palo lungo

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) \quad 1089.55 \quad (\text{kN})$$

$$H_d = H_k/\gamma_T \quad 838.12 \quad (\text{kN})$$

Carico Assiale Permanente (G): G = **0** (kN)

Carico Assiale variabile (Q): Q = **592** (kN)

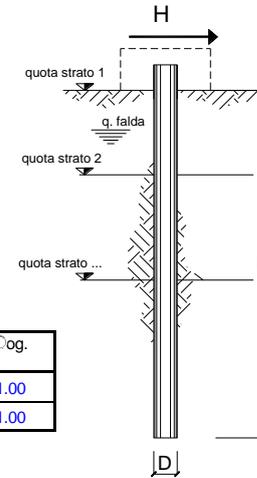
$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = \quad 592.00 \quad (\text{kN})$$

$$FS = H_d / F_d = \quad 1.42$$

$$F_{sgruppo} = H_d / F_d \times 0.8 = \quad 1.13$$

opera **PILA 2**

coefficienti parziali		A		M		R
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	$\gamma_e$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
		$\gamma_G$	$\gamma_Q$			
SLU	A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	1.00	1.30	1.00	1.00	1.60
	A1+M1+R3	1.30	1.50	1.00	1.00	1.30
	SISMA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		1.00	1.00	1.00	1.00	1.30



n	●	○	○	○	○	○	≥○	○A	○og.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						$k_p$	$c_u$ (kPa)	$\phi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
p.c.=strato 1	Ma	100.00	20.5	10.5	29	2.88		29	2.88	
strato 2						1.00			1.00	
strato 3						1.00			1.00	
strato 4						1.00			1.00	
strato 5						1.00			1.00	
strato 6						1.00			1.00	

Quota falda **100** (m)  
 Diametro del palo D **1.20** (m)  
 Lunghezza del palo L **20.00** (m)  
 Momento di plasticizzazione palo My **3001.27** (kNm)  
 Step di calcolo **0.2** (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo**  
(ctri+r)

	<b>H medio</b>		<b>H minimo</b>	
Palo lungo	1648.3 (kN)		1648.3 (kN)	
Palo intermedio	5754.3 (kN)		5754.3 (kN)	
Palo corto	21788.4 (kN)		21788.4 (kN)	

**H<sub>med</sub> 1648.3 (kN) Palo lungo H<sub>min</sub> 1648.3 (kN) Palo lungo**

**$H_k = \text{Min}(H_{\text{med}}/\xi_3 ; R_{\text{min}}/\xi_4)$**  969.58 (kN)

**$H_d = H_k/\gamma_T$**  745.83 (kN)

Carico Assiale Permanente (G): G = 0 (kN)

Carico Assiale variabile (Q): Q = 374 (kN)

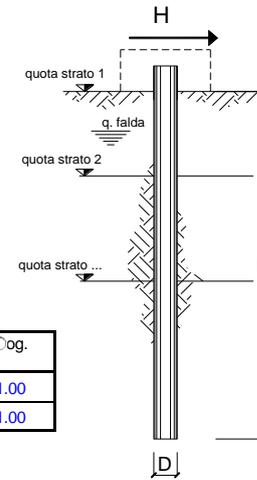
**$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q =$**  374.00 (kN)

**FS = H<sub>d</sub> / F<sub>d</sub> =** 1.99

**Fsgruppo = H<sub>d</sub> / F<sub>d</sub> x 0.8 =** 1.60

opera **PILA 11**

coefficienti parziali		A		M		R
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	$\gamma_e$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
		$\gamma_G$	$\gamma_Q$			
SLU	A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	1.00	1.30	1.00	1.00	1.60
	A1+M1+R3	1.30	1.50	1.00	1.00	1.30
	SISMA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		1.00	1.00	1.00	1.00	1.30



n	●	○	○	○	○	○	≥○	○A	○og.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						$k_p$	$c_u$ (kPa)	$\phi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
p.c.=strato 1	Ril	100.00	19	9	32	3.25		32	3.25	
strato 2	Ma	98.00	20.5	10.5	29	2.88		29	2.88	
strato 3						1.00			1.00	
strato 4						1.00			1.00	
strato 5						1.00			1.00	
strato 6						1.00			1.00	

Quota falda **94** (m)  
 Diametro del palo D **1.20** (m)  
 Lunghezza del palo L **20.00** (m)  
 Momento di plasticizzazione palo My **1459.00** (kNm)  
 Step di calcolo **0.2** (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo**  
(ctri+r)

	<b>H medio</b>		<b>H minimo</b>	
Palo lungo	1364.6 (kN)		1364.6 (kN)	
Palo intermedio	9869.3 (kN)		9869.3 (kN)	
Palo corto	33040.6 (kN)		33040.6 (kN)	
	<b>H<sub>med</sub> 1364.6 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub> 1364.6 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>
	<b><math>H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)</math></b>		802.72 (kN)	
	<b><math>H_d = H_k/\gamma_T</math></b>		<b>617.48 (kN)</b>	
Carico Assiale Permanente (G):	G =	0 (kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	342 (kN)		
	<b><math>F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q =</math></b>		<b>342.00 (kN)</b>	
	<b><math>FS = H_d / F_d =</math></b>		<b>1.81</b>	
	<b><math>Fs_{gruppo} = H_d / F_d \times 0.8 =</math></b>		<b>1.44</b>	

## 12 RIEPILOGO DEI RISULTATI E DELLE VERIFICHE DI PORTANZA DELLE PALIFICATE

Per i carichi agenti sulla palificata e sui singoli pali si rimanda alla relazione di calcolo di spalle e pile del presente progetto definitivo. Di seguito si riportano i risultati delle verifiche di sicurezza eseguite sui pali di fondazioni. Per quanto riguarda la verifica a carico limite orizzontale, il fattore di sicurezza riportato è già comprensivo del valore di efficienza della palificata pari a 0.8. A favore di sicurezza, nei pali che incontrano la formazione arenaria li-toide massiva (Ar) si è trascurato il contributo coesivo nella resistenza laterale, affidandola tutta al contributo attritivo, nelle curve di portanza. Per tali pali la lunghezza di progetto è stata scelta in maniera tale da intestare il palo per almeno 2-3 m nella formazione rocciosa.

Spalla / Pila	N. pali [-]	D [mm]	L [m]	FS <sub>verticale</sub> (metodo dei Domini) [-]	FS <sub>orizzontale</sub> (Broms) [-]
SpA	8	1200	12	1.36	1.13
P1	6	1200	18	1.10	-
P2	6	1200	20	1.09	1.60
P3	6	1200	20	1.11	-
P4	6	1200	20	1.06	-
P5	6	1200	24	1.10	-
P6	6	1200	24	1.05	-
P7	6	1200	24	1.05	-
P8	6	1200	24	1.06	-
P9	6	1200	22	1.15	-
P10	6	1200	24	1.22	-
P11	6	1200	22	1.15	1.44
SpB	8	1200	12	1.60	-