

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)**

**VIADOTTI IN INTERFERENZA**

**IV03 - CAVALCAFERROVIA SU NV62C**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni**

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 09 RH IV0300 001 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoll - Edin	Gen-2020	A.Ferr 	Gen-2020	A.Barreca 	Gen-2020	<b>ITALFERR S.p.A.</b> U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti Dott. Ing. Paolo Vittozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° A 20783
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoll - Edin	Feb-2020	A.Ferr 	Feb-2020	A.Barreca 	Feb-2020	
C	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoll - Edin	Mag-2020	A.Ferr 	Mag-2020	A.Barreca 	Mag-2020	

File: RS3T.3.0.D.09.RH.IV.03.0.0.001.C

n. Elab.: 09\_622

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	4
3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	5
3.1	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE .....	5
3.2	STRATIGRAFIA.....	5
3.3	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	6
4	PALIFICATE DI FONDAZIONE .....	7
4.1	MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO .....	7
4.2	MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO .....	7
4.3	VALUTAZIONI DI KO/KA.....	12
4.4	CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE.....	12
4.5	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI.....	22
4.6	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE E VERTICALE CON PALO SCALZATO.....	30



## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Le principali Normative nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento e prese a riferimento sono le seguenti:

- *Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».*
- *Ministero delle Infrastrutture, Circolare n°7 21 gennaio 2019, Istruzioni per l'Applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni».*
- *Istruzione RFI DTC SI PS MA IFS 001 A - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture*
- *Istruzione RFI DTC SI CS MA IFS 001 A - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale*
- *Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione Europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019.*

### 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.

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

#### 3.1 Indagini geotecniche eseguite

I sondaggi di riferimento sono: 3bv20-3bv21

La falda viene posta a testa palo.

#### 3.2 Stratigrafia

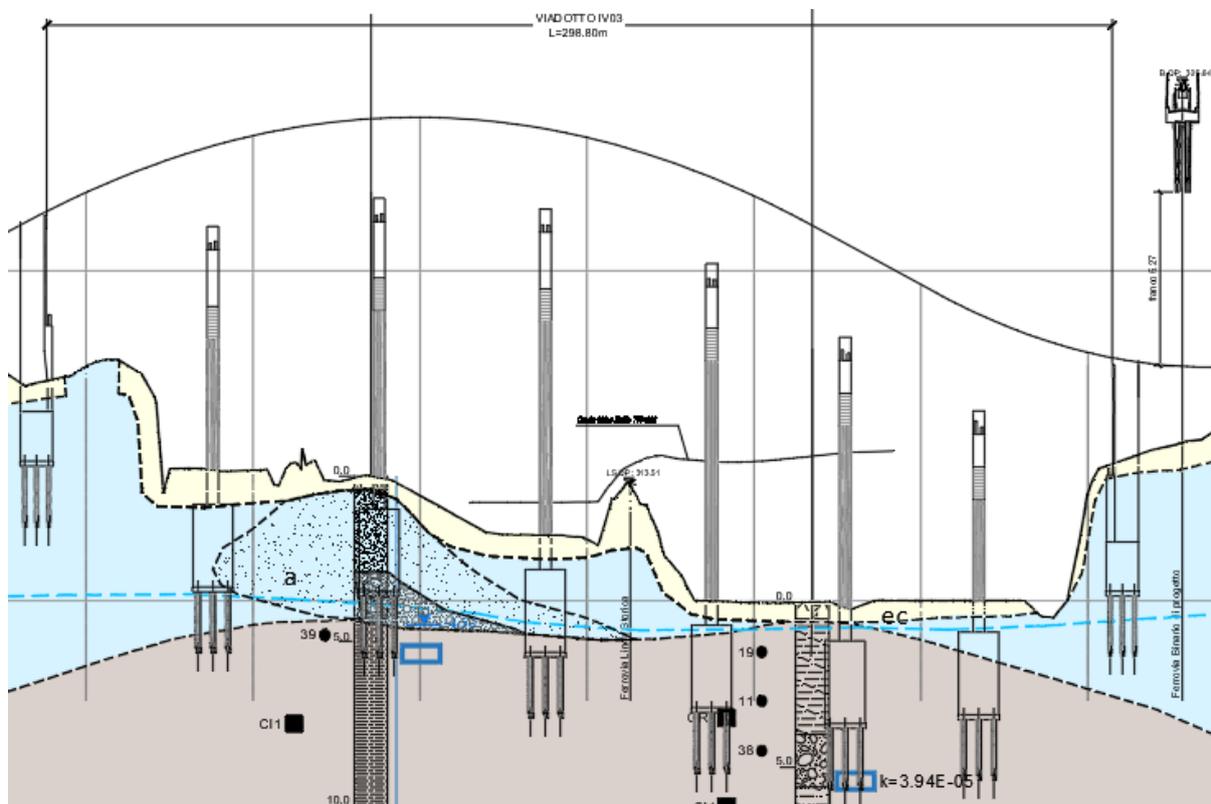
La stratigrafia lungo lo sviluppo del viadotto è indicata nella seguente tabella:

Tipo 1 (spalla A e B, pile 1-2-3):

	zi [m]	zf[m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	c' [kPa]	$\phi'$ [°]	cu
a2	0	6	19	31	23	70
FYN4	6	40	20	27	23	180

Tipo 2 (pile 4-5-6):

	zi [m]	zf[m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	c' [kPa]	$\phi'$ [°]	cu
FYN4	0	40	20	27	23	180



Profilo geotecnico

### 3.3 Categoria di sottosuolo

Dalle indagini condotte si evince una categoria di suolo pari a 'C'.

## 4 PALIFICATE DI FONDAZIONE

Nel presente capitolo si riporta il calcolo della capacità portante dei pali per l'opera in esame.

### 4.1 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:

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

In particolare per la valutazione del modulo di reazione orizzontale palo-terreno, si considera:

$$E_{MR} = \xi * c_u$$

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. Si avrà pertanto:

$$E_{MR} = \xi * c_u * 0.8$$

### 4.2 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:

$H_o$  = azione tagliante in testa palo [F];

$M_o$  = azione flettente, conseguente ad  $H_o$ , in testa al palo;

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

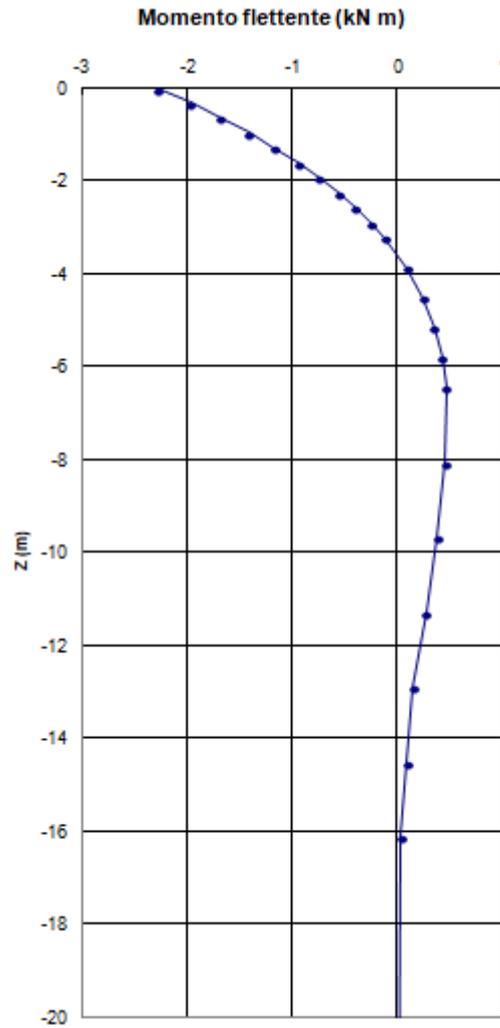
$M_{ad}$  = momento flettente adimensionale lungo il fusto del palo.

Per le palificate in presenza di scalzamento, il valore del parametro  $\alpha_m$  (=  $M_o/T_o$  a testa palo), è stato valutato considerando non reagente il terreno sino alla profondità di scalzamento. Il valore del parametro indicato per lo scalzamento va associato alle sole condizioni di carico statiche con scalzamento, per tutte le altre combinazioni (SLU statica, SLV sismica e SLE) va associato il valore del parametro indicato per i pali in assenza di scalzamento.

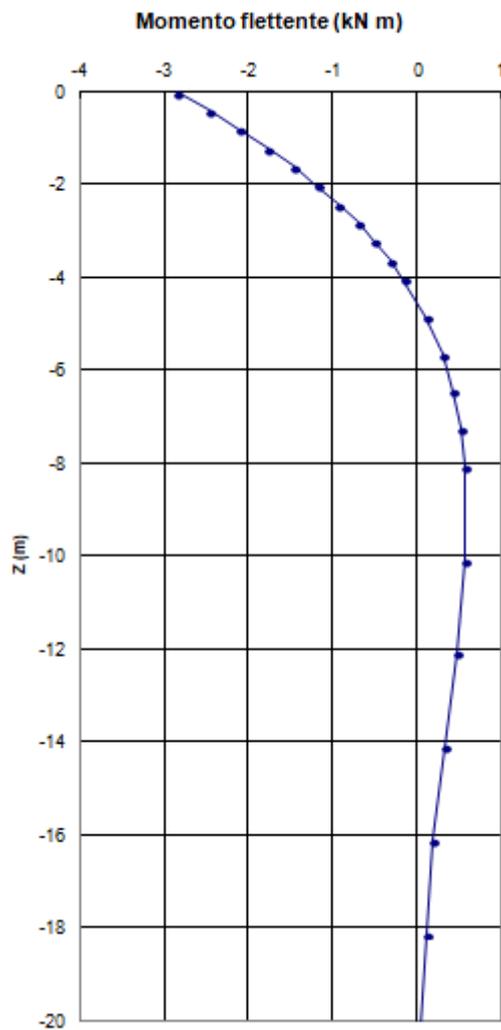
Nella seguente tabella si riportano i valori del parametro alfa  $\alpha_m = M_o / H_o$  ed a seguire l'andamento del momento adimensionale lungo il palo. La valutazione è stata fatta con riferimento ad una lunghezza palo indicativa di 30m.

Tipo 1 (spalla A e B, pile 1-2-3):

Spalle	$\alpha_m$ [m]
D=1200mm	2.3

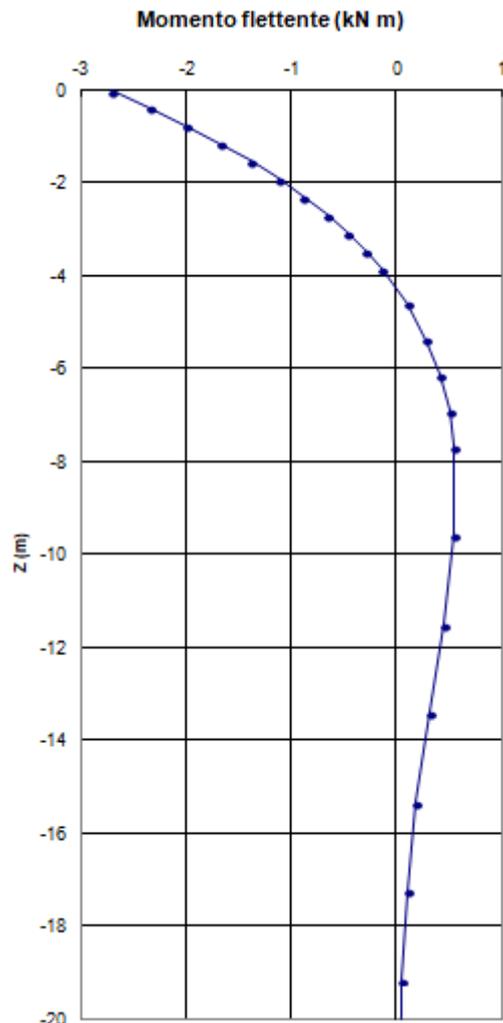


Pile	$\alpha_m$ [m]
D=1500mm	2.8



Tipo 2 (pile 4-5-6):

Pila 4	$\alpha_m$ [m]	$\alpha_m$ [m] scalzamento
D=1500mm	2.7	5.2
Pile 5-6	$\alpha_m$ [m]	$\alpha_m$ [m] scalzamento
D=1500mm	2.7	4.0



Per le palificate in presenza di scalzamento, il valore del parametro  $\alpha_m$  ( $= M_o/T_o$  a testa palo), è stato valutato considerando non reagente il terreno sino alla profondità di scalzamento. Il valore del parametro indicato per lo scalzamento va associato alle sole condizioni di carico statiche con scalzamento, per tutte le altre combinazioni (SLU statica, SLV sismica e SLE) va associato il valore del parametro indicato per i pali in assenza di scalzamento.

### 4.3 Valutazioni di ko/ka

Dall'analisi svolta preliminarmente sulla spalla, ipotizzando per la fase simica l'attivazione della spinta attiva, si ottiene un taglio sul palo pari ad 676 kN. Lo spostamento risultante alla testa del palo è pari ad  $v_a = 5.04$  mm; si ha dunque:

$$v_a/h = 0.071\% > 0.05\% \text{ (EC7 – Parte 1 – annesso C)}$$

con  $h = 7.6$  m

Pertanto l'ipotesi iniziale di spinta attiva risulta verificata, e si procederà ad una analisi simica secondo la Teoria di Mononobe-Okabe.

### 4.4 Calcolo capacità portante

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

- N. 1 verticale di indagine, da cui  $\xi_3 = 1.70$ ,
- $F_{SL}$  = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ( $=\xi_3 \cdot \gamma_s = 1.96$ ).
- $F_{SL,t}$  = fattore di sicurezza per la portata laterale a trazione ( $=\xi_3 \cdot \gamma_{st} = 2.13$ ).
- $F_{SB}$  = fattore di sicurezza per la portata di base ( $=\xi_3 \cdot \gamma_b = 2.3$ ).

**Tabella 1 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 (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

(\*) 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 2** 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

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

- $N_{max,SLU} < Q_d$ , la massima sollecitazione assiale (sia statica, che sismica) allo SLU dovrà essere inferiore alla portata di progetto del palo (riportata nelle seguenti tabelle);
- $N_{max,SLE} < Q_{II} / 1.25$  la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA dovrà essere inferiore alla portata laterale limite del palo ( $Q_{II}$ , riportata nelle seguenti tabelle) con un fattore di sicurezza di 1.25.

Si riporta di seguito la verifica a carico limite:

Spalla  $N_{max} = 5686$  kN (stratigrafia tipo 1):

**CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO**

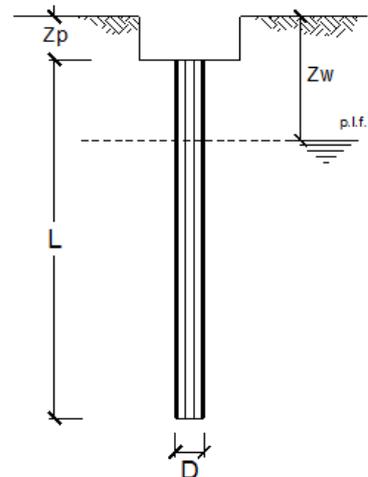
CANTIERE:

OPERA:

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	1.20	(m)	Area del Palo ( $A_p$ ):	1.131	(m <sup>2</sup> )
Quota testa Palo dal p.c. ( $z_p$ ):	3.00	(m)	Quota falda dal p.c. ( $z_w$ ):	3.00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	5686	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):	0	(kN)
Numero di strati	2		Lpalo =	38.00	(m)

coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale e di base		
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	$\gamma_b$	$\gamma_s$	$\gamma_{s\text{traz}}$
			$\gamma_G$	$\gamma_Q$			
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	1.70	1.45	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.35	1.15	1.25
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.35	1.15	1.25
DM88	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
definiti dal progettista		<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	2.30	1.96	2.13



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.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

**PARAMETRI MEDI**

Strato	Spess (-) (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$C'_{med}$ (kPa)	$\Phi'_{med}$ (°)	$C_{u\ med}$ (kPa)
1	3.00	a2	19.00			70.0
2	35.00	FYN	20.00			180.0

Coefficienti di Calcolo			
k	$\mu$	a	$\alpha$
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.60
0.00	0.00		0.40

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

**PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)**

Strato	Spess (-) (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$C'_{min}$ (kPa)	$\Phi'_{min}$ (°)	$C_{u\ min}$ (kPa)
1	3.00	a2	19.00			70.0
2	35.00	FYN	20.00			180.0

Coefficienti di Calcolo			
k	$\mu$	a	$\alpha$
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.60
0.00	0.00		0.40

**RISULTATI**

Strato	Spess	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)
1	3.00	a2	475.0					475.0				
2	35.00	FYN	9500.2	0.00	9.00	2434.0	2752.8	9500.2	0.00	9.00	8140.0	9206.1

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$N_d = N_g \cdot \gamma_g + N_q \cdot \gamma_q$$

$$N_d = 5686.0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ med}} = 2752.8 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ med}} = 9975.2 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ med}} = 12728.0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ min}} = 9206.1 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ min}} = 9975.2 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ min}} = 19181.3 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = 2752.8 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 9975.2 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 12728.0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$$

$$R_{c,d} = 6286.2 \text{ (kN)}$$

$$F_s = R_{c,d} / N_d$$

$$F_s = 1.11$$

Inoltre si è anche verificato che, per la lunghezza palo di progetto, la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA sia inferiore alla portata laterale limite del palo (Qll) con un fattore di sicurezza di 1.25:

$$N_{sle \text{ rara}} = 4054 \cdot 1.25 = 5067 \text{ kN} < 9975 \text{ kN} / 1.96 = 5089 \text{ kN}$$

Pila Nmax 50+50= 7223 kN (stratigrafia tipo 1)

**CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO**

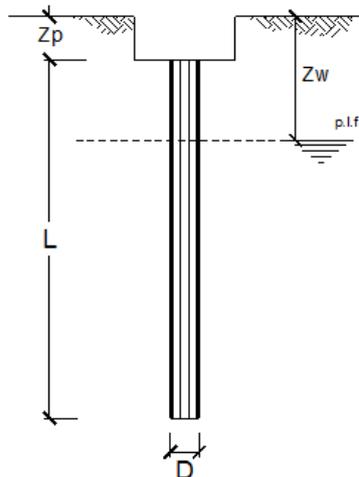
CANTIERE:

OPERA:

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	1.50	(m)	Area del Palo (Ap):	1.767	(m <sup>2</sup> )
Quota testa Palo dal p.c. (z <sub>p</sub> ):	3.00	(m)	Quota falda dal p.c. (z <sub>w</sub> ):	3.00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	7223	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):	0	(kN)
Numero di strati	2		Lpalo =	34.00	(m)

coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale e di base			
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>s</sub> traz	
			γ <sub>G</sub>	γ <sub>Q</sub>				
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	1.70	1.45	1.60	
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.35	1.15	1.25	
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.35	1.15	1.25	
DM88			<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	2.30	1.96	2.13



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ <sub>3</sub>	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ <sub>4</sub>	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

**PARAMETRI MEDI**

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	C' med (kPa)	Φ' med (°)	C <sub>u</sub> med (kPa)
1	3.00	a2	19.00			70.0
2	31.00	FYN	20.00			180.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.60
0.00	0.00		0.40

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

**PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)**

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	C' min (kPa)	Φ' min (°)	C <sub>u</sub> min (kPa)
1	3.00	a2	19.00			70.0
2	31.00	FYN	20.00			180.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.60
0.00	0.00		0.40

**RISULTATI**

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)
1	3.00	a2	593.8					593.8				
2	31.00	FYN	10518.1	0.00	9.00	2354.0	4159.9	10518.1	0.00	9.00	7340.0	12970.9

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$N_d = N_g \cdot \gamma_g + N_q \cdot \gamma_q$$

$$N_d = 7223.0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ med}} = 4159.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ med}} = 11111.8 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ med}} = 15271.7 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ min}} = 12970.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ min}} = 11111.8 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ min}} = 24082.7 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = 4159.9 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 11111.8 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 15271.7 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$$

$$R_{c,d} = 7477.9 \text{ (kN)}$$

$$F_s = R_{c,d} / N_d$$

$$F_s = 1.04$$

Verifica a trazione:

$$N_{min} = -1160 \text{ kN} < 11111 \text{ kN} / 2.13 = 5216 \text{ kN}$$

Inoltre si è anche verificato che, per la lunghezza palo di progetto, la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA sia inferiore alla portata laterale limite del palo (QII) con un fattore di sicurezza di 1.25:

$$N_{sle \text{ rara}} = 4515 * 1.25 = 5643 \text{ kN} < 11111 \text{ kN} / 1.96 = 5668 \text{ kN}$$

Pila Nmax 40+50= 6998 kN (stratigrafia tipo 2)

**CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO**

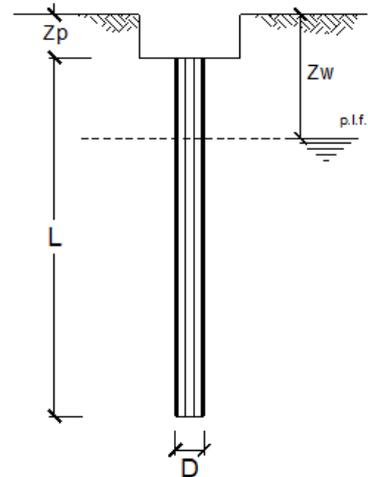
CANTIERE:

OPERA:

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	1.50	(m)	Area del Palo (Ap):	1.767	(m <sup>2</sup> )
Quota testa Palo dal p.c. (z <sub>p</sub> ):	3.00	(m)	Quota falda dal p.c. (z <sub>w</sub> ):	3.00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	6998	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):	0	(kN)
Numero di strati	2		Lpalo =	32.00	(m)

coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale e di base		
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>s</sub> traz
			γ <sub>G</sub>	γ <sub>Q</sub>			
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	1.70	1.45	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.35	1.15	1.25
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.35	1.15	1.25
DM88	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
definiti dal progettista		<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	2.30	1.96	2.13



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ <sub>3</sub>	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ <sub>4</sub>	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

**PARAMETRI MEDI**

Strato	Spess (-) (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	C' <sub>med</sub> (kPa)	Φ' <sub>med</sub> (°)	C <sub>u med</sub> (kPa)
1	3.00	a2	20.00			180.0
2	29.00	FYN	20.00			180.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.40
0.00	0.00		0.40

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradesso del plinto)

**PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)**

Strato	Spess (-) (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	C' <sub>min</sub> (kPa)	Φ' <sub>min</sub> (°)	C <sub>u min</sub> (kPa)
1	3.00	a2	20.00			180.0
2	29.00	FYN	20.00			180.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.40
0.00	0.00		0.40

**RISULTATI**

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)
1	3.00	a2	1017.9					1017.9				
2	29.00	FYN	9839.5	0.00	9.00	2320.0	4099.8	9839.5	0.00	9.00	7000.0	12370.0

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$N_d = N_g \cdot \gamma_g + N_q \cdot \gamma_q$$

$$N_d = 6998.0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ med}} = 4099.8 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ med}} = 10857.3 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ med}} = 14957.1 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ min}} = 12370.0 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ min}} = 10857.3 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ min}} = 23227.4 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = 4099.8 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 10857.3 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 14957.1 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$$

$$R_{c,d} = 7322.0 \text{ (kN)}$$

$$F_s = R_{c,d} / N_d$$

$$F_s = 1.05$$

Verifica a trazione:

$$N_{min} = -1263 \text{ kN} < 10857 \text{ kN} / 2.13 = 5097 \text{ kN}$$

Inoltre si è anche verificato che, per la lunghezza palo di progetto, la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA sia inferiore alla portata laterale limite del palo (QII) con un fattore di sicurezza di 1.25:

$$N_{sle \text{ rara}} = 4332 * 1.25 = 5415 \text{ kN} < 10857 \text{ kN} / 1.96 = 5539 \text{ kN}$$

Pila Nmax 40+40= 5177 kN (stratigrafia tipo 2)

**CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO**

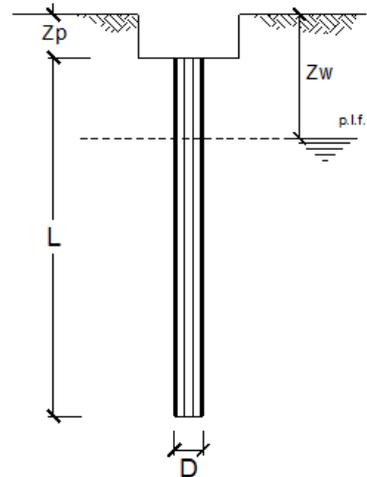
CANTIERE:

OPERA:

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1.50 (m) Area del Palo (Ap): 1.767 (m<sup>2</sup>)  
 Quota testa Palo dal p.c. (z<sub>p</sub>): 3.00 (m) Quota falda dal p.c. (z<sub>w</sub>): 3.00 (m)  
 Carico Assiale Permanente (G): 5177 (kN) Carico Assiale variabile (Q): 0 (kN)  
 Numero di strati 2  Lpalo = 27.00 (m)

coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale e di base			
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>s</sub> traz	
			γ <sub>G</sub>	γ <sub>Q</sub>				
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	1.70	1.45	1.60	
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.35	1.15	1.25	
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.35	1.15	1.25	
DM88			<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	2.30	1.96	2.13



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ <sub>3</sub>	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ <sub>4</sub>	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

**PARAMETRI MEDI**

Strato	Spess (-) (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	C' <sub>med</sub> (kPa)	Φ' <sub>med</sub> (°)	C <sub>u med</sub> (kPa)
1	3.00	FYN	20.00			180.0
2	24.00	FYN	20.00			180.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.40
0.00	0.00		0.40

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

**PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)**

Strato	Spess (-) (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	C' <sub>min</sub> (kPa)	Φ' <sub>min</sub> (°)	C <sub>u min</sub> (kPa)
1	3.00	FYN	20.00			180.0
2	24.00	FYN	20.00			180.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.40
0.00	0.00		0.40

**RISULTATI**

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)
1	3.00	FYN	1017.9					1017.9				
2	24.00	FYN	8143.0	0.00	9.00	2220.0	3923.1	8143.0	0.00	9.00	6000.0	10602.9

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$N_d = N_g \cdot \gamma_g + N_q \cdot \gamma_q$$

$$N_d = 5177.0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ med}} = 3923.1 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ med}} = 9160.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ med}} = 13083.9 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ min}} = 10602.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ min}} = 9160.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ min}} = 19763.8 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = 3923.1 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 9160.9 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 13083.9 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$$

$$R_{c,d} = 6379.6 \text{ (kN)}$$

$$F_s = R_{c,d} / N_d$$

$$F_s = 1.23$$

Verifica a trazione:

$$N_{min} = -137 \text{ kN} < 9160 \text{ kN} / 2.13 = 4300 \text{ kN}$$

Inoltre si è anche verificato che, per la lunghezza palo di progetto, la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA sia inferiore alla portata laterale limite del palo (QII) con un fattore di sicurezza di 1.25:

$$N_{sle \text{ rara}} = 3617 * 1.25 = 4521 \text{ kN} < 9160 \text{ kN} / 1.96 = 4673 \text{ kN}$$

Le lunghezze dei pali di progetto è quella che soddisfa tutte le verifiche di capacità portante, anche in presenza di scalzamento.

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

Per la verifica del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita.

La verifica a carico limite è stata svolta includendo anche un fattore di effetto gruppo orizzontale di 0.8. In particolare il fattore di sicurezza di normativa per la verifica a carico orizzontale è  $FS = \gamma_T \cdot \xi_3 = 1.30 \cdot 1.70 = 2.21$  (da normativa vigente per verifica A1+M1+R3), includendo anche il fattore di effetto gruppo si ha:  $FS_g = 2.76$ . Quindi la resistenza di progetto è valutata a partire dalla resistenza caratteristica (calcolata con Broms), fattorizzata con  $FS_g$ , da cui:  $H_d = H_{max} / 2.76$ .

Il valore caratteristico della resistenza ( $H_{max}$ ) è stato valutato considerando la condizione di carico più gravosa (tenendo conto dello stato di compressione/trazione) con riferimento ai seguenti momenti di plasticizzazione:

- Spalla (D=1200mm, armatura 18+18 $\phi$ 26):  $M_y$  pari a 3133 kNm
- Pila 50+50 (D=1500mm, armatura 26+26 $\phi$ 26):  $M_y$  pari a 4700 kNm
- Pila 40+50 (D=1500mm, armatura 26+26 $\phi$ 26):  $M_y$  pari a 4652 kNm
- Pila 40+40 (D=1500mm, armatura 20+20 $\phi$ 26):  $M_y$  pari a 4130 kNm

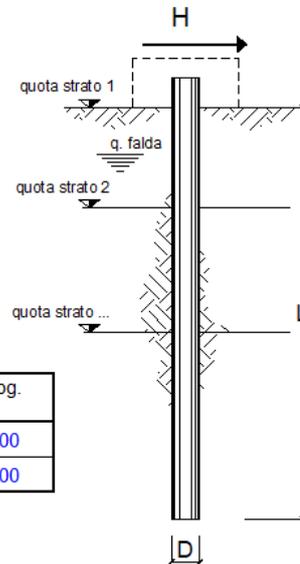
Nella seguente tabella sono esplicitati i termini della verifica da cui si evince che la verifica è soddisfatta risultando la resistenza laterale di progetto maggiore della sollecitazione orizzontale massima ( $H_d > F_d$ ).

SPALLA/PILA	$H_{ed}$	$H_{rd}$ [kN]	FS [kN]
SPALLA	676	778	1.15
PILA 50+50	938	1048	1.12
PILA 40+50	922	1080	1.17
PILA 40+40	695	974	1.40

**opera spalla**

coefficienti parziali			A		M		R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	$\gamma_e$	$\gamma_{ou}$	$\gamma_T$
			$\gamma_G$	$\gamma_Q$			
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	2.76

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.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)
p.c.=strato 1	a2	100.00	19	9		1.00	70		1.00	70
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	FYN	97.00	20	10		1.00	180		1.00	180
<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 100 (m)

Diametro del palo D 120 (m)

Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  **3133.00** (kNm)

Step di calcolo **0.01** (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

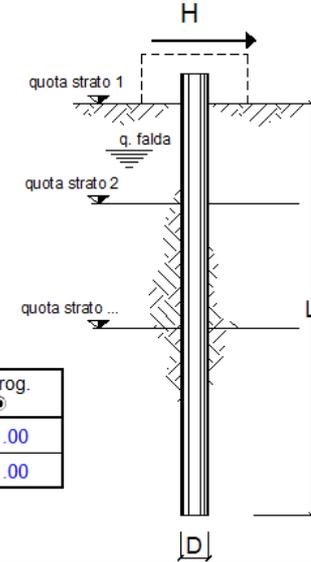
**Calcolo**  
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	2149.2 (kN)		2149.2 (kN)	
Palo intermedio	19713.2 (kN)		19713.2 (kN)	
Palo corto	53402.8 (kN)		53402.8 (kN)	
	<b>H<sub>med</sub> 2149.2 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub> 2149.2 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>
	<b>H<sub>k</sub> = Min(H<sub>med</sub>/ξ<sub>3</sub> ; R<sub>min</sub>/ξ<sub>4</sub>)</b>		2149.20 (kN)	
	<b>H<sub>d</sub> = H<sub>k</sub>/γ<sub>T</sub></b>		<b>778.70 (kN)</b>	
Carico Assiale Permanente (G):	G =	676 (kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	0 (kN)		
	<b>F<sub>d</sub> = G · γ<sub>G</sub> + Q · γ<sub>Q</sub> =</b>	<b>676.00 (kN)</b>		
	<b>FS = H<sub>d</sub> / F<sub>d</sub> =</b>	<b>1.15</b>		

**opera pila 50+50**

coefficienti parziali			A		M		R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	$\gamma_e$	$\gamma_{ou}$	$\gamma_T$
			$\gamma_G$	$\gamma_Q$			
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	2.76

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.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)
p.c.=strato 1	a2	100.00	19	9		1.00	70		1.00	70
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	FYN	97.00	20	11		1.00	180		1.00	180
<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 100 (m)

Diametro del palo D 1.50 (m)

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30	D09CL	IV0300 001	C	26 di 36

Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  4700.00 (kNm)

Step di calcolo 0.01 (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

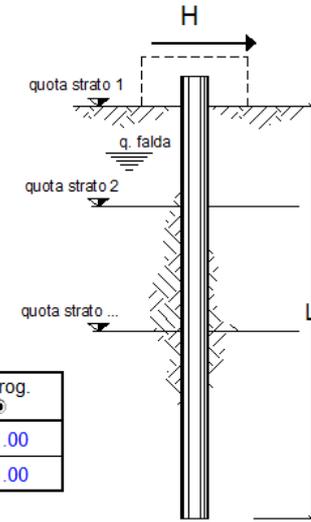
**Calcolo**  
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	2893.1	(kN)	2893.1	(kN)
Palo intermedio	26257.5	(kN)	26257.5	(kN)
Palo corto	71188.2	(kN)	71188.2	(kN)
	<b>H<sub>med</sub> 2893.1</b>	<b>(kN)</b>	<b>H<sub>min</sub> 2893.1</b>	<b>(kN)</b>
		<b>Palo lungo</b>		<b>Palo lungo</b>
	<b>H<sub>k</sub> = Min(H<sub>med</sub>/ξ<sub>3</sub> ; R<sub>min</sub>/ξ<sub>4</sub>)</b>		2893.05	(kN)
	<b>H<sub>d</sub> = H<sub>k</sub>/γ<sub>T</sub></b>		<b>1048.21</b>	<b>(kN)</b>
Carico Assiale Permanente (G):	G =	938	(kN)	
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	0	(kN)	
	<b>F<sub>d</sub> = G · γ<sub>G</sub> + Q · γ<sub>Q</sub> =</b>		<b>938.00</b>	<b>(kN)</b>
	<b>FS = H<sub>d</sub> / F<sub>d</sub> =</b>		<b>1.12</b>	

opera **pila 40+50**

coefficienti parziali			A		M		R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	$\gamma_{\varphi}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
			$\gamma_G$	$\gamma_Q$			
SLS	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 type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	2.76

n	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$	T.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> )	$\varphi$ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						$k_p$	$c_u$ (kPa)	$\varphi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
p.c.=strato 1	a2	100.00	19	9		1.00	100		1.00	100
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	FYN	97.00	20	11		1.00	180		1.00	180
<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 100 (m)

Diametro del palo D 1.50 (m)

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30	D09CL	IV0300 001	C	28 di 36

Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  4652.00 (kNm)

Step di calcolo 0.01 (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

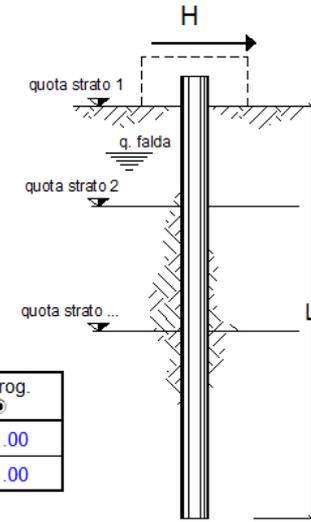
**Calcolo**  
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	2982.2	(kN)	2982.2	(kN)
Palo intermedio	24524.1	(kN)	24524.1	(kN)
Palo corto	66636.0	(kN)	66636.0	(kN)
	<b>H<sub>med</sub> 2982.2 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub> 2982.2 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>
	<b><math>H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)</math></b>		2982.15	(kN)
	<b><math>H_d = H_k/\gamma_T</math></b>		<b>1080.49</b>	<b>(kN)</b>
Carico Assiale Permanente (G):	G =	922	(kN)	
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	0	(kN)	
	<b><math>F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q =</math></b>		<b>922.00</b>	<b>(kN)</b>
	<b><math>FS = H_d / F_d =</math></b>		<b>1.17</b>	

opera **pila 40+40**

coefficienti parziali			A		M		R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	$\gamma_\phi$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
			$\gamma_G$	$\gamma_Q$			
SLS	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 type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	2.76

n	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$	T.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)
p.c.=strato 1	FYN	100.00	19	9		1.00	100		1.00	100
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	FYN	97.00	20	11		1.00	180		1.00	180
<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 100 (m)

Diametro del palo D 1.50 (m)

Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  **4130.00** (kNm)

 Step di calcolo **0.01** (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo**  
 (ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	2690.6	(kN)	2690.6	(kN)
Palo intermedio	24524.1	(kN)	24524.1	(kN)
Palo corto	66636.0	(kN)	66636.0	(kN)
	<b>H<sub>med</sub> 2690.6</b>	<b>(kN)</b>	<b>H<sub>min</sub> 2690.6</b>	<b>(kN)</b>

$$H_k = \text{Min}(H_{\text{med}}/\xi_3 ; R_{\text{min}}/\xi_4) \quad 2690.55 \quad (\text{kN})$$

$$H_d = H_k / \gamma_T \quad \mathbf{974.84} \quad (\text{kN})$$

 Carico Assiale Permanente (G): G = **695** (kN)

 Carico Assiale variabile (Q): Q = **0** (kN)

$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = \quad \mathbf{695.00} \quad (\text{kN})$$

$$FS = H_d / F_d = \quad \mathbf{1.40}$$

#### 4.6 Verifica a carico limite orizzontale e verticale con palo scalzato

La verifica a carico limite orizzontale viene eseguita tramite la formulazione di Broms, in cui si è considerato non reagente la porzione di terreno scalzato. Dalle analisi idrauliche svolte sono stati ricavati i seguenti risultati:

##### 6.3.16 Escavazioni localizzate viadotto NV62c

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	2.93	1.27	20	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	5.35	plinto scoperto
P02	3.65	1.32	3	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	4.66	plinto scoperto
P03	3.72	1.71	29	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	7.10	plinto scoperto
P04	0.00	0.00	12	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P05	0.00	0.00	31	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P06	0.00	0.00	51	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo

Le misure fanno riferimento al p.c., per cui la lunghezza di scalzamento del palo, al netto del ricoprimento del plinto e del plinto stesso, è pari ad:

- L= 2.35 m per pile 5-6 (imp.40+40)
- L= 4.10 m per pila 4 (imp.40+50)

Le azioni di progetto, secondo quanto riportato al cap.5.1.2.3 delle NTC, vengono valutate applicando al carico variabile il coefficiente  $\psi_1$  (comb. Frequente); a queste vengono aggiunte le azioni idrodinamiche. In particolare risulta:

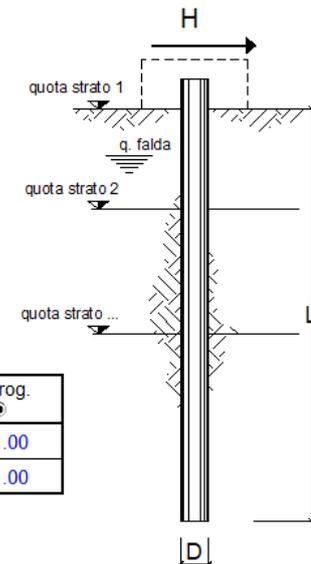
	N comb. Freq.	N idrodinamica	N tot	T comb. Freq.	T idrodinamica	T tot
Pila 40+40	3164	5	<b>3169</b>	84	3	<b>87</b>
Pila 40+50	3782	12	<b>3794</b>	94	7	<b>101</b>

Si riportano di seguito le verifiche in condizioni di scalzamento:

### PILA 40+40

#### opera **Pila 40+40**

coefficienti parziali Metodo di calcolo			A		M		R
			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_{\psi'}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
SUD	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 type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	2.76



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.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)
p.c.=strato 1	-	100.00				1.00			1.00	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	FYN	97.00	20	11		1.00	180		1.00	180
<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 100 (m)

Diametro del palo D 1.50 (m)

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30	D09CL	IV0300 001	C	32 di 36

Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  4130.00 (kNm)

Step di calcolo 0.01 (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo**  
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	1494.5 (kN)		1494.5 (kN)	
Palo intermedio	16402.5 (kN)		16402.5 (kN)	
Palo corto	52876.8 (kN)		52876.8 (kN)	
	<b><math>H_{med}</math> 1494.5 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b><math>H_{min}</math> 1494.5 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>
	<b><math>H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)</math></b>		1494.45 (kN)	
	<b><math>H_d = H_k/\gamma_T</math></b>		<b>541.47 (kN)</b>	
Carico Assiale Permanente (G):	G =		87 (kN)	
Carico Assiale variabile (Q):	Q =		0 (kN)	
	<b><math>F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q =</math></b>		<b>87.00 (kN)</b>	
	<b><math>FS = H_d / F_d =</math></b>		<b>6.22</b>	

**CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO**

**CANTIERE:**

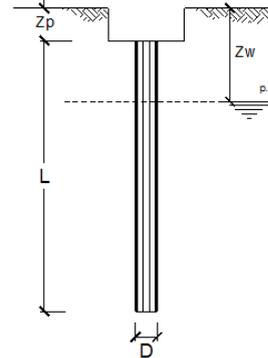
**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D):	1.50	(m)	Area del Palo (Ap):	1.767	(m <sup>2</sup> )
Quota testa Palo dal p.c. (z <sub>p</sub> ):	0.00	(m)	Quota falda dal p.c. (z <sub>w</sub> ):	0.00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	3169	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):	0	(kN)
Numero di strati	1		Lpalo =	24.00	(m)

coefficienti parziali	azioni		resistenza laterale e di base				
	permanenti	variabili	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>s,iniz</sub>		
Metodo di calcolo							
SU	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	○	1.00	1.30	1.70	1.45	1.60
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.35	1.15	1.25
	SISMA	○	1.00	1.00	1.35	1.15	1.25
DM88	○	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
definiti dal progettista	●	1.00	1.00	2.30	1.96	2.13	

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ <sub>3</sub>	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ <sub>4</sub>	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00



**PARAMETRI MEDI**

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	C <sub>med</sub> (kPa)	φ <sub>med</sub> (°)	C <sub>u,med</sub> (kPa)
1	24.00	FYN	20.00			180.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
0.00	0.00		0.40

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

**PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)**

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	C <sub>min</sub> (kPa)	φ <sub>min</sub> (°)	C <sub>u,min</sub> (kPa)
1	24.00	FYN	20.00			180.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
0.00	0.00		0.40

**RISULTATI**

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Q <sub>si</sub> (kN)	N <sub>q</sub> (-)	N <sub>c</sub> (-)	q <sub>b</sub> (kPa)	Q <sub>bm</sub> (kN)	Q <sub>si</sub> (kN)	N <sub>q</sub> (-)	N <sub>c</sub> (-)	q <sub>b</sub> (kPa)	Q <sub>bm</sub> (kN)
1	24.00	FYN	8143.0	0.00	9.00	2100.0	3711.0	8143.0	0.00	9.00	4800.0	8482.3

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$N_d = N_g \cdot \gamma_g + N_q \cdot \gamma_q$$

$$N_d = 3169.0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ med}} = 3711.0 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ med}} = 8143.0 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ med}} = 11854.0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ min}} = 8482.3 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ min}} = 8143.0 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ min}} = 16625.3 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = 3711.0 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 8143.0 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 11854.0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$$

$$R_{c,d} = 5768.1 \text{ (kN)}$$

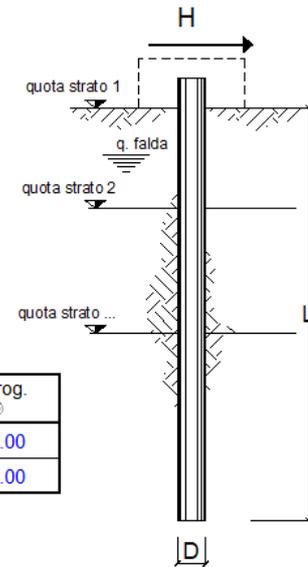
$$F_s = R_{c,d} / N_d$$

$$F_s = 1.82$$

PILA 40+50

opera **pila 40+50**

coefficienti parziali			A		M		R
			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_\psi$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
Metodo di calcolo							
SLS	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
definiti dal progettista			●	1.00	1.00	1.00	2.76



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.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)
p.c.=strato 1	-	100.00				1.00			1.00	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	FYN	95.90	20	11		1.00	180		1.00	180
<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 100 (m)

Diametro del palo D 1.50 (m)

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30	D09CL	IV0300 001	C	35 di 36

Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  4652.00 (kNm)

Step di calcolo 0.01 (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo**  
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	1397.3	(kN)	1397.3	(kN)
Palo intermedio	19124.1	(kN)	19124.1	(kN)
Palo corto	62353.8	(kN)	62353.8	(kN)
	<b>H<sub>med</sub> 1397.3</b>	<b>(kN)</b>	<b>H<sub>min</sub> 1397.3</b>	<b>(kN)</b>
		<b>Palo lungo</b>		<b>Palo lungo</b>
	<b>H<sub>k</sub> = Min(H<sub>med</sub>/ξ<sub>3</sub> ; R<sub>min</sub>/ξ<sub>4</sub>)</b>		1397.25	(kN)
	<b>H<sub>d</sub> = H<sub>k</sub>/γ<sub>T</sub></b>		<b>506.25</b>	<b>(kN)</b>
Carico Assiale Permanente (G):	G =	101	(kN)	
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	0	(kN)	
	<b>F<sub>d</sub> = G · γ<sub>G</sub> + Q · γ<sub>Q</sub> =</b>		<b>101.00</b>	<b>(kN)</b>
	<b>FS = H<sub>d</sub> / F<sub>d</sub> =</b>		<b>5.01</b>	

**CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO**

**CANTIERE:**

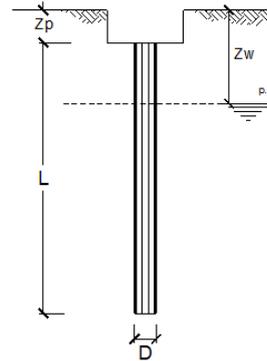
**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D): **1.50** (m) Area del Palo (Ap): **1.767** (m<sup>2</sup>)  
 Quota testa Palo dal p.c. (z<sub>p</sub>): **0.00** (m) Quota falda dal p.c. (z<sub>w</sub>): **0.00** (m)  
 Carico Assiale Permanente (G): **3794** (kN) Carico Assiale variabile (Q): **0** (kN)  
 Numero di strati  $1 \frac{1}{2}$  Lpalo = **27.90** (m)

coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base			
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>s,tras</sub>	
SLU	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	○	1.00	1.30	1.70	1.45	1.60
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.35	1.15	1.25
	SISMA	○	1.00	1.00	1.35	1.15	1.25
DM88	○	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
definiti dal progettista		●	1.00	1.00	2.30	1.96	2.13

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A	prog.
ξ <sub>3</sub>	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ <sub>4</sub>	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00



Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	PARAMETRI MEDI			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	C' med (kPa)	φ' med (°)	Cu med (kPa)
1	27.90	FYN	20.00			180.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	α	α
0.00	0.00		0.40

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradesso del plinto)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	C' min (kPa)	φ' min (°)	Cu min (kPa)
1	27.90	FYN	20.00			180.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	α	α
0.00	0.00		0.40

**RISULTATI**

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)
1	27.90	FYN	9466.2	0.00	9.00	2178.0	3848.8	9466.2	0.00	9.00	5580.0	9860.7

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$N_d = N_g \cdot \gamma_b + N_q \cdot \gamma_q$   
 $N_d = 3794.0$  (kN)

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

base  $R_{b,cal med} = 3848.8$  (kN)  
 laterale  $R_{s,cal med} = 9466.2$  (kN)  
 totale  $R_{c,cal med} = 13315.1$  (kN)

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

base  $R_{b,cal min} = 9860.7$  (kN)  
 laterale  $R_{s,cal min} = 9466.2$  (kN)  
 totale  $R_{c,cal min} = 19326.9$  (kN)

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal med}/\xi_3 ; R_{b,cal min}/\xi_4) = 3848.8$  (kN)  
 $R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal med}/\xi_3 ; R_{s,cal min}/\xi_4) = 9466.2$  (kN)  
 $R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 13315.1$  (kN)

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$   
 $R_{c,d} = 6503.1$  (kN)  
 $F_s = R_{c,d} / N_d = 1.71$