

## SS.4 - Variante dell'abitato di Monterotondo Scalo - 2°Stralcio

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. RM190

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA**

**IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**

Dott. Ing. Nando Granieri  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

**IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**

**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**



Dott. Ing. N. Granieri	Dott. Ing. D. Carliaccini	Dott. Ing. V. Rotisciani
Dott. Arch. N. Kamenicky	Dott. Ing. S. Sacconi	Dott. Ing. F. Macchioni
Dott. Ing. V. Truffini	Dott. Ing. F. Aloe	Geom. C. Vischini
Dott. Arch. A. Bracchini	Dott. Ing. V. De Gori	Dott. Ing. V. Piuino
Dott. Ing. F. Durastanti	Dott. Ing. C. Consorti	Dott. Ing. G. Pulli
Dott. Ing. E. Bartolucci	Geom. M. Manzo	Geom. C. Sugaroni
Dott. Geol. G. Cerquiglini		
Geom. S. Scopetta		
Dott. Ing. L. Sbrenna		
Dott. Ing. M. Briganti Botta		
Dott. Ing. E. Sellari		
Dott. Ing. L. Dinelli		
Dott. Ing. L. Nani		
Dott. Ing. F. Pambianco		
Dott. Agr. F. Berti Nulli		

**IL PROGETTISTA:**

Elena Bartolucci  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n°A3217

**IL GEOLOGO:**

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini  
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

**Il R.U.P.**

Dott. Ing. Achille Devitofranceschi

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

Dott. Ing. Filippo Pambianco  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA



## VIADOTTI VIADOTTO PANTANELLA Relazione di calcolo pali di fondazione

<b>CODICE PROGETTO</b>	<b>NOME FILE</b>	<b>REVISIONE</b>	<b>SCALA:</b>
PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG. DPRM0190      D      20	T00-VI01-STR-RE10-A  CODICE ELAB.      T00VI01STRRE10	A	-
A	Emissione	L. Sbrenna	M. Botta
			N. Granieri
REV.	DESCRIZIONE	DATA	APPROVATO



## INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	OGGETTO E SCOPO	3
1.2	DESCRIZIONE DELL'OPERA	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	6
3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	7
3.1	STRATIGRAFIA	7
4	PALIFICATE DI FONDAZIONE	8
4.1	MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO	8
4.2	MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO	8
4.3	VALUTAZIONE KO/KA	10
4.4	CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE	10
4.5	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI	20

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 OGGETTO E SCOPO

La presente relazione ha per oggetto dell'intervento S.S.4 variante dell'abitato di Monterotondo scalo – 2° Stralcio.

La presente relazione ha per oggetto il dimensionamento e le verifiche di resistenza secondo il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite (S.L.) di una delle fondazioni del viadotto [Pantanella](#).

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il DM 17 gennaio 2018.

### 1.2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il viadotto è composto dalla successione di 3 impalcati a campata multipla, due composti da 44,0+57,0+57,0+57,0+44,0m di luce, ed uno da 44,0+50,0+50,0+44,0m di luce; l'impalcato è costituito da un sistema misto acciaio-calcestruzzo composto da 3 travi in carpenteria metallica e soletta superiore in c.a. collaborante. L'impalcato è protetto tramite isolatori.

Pile e spalle saranno realizzate in c.a. gettato in opera e fondate su pali di grande diametro.

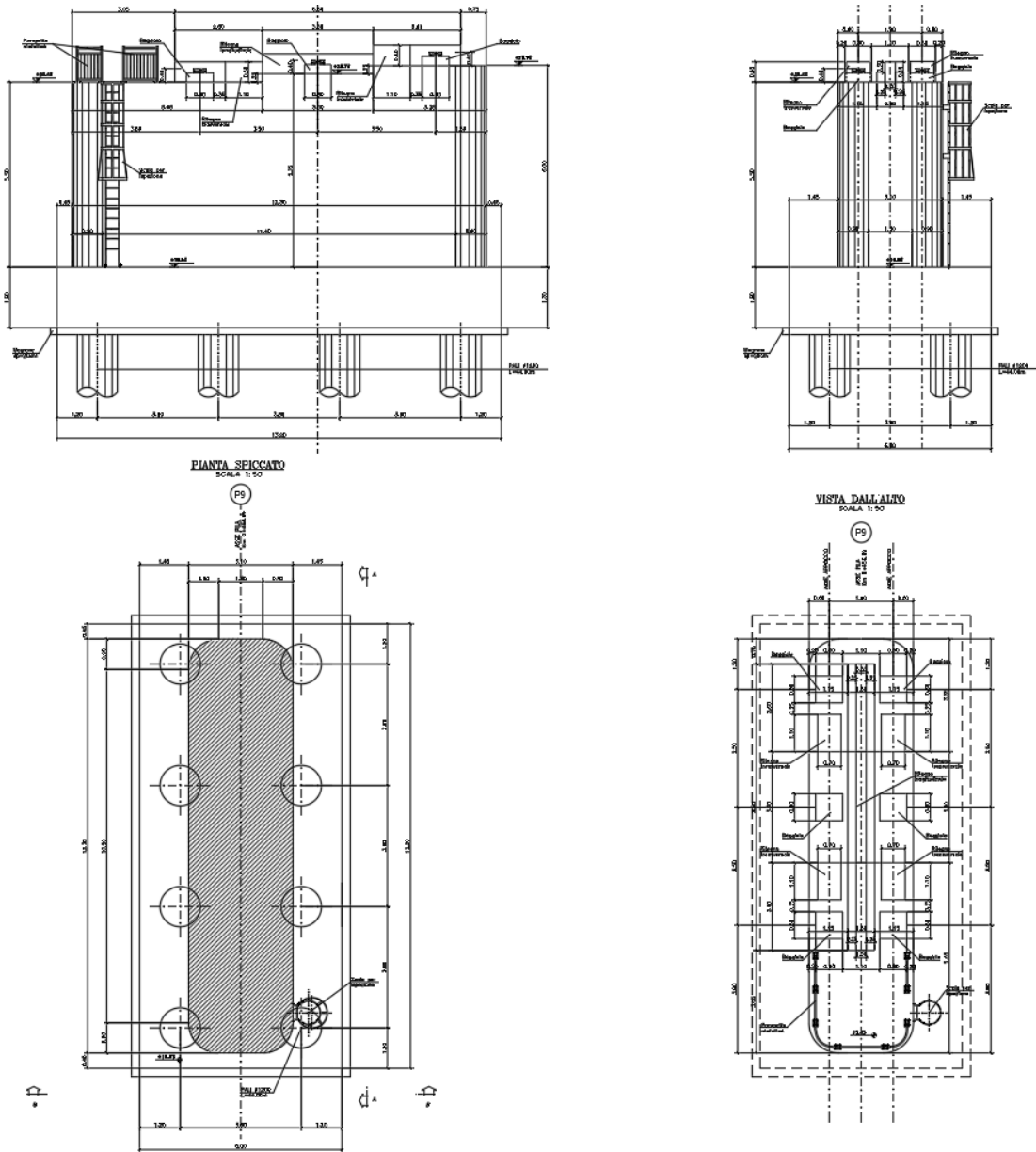


Figura 1.1. Sezione trasversale e pianta - Pile

Relazione di calcolo pali di fondazione

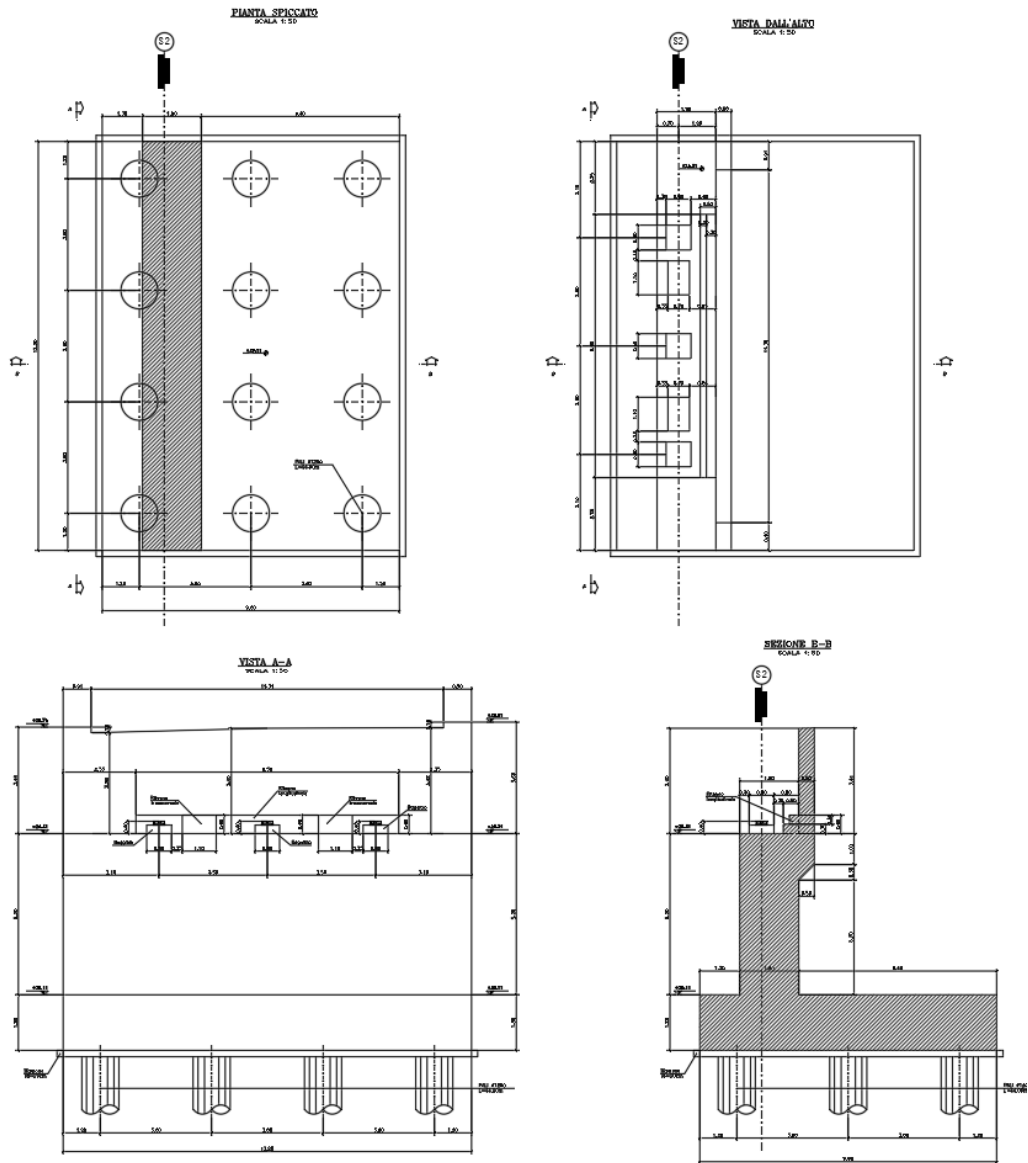


Figura 1.2. Sezione trasversale e pianta - Spalle

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

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

- L. n. 64 del 2/2/1974 "Provvedimento per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- L. n. 1086 del 5/11/1971 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- CNR-DT207/2008 Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.
- UNI EN 206-1:2006 Parte 1: Calcestruzzo-Specificazione, prestazione, produzione e conformità;
- EUROCODICE 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo
- EUROCODICE 7: progettazione geotecnica
- Eurocodice 8. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

### 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 STRATIGRAFIA

Si riporta di seguito il profilo geologico-geotecnico:

Litotipo	Unità geologica	Unità geotecnica	z da pc	$\gamma$	$c'$	$\phi'$	cu	Cc	Cs	OCR	$E'$
			[m]	[ $\text{kN/m}^3$ ]	[kPa]	[°]	[°]	[-]	[-]	[-]	[MPa]
argilla sovraconsolidata	LSA/LAS/SL	Aoc1	0 ÷ 5	19	15	28	75	-	-	5	10
argilla sovraconsolidata		Aoc2	5 ÷ 15	19	15	28	75	0.3	0.06	5	-
argilla normalconsolidata		Anc	15 ÷ (30÷40)	19	0	28	0.22x $\sigma_v$	0.3	0.04	1.0÷1.3	-
sabbie e ghiaie	GSL	S-Gh	(30÷40) ÷ (40÷50)	18.5	-	35	-	-	-	-	50
argille consistenti plioceniche	AL	Apl	> 40÷50	19.5	30	26	150	0.2	0.04	4	80

Legenda tabella:

$\gamma$  = peso dell'unità di volume

$c'$  = coesione efficace

$\phi'$  = angolo di attrito

cu = coesione non drenata

Cc = coefficiente di compressibilità

Cs = coefficiente di rigonfiamento

OCR = grado di sovraconsolidazione

$E'$  = modulo di Young

La falda è posta a testa palo.

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:

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

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

$$E_{MR} = E_{MR,0} + kh \cdot z \quad [FL^{-2}]$$

dove:

$E_{MR,0}$  = 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.

### 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:

$H_0$  = azione tagliante in testa palo [F];

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

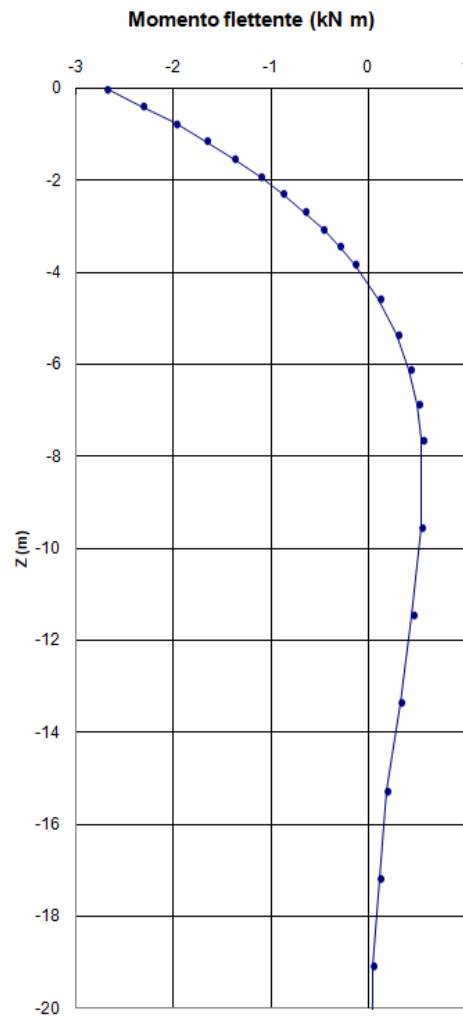
$\alpha_m$  = rapporto momento taglio in testa palo nell'ipotesi di rotazione impedita [L];

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

**Relazione di calcolo pali di fondazione**

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.

	$\alpha_m$
D=1200mm	2.7



#### 4.3 VALUTAZIONE KO/KA

##### Spalla 1:

Dall'analisi svolta preliminarmente sulla spalla, ipotizzando per la fase simica l'attivazione della spinta attiva, si ottiene un taglio sul palo pari ad 1076 kN. Lo spostamento risultante alla testa del palo è pari ad  $v_a = 13.2$  mm; si ha dunque:

$$v_a/h = 0.12\% > 0.05\% \text{ (EC7 – Parte 1 – annesso C)}$$

con  $h = 11.3$ m

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

##### Spalla 2:

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  $v_a = 11.8$  mm; si ha dunque:

$$v_a/h = 0.11\% > 0.05\% \text{ (EC7 – Parte 1 – annesso C)}$$

con  $h = 10.5$ 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:

MANDATARIA



MANDANTE



**ICARIA**  
società di ingegneri

- 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 4-1 – 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 4-2 – 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

Si riporta di seguito la verifica a carico limite:

Spalla 1 Nmax = 5901 kN

**Relazione di calcolo pali di fondazione**

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

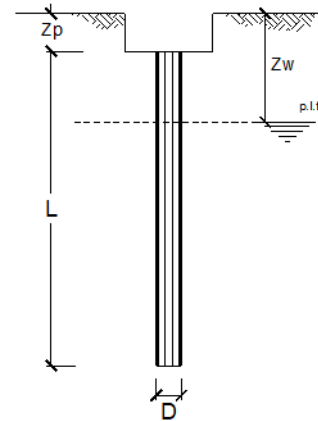
**CANTIERE:**

**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D): 1.20 (m) Area del Palo (Ap): 1.131 (m<sup>2</sup>)  
Quota testa Palo dal p.c. (z<sub>p</sub>): 2.00 (m) Quota falda dal p.c. (z<sub>w</sub>): 2.00 (m)  
Carico Assiale Permanente (G): 5901 (kN) Carico Assiale variabile (Q): 0 (kN)  
Numero di strati 3  $\frac{1}{2}$  Lpalo = 45.00 (m)

coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base			
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	$\gamma_b$	$\gamma_s$	$\gamma_{s\text{traz}}$	
S.U.	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)	$\Phi'_{med}$ (°)	$Cu_{med}$ (kPa)
1	28.00		19.00			75.0
2	15.00		19.00			50.0
3	2.00		18.50		35.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	$\mu$	a	$\alpha$
0.00	0.00		0.60
0.00	0.00		0.80
0.43	0.70		

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

**Relazione di calcolo pali di fondazione**

PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)						Coefficienti di Calcolo				
Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno				k (-)	μ (-)	a (-)	α (-)
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	C <sub>min</sub> (kPa)	Φ <sub>min</sub> (°)	C <sub>u min</sub> (kPa)				
1	28.00		19.00			75.0	0.00	0.00	0.60	
2	15.00		19.00			50.0	0.00	0.00	0.80	
3	2.00		18.50		35.0		0.43	0.70		

**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	28.00		4750.1					4750.1					
2	15.00		2261.9					2261.9					
3	2.00		975.9	14.76	0.00	6526.1	7380.9	975.9	14.76	0.00	6526.1	7380.9	

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$Nd = Ng \cdot \gamma_g + Nq \cdot \gamma_q$$

$$Nd = 5901.0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ med}} = 7380.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ med}} = 7988.0 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ med}} = 15368.8 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ min}} = 7380.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ min}} = 7988.0 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ min}} = 15368.8 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = 7380.9 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 7988.0 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 15368.8 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

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

$$R_{c,d} = 7284.6 \text{ (kN)}$$

$$Fs = R_{c,d} / Nd$$

$$Fs = 1.23$$

Spalla 2  $N_{max} = 5783 \text{ kN}$

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

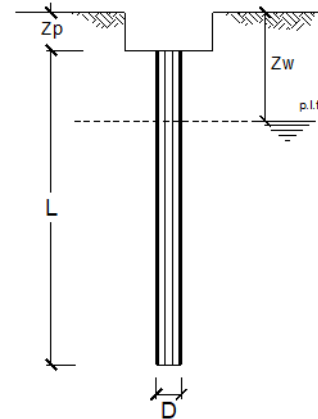
**CANTIERE:**

**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D): 1.20 (m) Area del Palo (A<sub>p</sub>): 1.131 (m<sup>2</sup>)  
 Quota testa Palo dal p.c. (z<sub>p</sub>): 2.00 (m) Quota falda dal p.c. (z<sub>w</sub>): 2.00 (m)  
 Carico Assiale Permanente (G): 5783 (kN) Carico Assiale variabile (Q): 0 (kN)  
 Numero di strati 3  $\frac{1}{2}$  L<sub>palo</sub> = 44.00 (m)

coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base		
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	$\gamma_b$	$\gamma_s$	$\gamma_{s \text{ traz}}$
		$\gamma_G$	$\gamma_Q$			
SUD	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.
$\xi_3$	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

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	PARAMETRI MEDI			
			Parametri del terreno			
			$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C' med (kPa)	$\Phi$ med (°)	C <sub>u</sub> med (kPa)
1	28.00		19.00			75.0
2	15.00		19.00			50.0
3	1.00		18.50		35.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	$\mu$	a	$\alpha$
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.60
0.00	0.00		0.80
0.43	0.70		

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

**Relazione di calcolo pali di fondazione**

**PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)**

Strato	Spess (-) (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno				Coefficienti di Calcolo			
			$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$C_{min}$ (kPa)	$\Phi_{min}$ (°)	$C_{u min}$ (kPa)	$k$ (-)	$\mu$ (-)	$a$ (-)	$\alpha$ (-)
1	28.00		19.00			75.0	0.00	0.00		0.60
2	15.00		19.00			50.0	0.00	0.00		0.80
3	1.00		18.50		35.0		0.43	0.70		

**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	28.00		4750.1					4750.1					
2	15.00		2261.9					2261.9					
3	1.00		483.2	14.76	0.00	6400.6	7238.9	483.2	14.76	0.00	6400.6	7238.9	

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$N_d = N_g \cdot \gamma_g + N_q \cdot \gamma_q$   
 $N_d = 5783.0 \text{ (kN)}$

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

base  $R_{b,cal med} = 7238.9 \text{ (kN)}$   
 laterale  $R_{s,cal med} = 7495.2 \text{ (kN)}$   
 totale  $R_{c,cal med} = 14734.1 \text{ (kN)}$

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

base  $R_{b,cal min} = 7238.9 \text{ (kN)}$   
 laterale  $R_{s,cal min} = 7495.2 \text{ (kN)}$   
 totale  $R_{c,cal min} = 14734.1 \text{ (kN)}$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal med}/\xi_3 ; R_{b,cal min}/\xi_4) = 7238.9 \text{ (kN)}$   
 $R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal med}/\xi_3 ; R_{s,cal min}/\xi_4) = 7495.2 \text{ (kN)}$   
 $R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 14734.1 \text{ (kN)}$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$   
 $R_{c,d} = 6971.4 \text{ (kN)}$   
 $F_s = R_{c,d} / N_d$   
 $F_s = 1.21$



Pila 9 Nmax = 5632 kN

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

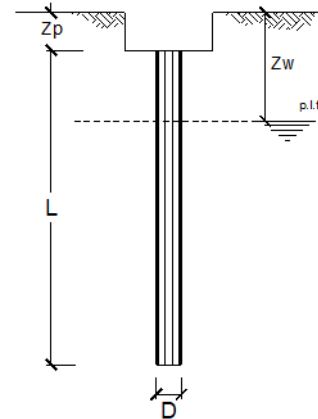
**CANTIERE:**

**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D): 1.20 (m) Area del Palo (Ap): 1.131 (m<sup>2</sup>)  
Quota testa Palo dal p.c. (z<sub>p</sub>): 2.00 (m) Quota falda dal p.c. (z<sub>w</sub>): 2.00 (m)  
Carico Assiale Permanente (G): 5632 (kN) Carico Assiale variabile (Q): 0 (kN)  
Numero di strati 3  $\frac{1}{2}$  Lpalo = 44.00 (m)

coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base			
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	$\gamma_b$	$\gamma_s$	$\gamma_{s\text{traz}}$	
		$\gamma_G$	$\gamma_Q$				
SUD	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.
$\xi_3$	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

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	PARAMETRI MEDI			
			Parametri del terreno			
			$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C' med (kPa)	$\Phi'$ med (°)	Cu med (kPa)
1	28.00		19.00			75.0
2	15.00		19.00			50.0
3	1.00		18.50		35.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	$\mu$	a	$\alpha$
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.60
0.00	0.00		0.80
0.43	0.70		

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

Relazione di calcolo pali di fondazione

PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno				Coefficienti di Calcolo			
			$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$C_{min}$ (kPa)	$\Phi_{min}$ (°)	$C_u_{min}$ (kPa)	$k$ (-)	$\mu$ (-)	$a$ (-)	$\alpha$ (-)
1	28.00		19.00			75.0	0.00	0.00		0.60
2	15.00		19.00			50.0	0.00	0.00		0.80
3	1.00		18.50		35.0		0.43	0.70		

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	28.00		4750.1					4750.1					
2	15.00		2261.9					2261.9					
3	1.00		483.2	14.76	0.00	6400.6	7238.9	483.2	14.76	0.00	6400.6	7238.9	

CARICO ASSIALE AGENTE

$$Nd = Ng \cdot \gamma_g + Nq \cdot \gamma_q$$

$$Nd = 5632.0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

$$\text{base } R_{b,cal \text{ med}} = 7238.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ med}} = 7495.2 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ med}} = 14734.1 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

$$\text{base } R_{b,cal \text{ min}} = 7238.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ min}} = 7495.2 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ min}} = 14734.1 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = 7238.9 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 7495.2 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 14734.1 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

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

$$R_{c,d} = 6971.4 \text{ (kN)}$$

$$Fs = R_{c,d} / Nd$$

$$Fs = 1.24$$

Pila 7  $N_{max} = 5907 \text{ kN}$

MANDATARIA



MANDANTE



ICARIA  
società di ingegneri

**Relazione di calcolo pali di fondazione**

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

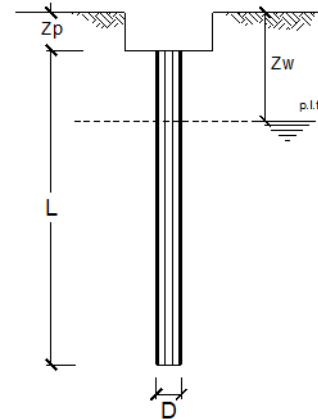
**CANTIERE:**

**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D): 1.20 (m) Area del Palo (A<sub>p</sub>): 1.131 (m<sup>2</sup>)  
 Quota testa Palo dal p.c. (z<sub>p</sub>): 2.00 (m) Quota falda dal p.c. (z<sub>w</sub>): 2.00 (m)  
 Carico Assiale Permanente (G): 5907 (kN) Carico Assiale variabile (Q): 0 (kN)  
 Numero di strati 3  $\frac{1}{2}$  L<sub>palo</sub> = 45.00 (m)

coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base			
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	$\gamma_b$	$\gamma_s$	$\gamma_{s\text{traz}}$	
		$\gamma_G$	$\gamma_Q$				
SUD	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.
$\xi_3$	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

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	PARAMETRI MEDI			
			Parametri del terreno			
			$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C' med (kPa)	$\Phi'$ med (°)	C <sub>u</sub> med (kPa)
1	28.00		19.00			75.0
2	15.00		19.00			50.0
3	2.00		18.50		35.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	$\mu$	a	$\alpha$
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.60
0.00	0.00		0.80
0.43	0.70		

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

**Relazione di calcolo pali di fondazione**

PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)						Coefficienti di Calcolo				
Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno				k (-)	μ (-)	a (-)	α (-)
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	C <sub>min</sub> (kPa)	Φ <sub>min</sub> (°)	C <sub>u min</sub> (kPa)				
1	28.00		19.00			75.0	0.00	0.00	0.60	
2	15.00		19.00			50.0	0.00	0.00	0.80	
3	2.00		18.50		35.0		0.43	0.70		

**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	28.00		4750.1					4750.1					
2	15.00		2261.9					2261.9					
3	2.00		975.9	14.76	0.00	6526.1	7380.9	975.9	14.76	0.00	6526.1	7380.9	

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$Nd = Ng \cdot \gamma_g + Nq \cdot \gamma_q$$

$$Nd = 5907.0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ med}} = 7380.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ med}} = 7988.0 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ med}} = 15368.8 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

$$\text{base } R_{b,cal \text{ min}} = 7380.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ min}} = 7988.0 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ min}} = 15368.8 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = 7380.9 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 7988.0 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 15368.8 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

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

$$R_{c,d} = 7284.6 \text{ (kN)}$$

$$Fs = R_{c,d} / Nd$$

$$Fs = 1.23$$

#### 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.

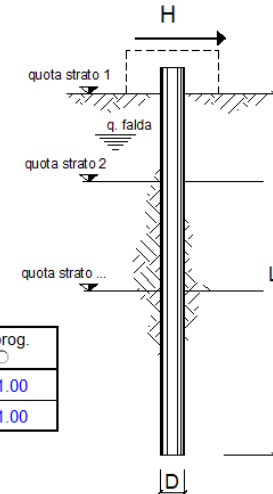
In particolare, il fattore di sicurezza di normativa per la verifica a carico orizzontale è  $FS = \gamma_T \cdot \xi_3 = 1.30 \cdot 1.70 = 2.21$  (da normativa vigente per verifica A1+M1+R3).

Il valore caratteristico della resistenza ( $H_{max}$ ) è stato valutato considerando i seguenti momenti di plasticizzazione:

- Spalla 1 (D=1200mm, armatura 32+32  $\phi$  26):  $M_y$  pari a 4892 kNm

opera

coefficienti parziali Metodo di calcolo			A		M		R
			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_F$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
SISMA	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	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		100.00	19	9	0	1.00	75	0	1.00	75
□ 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)

**Relazione di calcolo pali di fondazione**

Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  **4892.00** (kNm)  
Step di calcolo **0.01** (m)

palo impedito di ruotare  
 palo libero

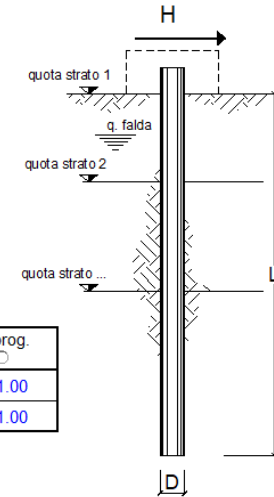
**Calcolo**  
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>			<u>H minimo</u>	
Palo lungo	2790.4	(kN)		2790.4	(kN)
Palo intermedio	8910.0	(kN)		8910.0	(kN)
Palo corto	22850.1	(kN)		22850.1	(kN)
	<b>H<sub>med</sub> 2790.4</b>	<b>(kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub> 2790.4</b>	<b>(kN)</b>
				<b>1641.44</b>	<b>(kN)</b>
				<b>1262.65</b>	<b>(kN)</b>
Carico Assiale Permanente (G):			G =	<b>1080</b>	<b>(kN)</b>
Carico Assiale variabile (Q):			Q =	<b>0</b>	<b>(kN)</b>
			<b>F<sub>d</sub> = G · γ<sub>G</sub> + Q · γ<sub>Q</sub> =</b>	<b>1080.00</b>	<b>(kN)</b>
			<b>FS = H<sub>d</sub> / F<sub>d</sub> =</b>	<b>1.17</b>	

- Spalla 2 (D=1200mm, armatura 30+30 φ 26):  $M_y$  pari a 4653 kNm

opera

coefficienti parziali			A		M		R
			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_{\varphi}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
CUB	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	1.00
definiti dal progettista		<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30



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		100.00	19	9	0	1.00	75	0	1.00	75
<input type="checkbox"/> strato 2						1.00			1.00	
<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 1.20 (m)

Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  4653.00 (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	2693.2 (kN)		2693.2 (kN)
Palo intermedio	8893.8 (kN)		8893.8 (kN)
Palo corto	22850.1 (kN)		22850.1 (kN)

$H_{med}$  2693.2 (kN) Palo lungo  $H_{min}$  2693.2 (kN) Palo lungo

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) \quad 1584.26 \quad (\text{kN})$$

$$H_d = H_k/\gamma_T \quad 1218.67 \quad (\text{kN})$$

Carico Assiale Permanente (G):  $G = 960$  (kN)

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

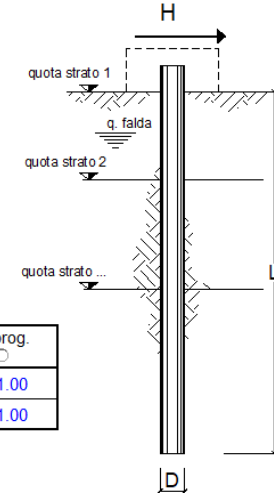
$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 960.00 \quad (\text{kN})$$

$$FS = H_d / F_d = 1.27$$

- Pila 9 (D=1200mm, armatura 26 $\phi$ 26):  $M_y$  pari a 2344 kNm

opera

coefficienti parziali			A		M		R
			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_{\varphi}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
CUB	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	1.30



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		100.00	19	9	0	1.00	75	0	1.00	75
<input type="checkbox"/> strato 2						1.00			1.00	
<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 1.20 (m)

Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  2344.00 (kNm)

Step di calcolo 0.01 (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

Calcolo  
(ctrl+r)

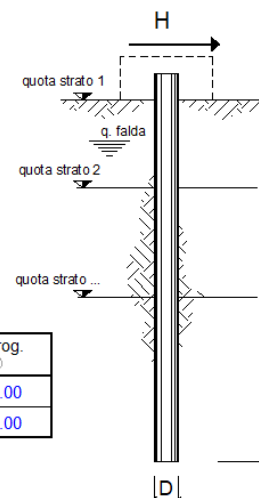
	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	1664.5 (kN)		1664.5 (kN)	
Palo intermedio	8780.4 (kN)		8780.4 (kN)	
Palo corto	22850.1 (kN)		22850.1 (kN)	
	$H_{med}$ 1664.5 (kN)	Palo lungo	$H_{min}$ 1664.5 (kN)	Palo lungo
	$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)$		979.15 (kN)	
	$H_d = H_k/\gamma_T$		753.19 (kN)	
	Carico Assiale Permanente (G): G =		692 (kN)	
	Carico Assiale variabile (Q): Q =		0 (kN)	
	$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q =$		692.00 (kN)	
	FS = $H_d / F_d =$		1.09	

- Pila 7 (D=1200mm, armatura 20  $\phi 26$ ):  $M_y$  pari a 1866 kNm



opera

coefficienti parziali			A		M		R
			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_\psi$	$\gamma_{ou}$	$\gamma_T$
CUB	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	1.30



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	19	9	0	1.00	75	0	1.00	75
<input type="checkbox"/> strato 2						1.00			1.00	
<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 1.20 (m)  
 Momento di plasticizzazione palo My 1866.00 (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	1405.4 (kN)		1405.4 (kN)	
Palo intermedio	8764.2 (kN)		8764.2 (kN)	
Palo corto	22850.1 (kN)		22850.1 (kN)	
	<b>H<sub>med</sub> 1405.4 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub> 1405.4 (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>		826.68 (kN)	
	<b>H<sub>d</sub> = H<sub>k</sub>/γ<sub>T</sub></b>		<b>635.90 (kN)</b>	
	Carico Assiale Permanente (G):	G =	484 (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>484.00 (kN)</b>	
	<b>FS = H<sub>d</sub> / F<sub>d</sub> =</b>		<b>1.31</b>	