

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J47109000030009

## U.O. INFRASTRUTTURE NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

#### POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO MILANO-ROGOREDO-PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA OPERE PRINCIPALI - SOTTOVIA E SOTTOPASSI

VI10 - Scavalco sottovia st Cantone tre Miglia km 23+735,42

Relazione geotecnica dell'opera

SCALA:

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

N M 0 Z 2 0 D 2 6 R B V I 1 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	CONSORZIO INTEGRATA	Novembre 2018	F.Coppini/A.Maran 	Novembre 2018	S. Borelli 	Novembre 2018	F. Baccetti Novembre 2018	Novembre 2018

ITALFERR - UC INFRASTRUTTURE NORD  
Dott. Ing. Francesco Sgarbi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
n. 23172 Sez. A

File: NM0Z20D26RBVI1000001A

n. Elab.:

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	4
3	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	6
4	PARAMETRI GEOTECNICI .....	7
5	MATERIALI .....	8
6	GEOMETRIA DELLA PALIFICATA.....	10
7	VERIFICA PALI DI FONDAZIONE .....	11
7.1	METODOLOGIA DI CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE.....	11
7.2	METODOLOGIA DI CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE .....	12
7.3	VERIFICHE GEOTECNICHE CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE .....	14
7.4	VERIFICHE GEOTECNICHE CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE .....	16

## 1 PREMESSA

Nell'ambito degli interventi di potenziamento della linea Milano – Genova, si prevede il quadruplicamento della linea ferroviaria nella tratta Milano Rogoredo-Pavia; in prima fase il quadruplicamento interesserà il tratto di linea compreso fra le stazioni di Milano Rogoredo e Pieve Emanuele, per essere esteso in fase successiva fino a Pavia.

Il quadruplicamento in oggetto, a partire dall'uscita della stazione Milano Rogoredo, prosegue in affiancamento alla linea storica e su una nuova sede e si sviluppa a sud di Milano, estendendosi per circa 30 km lungo l'attuale linea ferroviaria tra i nodi di Milano Rogoredo e Pavia.



Figura 1-1 – Ubicazione del tracciato dell'opera in progetto

Nella presente relazione è riportato il calcolo geotecnico delle fondazioni dell'opera principale *VII0 – Scavalco sottovia St Cantone Tre Miglia*.

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del presente documento è quello di effettuare le verifiche geotecniche delle fondazioni delle spalle di cui alla premessa.

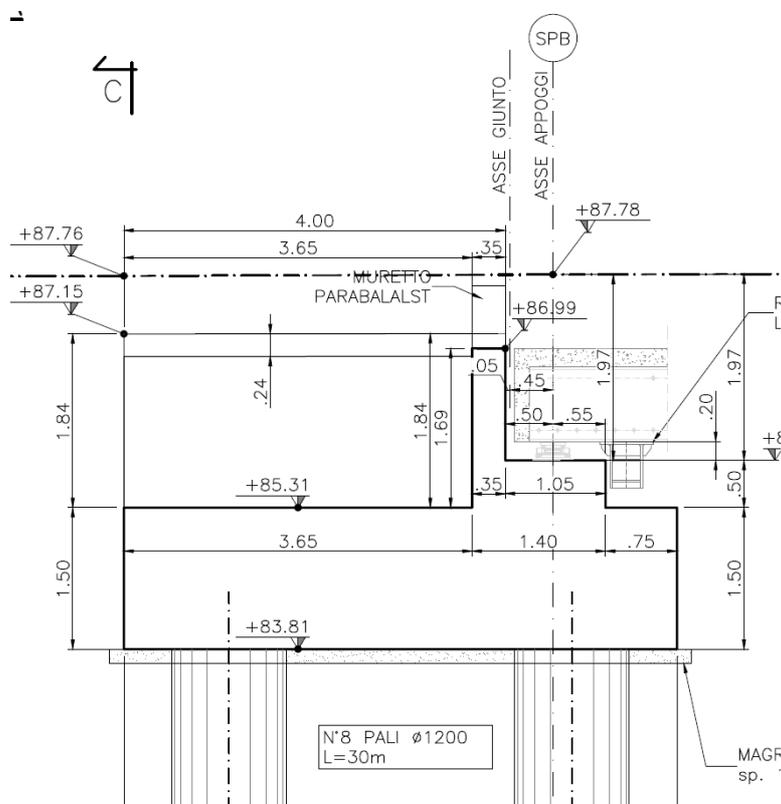
Il muro frontale in entrambe le spalle ha uno spessore di 1.40m, un'altezza di 0.50m ed una larghezza di 13.20m. Il muro paraghiaia, anch'esso avente larghezza pari a 13.20m, è spesso 0.35m ed ha un'altezza massima di 1.30m.

I due muri andatori hanno uno spessore di 0.40m, un'altezza massima di 1.67m.

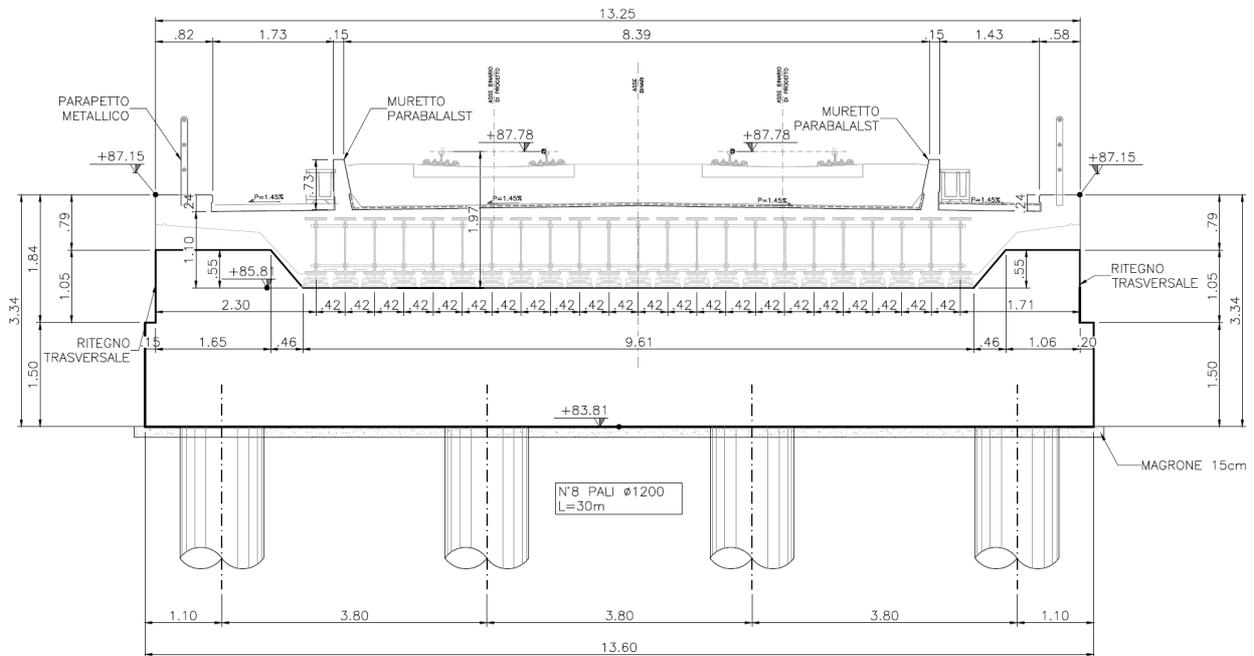
Lungo ciascun muro andatore è presente per tutto lo sviluppo della spalla, un cordolo in calcestruzzo di larghezza complessiva pari ad 0.8m (di cui 0.4m a sbalzo) lato marciapiede e 0.56 (di cui 0.16m a sbalzo) dall'altro lato.

La fondazione delle spalle è costituita da un plinto su pali trivellati di grande diametro. Il plinto di fondazione è spesso 1.50m e presenta dimensioni in pianta pari a 13.60x5.80 m. La palificata si compone di 8 pali aventi diametro pari ad 1.2m e disposti con interasse pari a 3.6m in direzione longitudinale e 3.80m in direzione trasversale.

Nelle immagini successive è mostrata la carpenteria della spalla tipo.



**Fig. 1 – Sezione longitudinale**



**Fig. 2 – Sezione trasversale**

Per maggiori dettagli si rimanda alla descrizione tecnica descrittiva dell'opera.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
VI09 – Scavalco via per Biolo <i>Relazione geotecnica dell'opera</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO RBVI0900001	REV. A	FOGLIO 6 di 18

### 3 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali sono stati condotti nel rispetto delle seguenti normative:

- Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008: Nuove norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare 2 febbraio 2009, n.617: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- Circolare 15 ottobre 1996, n.252 AA.GG./S.T.C.: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996;
- RFI DTC SI MA IFS 001 B: "Manuale di progettazione delle opere civili" del 22/12/2017.

Riferimenti STI:

– Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione europea;

– Regolamento (UE) N. 1300/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per l'accessibilità del sistema ferroviario dell'Unione per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta;

– Regolamento (UE) N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "energia" del sistema ferroviario dell'Unione europea;

– Regolamento (UE) N. 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità concernente la "sicurezza nelle gallerie ferroviarie" del sistema ferroviario dell'Unione europea;

– Regolamento (UE) 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi "controllo-comando e segnalamento" del sistema ferroviario nell'Unione europea.

#### 4 PARAMETRI GEOTECNICI

Si è fatto riferimento ai seguenti parametri geotecnici forniti.

ZONA	SONDAGGIO DI RIFERIMENTO	PROFONDITA'	UNITA' TERRENO
15	S3	da 0 a 30m	S

$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\Phi'$ [°]		$\Phi'$ [°] scelto	$E'_{op}$ [MPa]		$V_s$ [m/s]		categoria terreno	$G_0$ [MPa]		
		max	min		laboratorio	max	min	max		min	max	min
20	16	30	24	32	30	63	7	393	144	C	310	42

La falda è situata a quota 79.05 m s.l.m., a circa -5.40m da PC.

## 5 MATERIALI

CALCESTRUZZO								
Tipo Calcestruzzo		Rapporto a/c max (UNI EN 206)	Classe di lavorabilità	Tipo di cemento	Classe di resistenza minima C(fck/Rck) <sub>min</sub>	Classe di esposizione ambientale (UNI EN 206)	Dmax inerti (mm)	Campi di Impiego
A	1	0,45	S4-S5	CEM I-V	C45/55	XC3	20	– Impalcati ed Elementi in c.a.p. prefabbricati
B	1	0,45	S4-S5	CEM I-V	C35/45	XC3	25	– Elementi prefabbricati in c.a. per strutture fuori terra
	1	0,45	S4-S5	CEM I-V	C35/45	XC3	20	– Predalles con funzioni strutturali
	3	0,50	S4-S5	CEM III-V	C32/40	XC4	20	– Vele prefabbricate
	3	0,55	S4-S5	CEM III-V	C30/37	XC3	20	– Predalles senza funzioni strutturali
	3	0,55	S3-S4	CEM III-V	C30/37	XA1	25	– Canalette portacavi ed altri elementi prefabbricati senza funzioni strutturali
C	1	0,50	S4-S5	CEM I-V	C32/40	XC4	25	– Impalcati in c.a. ordinari – Solette in c.a. gettate in opera in elevazione
	2	0,50	S3-S4	CEM III-V	C32/40	XC4	25	– Pile e spalle – Baggioni e pulvini – Strutture in c.a. in elevazione (Gallerie artificiali)
	2	0,50	S3-S4	CEM III-V	C30/37	XF2	25	– Sottovia a struttura scatolare
E	1	0,55	S3-S4	CEM III-V	C30/37	XA1	25	– Tombini a struttura scatolare e circolare – Portali
G	1	0,50	S3-S4	CEM III-V	C32/40	XC4	25	– Muri di controripa/sottoscarpa (compresa soletta di fondazione)
	2	0,60	S3-S4	CEM III-V	C25/30	XC2	25	– Solettoni di fondazione – Fondazioni armate
	2	0,50	S3-S4	CEM III-V	C30/37	XF3	25	– Cordoli di fondazione barriere antirumore
	3	0,60	S3-S4	CEM III-V	C25/30	XC2	40	– Fondazioni non armate (pozzi, sottopinti, ecc...)
	4	0,60	S3-S4	CEM III-V	C25/30	XC2	25	– Cunette, canalette e cordoli
H	1	0,60	S4-S5	CEM III-V	C25/30	XC2	32	– Pali (di paratie o opere di sostegno), diaframmi e relativi cordoli di collegamento gettati in opera – Micropali
	2	0,60	S4-S5	CEM III-V	C25/30	XC2	32	– Pali/diaframmi di fondazione gettati in opera
I		--	--	CEM I-V	C12/15	X0	--	– Magrone di riempimento e livellamento

ACCIAIO	
ACCIAIO IN BARRE PER GETTI E RETI ELETTROSALDATE	B450C fyk ≥ 450Mpa ftk ≥ 540Mpa 1.15 ≤ ftk/fyk < 1.35 fyk= tensione caratteristica di snervamento ftk= tensione caratteristica di rottura
ACCIAIO ARMONICO DI TIPO STABILIZZATO PER TRAVI E TRAVERSI	Trefoli Ø0,6" fptk 1860 MPa – fp(1)k 1670 MPa a trave
ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA STRUTTURE PRINCIPALI	S355J2 (ex FE 510 D1) classe di esecuzione (UNI EN 1090-2): EXC3
ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA STRUTTURE SECONDARIE	S275JR (ex FE 430 B) classe di esecuzione (UNI EN 1090-2): EXC3
BULLONI PER UNIONI A TAGLIO	VITE Classe 8.8; DADO Classe 8
BULLONI PER UNIONI AD ATTRITO	VITE Classe 10.9; DADO Classe 10
ACCIAIO PER ARMATURA MICROPALI	S275JR (ex FE 430 B)
SALDATURE	In accordo con istruzione FS 44/S
PIOLI	Acciaio S235 J2G3 + C450 fu/fy ≥ 1.2 fy ≥ 350 Mpa fu ≥ 450 Mpa Allungamento ≥ 12% Strizione ≥ 50% Composizione Chimica C ≤ 0.18; Mn ≤ 0.9; S ≤ 0.04; P ≤ 0.05



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
	VI09 – Scavalco via per Biolo <i>Relazione geotecnica dell'opera</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO RBVI090001	REV. A

## 7 VERIFICA PALI DI FONDAZIONE

### 7.1 Metodologia di calcolo della capacità portante

La Normativa tecnica per le costruzioni del 2008 fornisce le indicazioni sull'approccio metodologico e sui coefficienti parziali da adottare per le verifiche geotecniche con i metodi semiprobabilistici allo stato limite ultimo e di esercizio per le opere geotecniche.

Per verificare che la fondazione sia in grado di sopportare il carico di progetto con un adeguato margine di sicurezza nei confronti dello stato limite, deve verificarsi:

$$F_{c,d} \leq R_{c,d}$$

in cui

$F_{c,d}$  è il carico verticale di progetto

$R_{c,d}$  è la capacità portante verticale di progetto allo stato limite ultimo

Le verifiche sono state effettuate utilizzando i coefficienti parziali:

A : da applicare alle azioni permanenti, variabili e sismiche ( $\gamma G1 - \gamma G2 - \gamma Q$ )

M : da applicare alle resistenze dei materiali

R : da applicare alle resistenze laterali e di base ( $\gamma b - \gamma s - \gamma st$ )

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

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

L'azione di progetto applicata alla fondazione può esprimersi come

$$F_{c,d} = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_Q \cdot Q$$

mentre il carico limite di progetto è ricavato come

$$R_{c,d} = R_{bd} + R_{sd}$$

in cui

$R_{b,d}$  è la resistenza alla punta di progetto

$R_{s,d}$  è la resistenza laterale di progetto.

I valori delle resistenze di progetto sono ricavate dai valori caratteristici  $R_{b,k}$ ,  $R_{s,k}$  tramite coefficienti parziali ( $\gamma_b - \gamma_s$ )

$$R_{bd} = R_{bk} / \gamma_b$$

$$R_{sd} = R_{sk} / \gamma_s$$

I valori caratteristici devono essere determinati come:

$$R_{ck} = (R_{bk} + R_{sk}) = \min \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

in cui i valori  $\xi_3$ ,  $\xi_4$  sono fattori che dipendono dal numero di verticali indagate (tab. 6.4.IV).

**Tabella 6.4.IV – Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.**

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

## 7.2 Metodologia di calcolo della capacità portante orizzontale

Per verificare che la fondazione sia in grado di sopportare il carico di progetto con un adeguato margine di sicurezza nei confronti dello stato limite, deve verificarsi:

$$F_{tr,d} \leq R_{tr,d}$$

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
	VI09 – Scavalco via per Birolo <i>Relazione geotecnica dell'opera</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO RBVI090001	REV. A

in cui

$F_{tr,d}$  è il carico orizzontale di progetto

$R_{tr,d}$  è la capacità portante orizzontale di progetto allo stato limite ultimo

Le verifiche sono state effettuate utilizzando i coefficienti parziali:

A : da applicare alle azioni permanenti, variabili e sismiche ( $\gamma G1 - \gamma G2 - \gamma Q$ )

M : da applicare alle resistenze dei materiali

R : da applicare alle resistenze laterali e di base ( $\gamma T$ )

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 6.4.VI - Coefficienti parziali  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali.**

COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
$\gamma_T = 1,0$	$\gamma_T = 1,6$	$\gamma_T = 1,3$

L'azione di progetto applicata alla fondazione può esprimersi come

$$F_{tr,d} = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_Q \cdot Q$$

mentre la resistenza di progetto è ricavata da quella caratteristica tramite il coefficiente parziale

$$R_{tr,d} = \frac{R_{tr,k}}{\gamma_T}$$

Il valore caratteristico deve essere determinato come:

$$R_{tr,k} = \min \left\{ \frac{(R_{tr,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{tr,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

in cui i valori  $\xi_3, \xi_4$  sono fattori che dipendono dal numero di verticali indagate.

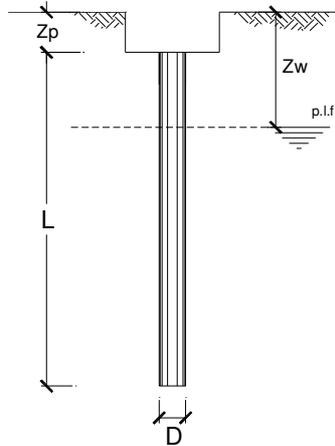
### 7.3 Verifiche geotecniche capacità portante verticale

#### 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>): 1.50 (m) Quota falda dal p.c. (z<sub>w</sub>): 6.29 (m)  
 Carico Assiale Permanente (G): 3866 (kN) Carico Assiale variabile (Q): (kN)  
 Numero di strati 1 Lpalo = 30.00 (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
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		1.10	1.20	1.50	1.30	1.30



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A	prog.
ξ <sub>s</sub>	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ <sub>t</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	30.00		20.00		30.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
0.50	0.58		0.70

(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	30.00		20.00		30.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
0.50	0.58		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	30.00		7315.7	15.88	0.00	5999.2	6784.9	7315.7	15.88	0.00	5999.2	6784.9

### CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$$

$$N_d = 3866.0 \text{ (kN)}$$

### CAPACITA' PORTANTE MEDIA

$$\text{base } R_{b,cal \text{ med}} = 6784.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ med}} = 7315.7 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ med}} = 14100.6 \text{ (kN)}$$

### CAPACITA' PORTANTE MINIMA

$$\text{base } R_{b,cal \text{ min}} = 6784.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ min}} = 7315.7 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ min}} = 14100.6 \text{ (kN)}$$

### CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = 3991.1 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 4303.4 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 8294.5 \text{ (kN)}$$

### CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

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

$$R_{c,d} = 5315.6 \text{ (kN)}$$

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

$$F_s = 1.37$$

## 7.4 Verifiche geotecniche capacità portante orizzontale

### Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

Diametro = 1200 (mm)  
Raggio = 600 (mm)  
Sforzo Normale = 868 (kN)

#### Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

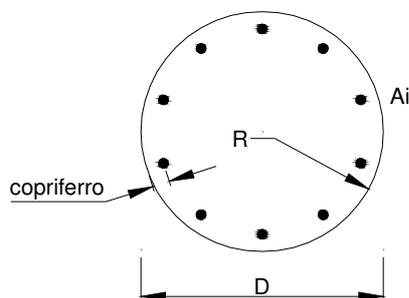
Rck = 40 (Mpa)

fck = 32 (Mpa)

$\gamma_c$  = 1.5

$\alpha_{cc}$  = 0.85

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 18.13$  (Mpa)



#### **Acciaio**

tipo di acciaio

f<sub>yk</sub> = 450 (Mpa)

$\gamma_s$  = 1.15

f<sub>yd</sub> = f<sub>yk</sub> /  $\gamma_s$  = 391.3 (Mpa)

E<sub>s</sub> = 206000 (Mpa)

$\epsilon_{ys}$  = 0.190%

$\epsilon_{uk}$  = 10.000%

#### **Armature**

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
28	φ 26	14866	75
0	φ 0	0	60
0	φ 0	0	60

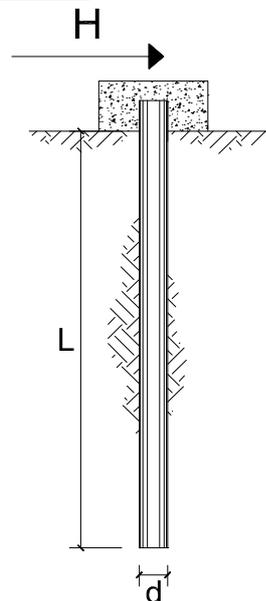
Calcolo

#### Momento di Plasticizzazione

M<sub>y</sub> = 2941.3 (kN m)

Inserisci

**CARICO LIMITE ORIZZONTALE DI UN PALO IN TERRENI INCOERENTI**  
**PALI CON ROTAZIONE IN TESTA IMPEDITA**



**OPERA:**

**TEORIA DI BASE:**

(Broms, 1964)

coefficienti parziali			A		M	R	
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	$\gamma_{\phi'}$	$\gamma_r$	
			$\gamma_G$	$\gamma_Q$			
SLU	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00	
	A2+M1+R2	○	1.00	1.30	1.00	1.60	
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	1.30	
	SISMA	○	1.00	1.00	1.00	1.30	
DM88			○	1.00	1.00	1.00	
definiti dal progettista			●	1.30	1.50	1.25	1.00

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
$\xi_s$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_t$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

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

**DATI DI INPUT:**

Lunghezza del palo	L =	30.00	(m)		
Diametro del palo	d =	1.20	(m)		
Momento di plasticizzazione della sezione	$M_y$ =	2941.33	(kN m)		
Angolo di attrito del terreno	$\phi'_{med}$ =	30.00	(°)	$\phi'_{min}$ =	30.00 (°)
Angolo di attrito di calcolo del terreno	$\phi'_{med,d}$ =	24.79	(°)	$\phi'_{min,d}$ =	24.79 (°)
Coeff. di spinta passiva ( $k_p = (1+\sin\phi')/(1-\sin\phi')$ )	$k_{p,med}$ =	2.44	(-)	$k_{p,min}$ =	2.44 (-)
Peso di unità di volume (con falda $\gamma = \gamma'$ )	$\gamma$ =	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )		

Palo corto:

$$H1_{med} = 79192.14 \quad (\text{kN}) \qquad H1_{min} = 79192.14 \quad (\text{kN})$$

Palo intermedio:

$$H2_{med} = 26495.42 \quad (\text{kN}) \qquad H2_{min} = 26495.42 \quad (\text{kN})$$

Palo lungo:

$$H3_{med} = 1899.89 \quad (\text{kN}) \qquad H3_{min} = 1899.89 \quad (\text{kN})$$

$$H_{med} = 1899.89 \quad (\text{kN}) \quad \text{palo lungo} \qquad H_{min} = 1899.89 \quad (\text{kN}) \quad \text{palo lungo}$$

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 1117.58 \quad (\text{kN})$$

$$H_d = H_k/\gamma_T = 1117.58 \quad (\text{kN})$$

$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 459.00 \quad (\text{kN})$$

$$FS = H_d / F_d = 2.43$$