

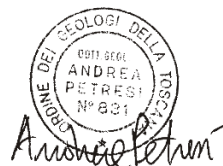
COMUNE DI PECCIOLI

(PROVINCIA DI PISA)



INDAGINE SUL TERRENO INTERESSATO DALLA
REALIZZAZIONE DI UN COLLEGAMENTO PEDONALE E
MECCANIZZATO DA VIA BELLINCIONI AL PARCHEGGIO
MULTIPIANO DEL CAPOLUOGO, COMUNE DI PECCIOLI, (PI).

SPECIFICHE DI DETTAGLIO PALIFICATA



COMMITTENTE:

BELVEDERE SPA
VIA MARCONI, 5
56037 - PECCIOLI

ottobre 2017

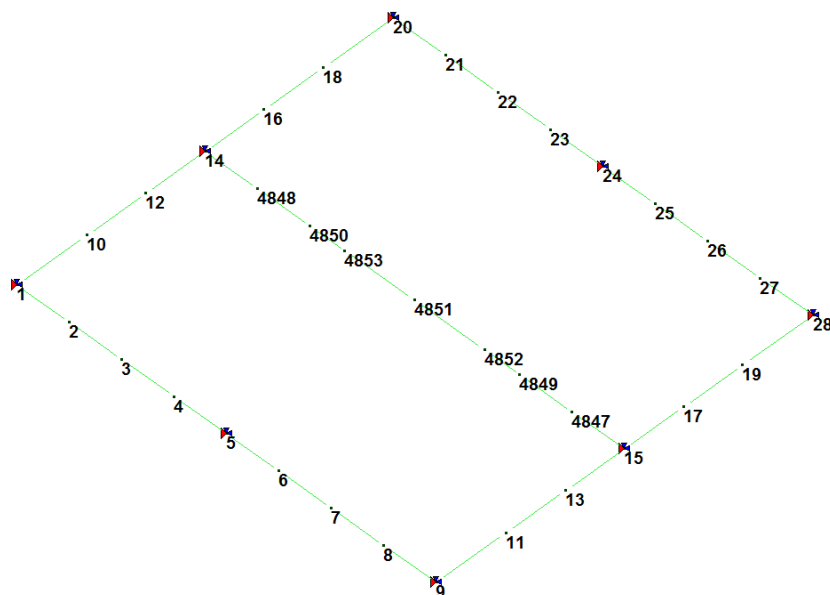
DOTT. GEOL. ANDREA PETRESI
VICOLO PETRESI, 7 - 56037 PECCIOLI (PI)
0587636054-3389608019
apetre@libero.it; a.petresi@pec.geologitoscana.net
P.IVA: 01481020509

PREMESSA

La seguente analisi è suddivisa in quattro capitoli:

- a) Pila S1 con calcolo micropali di dimensioni di lunghezza 16,14,12,10;
- b) Pila S2 con calcolo micropali di dimensioni di lunghezza 16,14,12,10;
- c) Pila S3 con calcolo micropali di dimensioni di lunghezza 16,14,12,10;
- d) Opere provvisionali di sostegno alla viabilità preesistente.

SOLLECITAZIONI ALLA BASE PILA S1



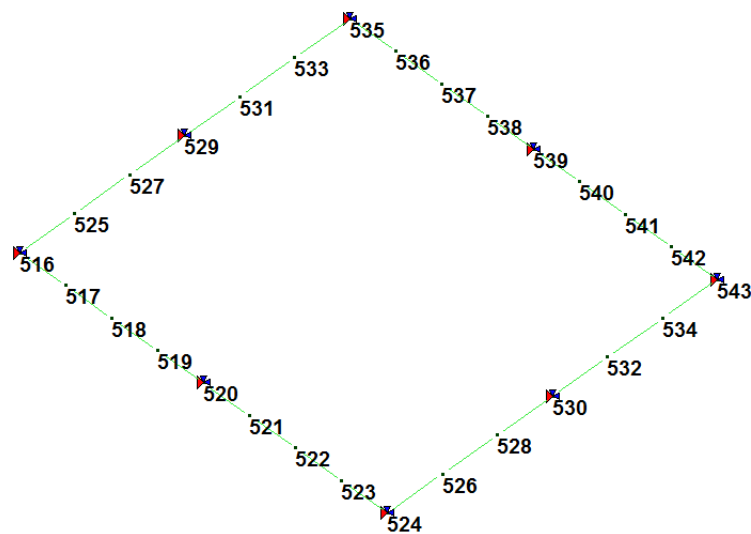
Nodi 9 – 28 $F_z = -452$ t minimo
Nodi 15 $F_z = -250$ t minimo
Nodi 5 – 24 $F_z = -320$ t minimo
Nodi 1 – 20 $F_z = +400$ t massimo
Nodi 14 $F_z = +150$ t massimo

Nodi 9 – 28 $F_y = \pm 40$ t
Nodi 15 $F_y = \pm 30$ t
Nodi 5 – 24 $F_y = \pm 5$ t
Nodi 1 – 20 $F_y = \pm 40$ t
Nodi 14 $F_y = \pm 30$ t

Nodi 9 – 28 $F_x = \pm 50$ t
Nodi 15 $F_x = \pm 1$ t
Nodi 5 – 24 $F_x = \pm 35$ t

Nodi 1 – 20 $F_x = \pm 50 \text{ t}$
 Nodi 14 $F_x = \pm 1 \text{ t}$

SOLLECITAZIONI ALLA BASE PILA S2

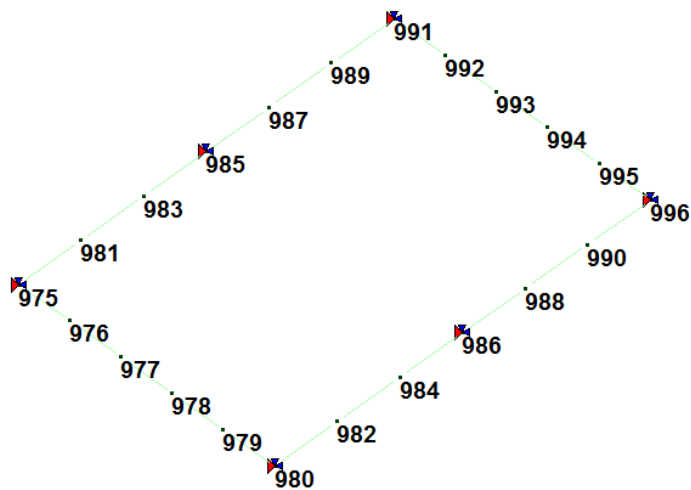


Nodi 524-543 $F_z = -310 \text{ t}$ massimo
 Nodi 530 $F_z = -270 \text{ t}$ massimo
 Nodi 520 - 539 $F_z = -90 \text{ t}$ minimo
 Nodi 516 - 535 $F_z = -370 \text{ t}$ minimo
 Nodi 529 $F_z = -330 \text{ t}$ minimo

Nodi 524-543 $F_y = \pm 40 \text{ t}$
 Nodi 530 $F_y = \pm 10 \text{ t}$
 Nodi 520 - 539 $F_y = \pm 5 \text{ t}$
 Nodi 516 - 535 $F_y = \pm 40 \text{ t}$
 Nodi 529 $F_y = \pm 10 \text{ t}$

Nodi 524-543 $F_x = \pm 40 \text{ t}$
 Nodi 530 $F_x = \pm 2 \text{ t}$
 Nodi 520 - 539 $F_x = \pm 30 \text{ t}$
 Nodi 516 - 535 $F_x = \pm 40 \text{ t}$
 Nodi 529 $F_x = \pm 2 \text{ t}$

SOLLECITAZIONI ALLA BASE PILA S3

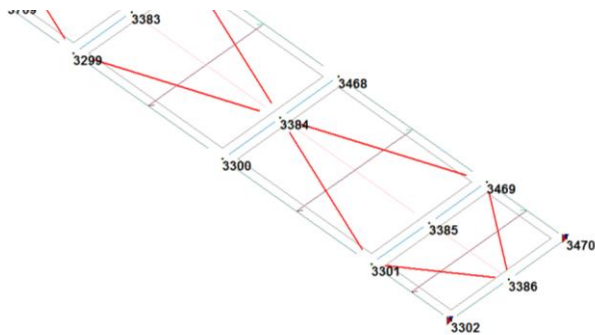


Nodi 975-991 $F_z = -75 \text{ t}$ massimo
 Nodi 985 $F_z = -40 \text{ t}$ massimo
 Nodi 980 - 996 $F_z = -75 \text{ t}$ minimo
 Nodi 986 $F_z = -40 \text{ t}$ minimo

Nodi 975-991 $F_y = \pm 13 \text{ t}$
 Nodi 985 $F_y = \pm 13 \text{ t}$
 Nodi 980 - 996 $F_y = \pm 13 \text{ t}$
 Nodi 986 $F_y = \pm 13 \text{ t}$

Nodi 975-991 $F_x = \pm 30 \text{ t}$
 Nodi 985 $F_x = \pm 2 \text{ t}$
 Nodi 980 - 996 $F_x = \pm 30 \text{ t}$
 Nodi 986 $F_x = \pm 2 \text{ t}$

SOLLECITAZIONI ALLA BASE fondazione di estremità



Nodi 3302-3470 $F_z = \pm 3 \text{ t}$

Nodi 3302-3470 $F_y = \pm 2 \text{ t}$

Si prospetta una soluzione con micropali vincolata alle conoscenze dello stato attuale delle strutture eventualmente interferenti.

La lunghezza del palo dovrà essere accertata in corso d'opera in funzione delle effettive condizioni litologiche riscontrate durante l'esecuzione dei micropali, di concerto con la D.L. , anche con conseguente riduzione delle lunghezze effettive e del numero di iniezioni selettive da eseguire, sulla base della curva pressiometrica o meglio della soglia di "claquage" deducibile in sito dalla risposta del terreno alle stesse iniezioni .

Calcolo micropali con metodo di Bustamante e Doix

Capacità portante limite $Q_u = Q_s = A_s q_s = \pi D_s L_s q_s$

dove D_s è il diametro efficace del micropalo $\rightarrow D_s = \varphi D_d$

con φ = *parametro amplificativo del diametro nominale del foro*

D_d = *diametro nominale del foro*

L_s è la lunghezza del tratto di micropalo connessa al terreno

q_s è la resistenza unitaria ad attrito laterale all'interfaccia palo terreno, i cui valori sono riportati in diagrammi distinti in base al tipo di terreno e in funzione della resistenza del terreno, espressa dalla resistenza alla penetrazione ricavata con prove SPT.

CARICO LIMITE

Micropali

Approccio di Bustamante e Doix (1985)

Terreno	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata
	IRS	IGU	
Ghiaia	1,8	1,3 - 1,4	$1,5 V_s$
Ghiaia sabbiosa	1,6 - 1,8	1,2 - 1,4	$1,5 V_s$
Sabbia ghiaiosa	1,5 - 1,6	1,2 - 1,3	$1,5 V_s$
Sabbia grossa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	$1,5 V_s$
Sabbia media	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	$1,5 V_s$
Sabbia fine	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	$1,5 V_s$
Sabbia limosa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	IRS: $(1,5 - 2)V_s$; IGU: $1,5 V_s$
Limo	1,4 - 1,6	1,1 - 1,2	IRS: $2V_s$; IGU: $1,5V_s$
Argilla	1,8 - 2,0	1,2	IRS: $(2,5 - 3)V_s$; IGU: $(1,5-2)V_s$
Marne	1,8	1,1 - 1,2	$(1,5 - 2)V_s$ per strati compatti
Calcarei marnosi	1,8	1,1 - 1,2	$(2 - 6)V_s$ o più per strati fratturati
Calcarei alterati o fratturati	1,8	1,1 - 1,2	
Roccia alterata e/o fratturata	1,2	1,1	$(1,1-1,5)V_s$ per strati poco fratturati $2V_s$ o più per strati fratturati

CARICO LIMITE

Micropali

Approccio di Bustamante e Doix (1985)

Determinazione della resistenza unitaria, s

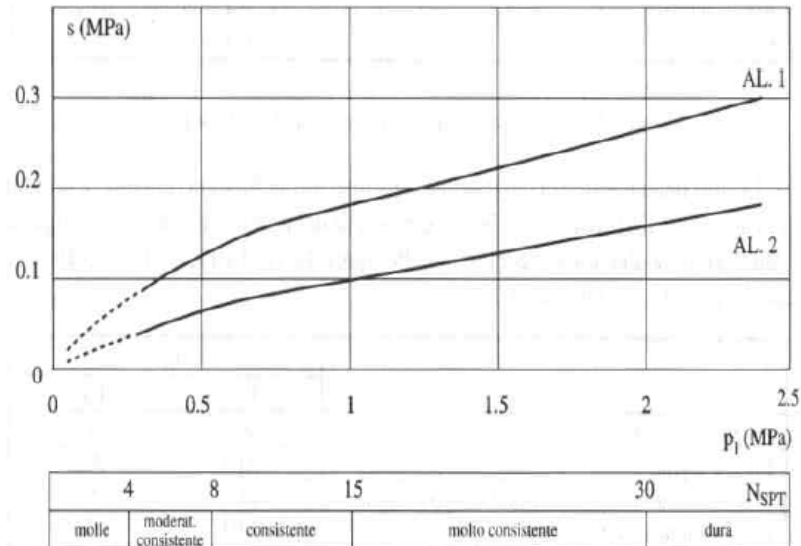
Terreno	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	$\geq R1$	$\geq R2$

CARICO LIMITE

Micropali

Approccio di Bustamante e Doix (1985)

Argille
-
limi



a) PILA S1 (sulla verticale del sondaggio S3)

Si considera un micropalo ($B=0,25$ m) di $L=16$ m (tipo IRS)

W = peso del micropalo = $\pi (D_d/2)^2 L_s 24 \text{ kN/m}^3 \approx 19$ kN

Il metodo non prevede il calcolo della capacità portante di base.

Capacità portante per attrito laterale $Q_{s,i} = A_{s,i} q_{s,i} = \pi D_{s,i} L_{s,i} q_{s,i}$

$D_s = \varphi D_d$ dove $\varphi=1,6$ $D_d=0,25$ m $q_{s,i}= 200$ kPa

$Q_s= 4019$ kN

NTC2008

Per il calcolo sono necessari 4 steps:

- 1-calcolo resistenza nominale → Formule classiche sempre usate, senza coefficienti di sicurezza
- 2- calcolo della Resistenza caratteristica → Resistenza nominale/ ξ = Resistenza caratteristica
- 3- calcolo della Resistenza di progetto → Resistenza caratteristica / R = Resistenza di progetto
- 4- Azione di progetto

Approccio 2, combinazione unica (STRU+GEO) = (A1+M1+R3)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 4019 \text{ kN}$

R_{calc} = valori di resistenza calcolati con i valori caratteristici delle terre penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (con $\gamma_m = 1,0$)

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 4019 \text{ kN} / 1,70 = 2364 \text{ kN}$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

Resistenza	Pali trivellati
Punta	1,35
Laterale in compressione)	1,15

$R_d = R_k / \gamma_r \quad 2364 \text{ kN} / 1,15 = 2056 \text{ kN}$

$R_d = 2056 \text{ kN}$

4° step: azione di progetto $E_d = \text{carichi} \times \text{coefficienti (A1)}$

CARICHI	EFFETTO	Coeff. parziale γ_F o γ_E	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

$$\begin{aligned}
 E_{d,gruppo} &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\
 &= (20 \times 19 \times 1,3 + 15416 \times 1,3 + 250 \times 1,5) \text{ kN} = (494 + 20041 + 375) \text{ kN} = \\
 &20910 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

R_d di una palificata è basata sulla resistenza del palo singolo:

$$R_{d,gruppo} = \eta N R_{d,singolo}$$

N = numero dei pali

η = efficienza della palizzata

Formula di Converse Labarre

$$\eta = 1 - [\theta(n-1)m + (m-1)n]/90mn$$

m= numero di file in direzione verticale

n= numero di file in direzione orizzontale

$\theta = \tan^{-1}(d/s)$ in gradi

d= diametro del palo singolo

s= interasse tra i pali

$$\eta = 0,863$$

$$R_{d,gruppo} = 0,863 \times 20 \times 2056 = 35487 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

Approccio 1: combinazione 2 = (A2+M2+R2)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 4019 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 4019 \text{ kN} / 1,70 = 2364 \text{ kN}$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

Resistenza	Pali trivellati
Punta	1,7
Laterale in compressione)	1,45

$R_d = R_k / \gamma_r \quad 2364 \text{ kN} / 1,45 = 1630 \text{ kN}$

$R_d = 1630 \text{ kN}$

4° step: azione di progetto $E_d = \text{carichi} \times \text{coefficienti (A1)}$

$E_{d, gruppo} = (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) =$

$$= (20 \times 19 \times 1,0 + 15416 \times 1,0 + 250 \times 1,3) \text{ kN} = (380 + 15416 + 325) \text{ kN} = 16121 \text{ kN}$$

$$\mathbf{R_{d,gruppo} = \eta \ N \ R_{d,singolo}}$$

$$\eta = 0,863$$

$$\mathbf{R_{d,gruppo}} = 0,863 \times 20 \times 1630 = 28134 \text{ kN}$$

$$\mathbf{E_d < R_d}$$

Verifica soddisfatta

VERIFICA DEL CARICO LIMITE DEL SISTEMA FONDAZIONALE IN CAMPO SISMICO (7.11.5.3.1 NTC08)

L'azione del sisma si traduce in accelerazioni nel sottosuolo (effetto cinematico) e nella fondazione, per l'azione delle forze d'inerzia generate nella struttura in elevazione (effetto inerziale).

Nell'analisi pseudo-statica, modellando l'azione sismica attraverso la sola componente orizzontale, tali effetti possono essere portati in conto mediante l'introduzione di coefficienti sismici rispettivamente denominati K_{hi} e K_{hk} , il primo definito dal rapporto tra le componenti orizzontale e verticale dei carichi trasmessi in fondazione ed il secondo funzione dell'accelerazione massima trasmessa al sito. I valori K_{hk} possono essere valutati facendo riferimento ai valori di normativa specificati per i pendii. L'effetto inerziale produce variazioni di tutti i coefficienti di capacità portante del carico limite in funzione del coefficiente sismico K_{hi} e viene portato in conto impiegando le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico

limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa. L'effetto cinematico modifica il solo coefficiente N_y in funzione del coefficiente sismico K_{hi} ; il fattore N_y viene quindi moltiplicato sia per il coefficiente correttivo dell'effetto inerziale sia per il coefficiente correttivo per l'effetto cinematico.

La verifica allo SLU di collasso per carico limite dell'insieme terreno - fondazione è stata effettuata con l'**Approccio 2, (A1+M1+R3)**, in cui i coefficienti **A1** sono posti pari ad uno.

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 4019 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale} = Q_s/170 = 4019 \text{ kN}/1,7 = 2364 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k/\gamma_r \quad 2364 \text{ kN}/1,15 = 2056 \text{ kN}$$

$$R_d = 2056 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (2.5.5)$$

$$E_{d, \text{gruppo}} = (15416 \times 0,016 + 20 \times 19 \times 1,3 + 15416 \times 1,3 + 250 \times 1,5) \text{ kN} = 21157 \text{ kN}$$

$$R_{d, \text{gruppo}} = \eta \cdot N \cdot R_{d, \text{singolo}}$$

$$\eta = 0,863$$

$$R_{d, \text{gruppo}} = 0,863 \times 20 \times 2056 = 35487 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

INPUT sismico

Struttura (c, a, m)
Altezza alla gronda, m

a
25

T1

Periodo fondamentale approssimato della struttura

0,59

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4}$$

NTC08 7.3.3.2

$$K_{hi} = 0,016$$

PILA S1 (sulla verticale del sondaggio S3)

Si considera un micropalo ($B=0,25$ m) di $L=14$ m (tipo IRS)

W = peso del micropalo = $\pi (D_d/2)^2 L_s 24 \text{ kN/m}^3 \approx 16$ kN

Il metodo non prevede il calcolo della capacità portante di base.

Capacità portante per attrito laterale $Q_{s,i} = A_{s,i} q_{s,i} = \pi D_{s,i} L_{s,i} q_{s,i}$

$D_s = \varphi D_d$ dove $\varphi=1,6$ $D_d=0,25$ m $q_{s,i}= 200$ kPa

$Q_s = 3517$ kN

Approccio 2, combinazione unica (STRU+GEO) = (A1+M1+R3)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 3517$ kN

R_{calc} = valori di resistenza calcolati con i valori caratteristici delle terre penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (con $\gamma_m=1,0$)

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$R_{c,k, laterale minima} = Q_s/1,70 = 3517 \text{ kN}/1,70 = 2069$ kN

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 2069 \text{ kN} / 1,15 = 1799 \text{ kN}$$

$$R_d = 1799 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$\begin{aligned} E_{d, \text{gruppo}} &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\ &= (20 \times 16 \times 1,3 + 15416 \times 1,3 + 250 \times 1,5) \text{ kN} = (416 + 20041 + 375) \\ &\text{kN} = 20832 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\mathbf{R_{d,gruppo} = \eta \ N \ R_{d,singolo}}$$

$$\eta = 0,863$$

$$\mathbf{R_{d,gruppo}} = 0,863 \times 20 \times 1799 = 31051 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

Approccio 1: combinazione 2 = (A2+M2+R2)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 3517 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale\ minima} = Q_s/1,70 = 3517\text{ kN}/1,70 = 2069\text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k/\gamma_r \quad 2069\text{ kN}/1,45 = 1427\text{ kN}$$

$$R_d = 1427\text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$\begin{aligned} E_{d,gruppo} &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\ &= (20 \times 16 \times 1,0 + 15416 \times 1,0 + 250 \times 1,3)\text{ kN} = (320 + 15416 + 375)\text{ kN} = \\ &16011\text{ kN} \end{aligned}$$

$$\mathbf{R_{d,gruppo} = \eta \ N \ R_{d,singolo}}$$

$$\mathbf{\eta = 0,863}$$

$$\mathbf{R_{d,gruppo} = 0,863 \times 20 \times 1427 = 24630\text{ kN}}$$

$$\mathbf{E_d < R_d}$$

Verifica soddisfatta

VERIFICA DEL CARICO LIMITE DEL SISTEMA
FONDAZIONALE IN CAMPO SISMICO (7.11.5.3.1 NTC08)

La verifica allo SLU di collasso per carico limite dell'insieme terreno - fondazione è stata effettuata con l'**Approccio 2, (A1+M1+R3)**, in cui i coefficienti **A1** sono posti pari ad uno.

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 3517 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale} = Q_s/170 = 3517 \text{ kN}/1,7 = 2069 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k/\gamma_r \quad 2069 \text{ kN}/1,15 = 1799 \text{ kN}$$

$$R_d = 1799 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto $E_d = \text{carichi} \times \text{coefficienti (A1)}$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (2.5.5)$$

$$E_{d,gruppo} = (15416 \times 0,016 + 20 \times 16 \times 1,3 + 15416 \times 1,3 + 250 \times 1,5) \text{ kN} = 21079 \text{ kN}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta N R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,863$$

$$R_{d,gruppo} = 0,863 \times 20 \times 1799 = 31051 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

PILA S1 (sulla verticale del sondaggio S3)

Si considera un micropalo ($B=0,25 \text{ m}$) di $L=12 \text{ m}$ (tipo IRS)

$$W = \text{peso del micropalo} = \pi (D_d/2)^2 L_s 24 \text{ kN/m}^3 \approx 14 \text{ kN}$$

Il metodo non prevede il calcolo della capacità portante di base.

$$\text{Capacità portante per attrito laterale } Q_{s,i} = A_{s,i} q_{s,i} = \pi D_{s,i} L_{s,i} q_{s,i}$$

$$D_s = \varphi D_d \quad \text{dove } \varphi = 1,6 \quad D_d = 0,25 \text{ m} \quad q_{s,i} = 200 \text{ kPa}$$

$$Q_s = 3014 \text{ kN}$$

Approccio 2, combinazione unica (STRU+GEO) = (A1+M1+R3)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 3014 \text{ kN}$

R_{calc} = valori di resistenza calcolati con i valori caratteristici delle terre penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (con $\gamma_m = 1,0$)

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 3014 \text{ kN} / 1,70 = 1773 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1773 \text{ kN} / 1,15 = 1542 \text{ kN}$$

$$R_d = 1542 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$\begin{aligned} E_{d, gruppo} &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\ &= (20 \times 14 \times 1,3 + 15416 \times 1,3 + 250 \times 1,5) \text{ kN} = (364 + 20041 + 375) \text{ kN} = \\ &20780 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$R_{d, gruppo} = \eta \cdot N \cdot R_{d, singolo}$$

$$\eta = 0,863$$

$$R_{d, gruppo} = 0,863 \times 20 \times 1542 = 26615 \text{ kN}$$

Approccio 1: combinazione 2 = (A2+M2+R2)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 3014 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 3014 \text{ kN} / 1,70 = 1773 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1773 \text{ kN} / 1,45 = 1223 \text{ kN}$$

$$R_d = 1223 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto $E_d = \text{carichi} \times \text{coefficienti (A1)}$

$$\begin{aligned} E_{d, gruppo} &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\ &= (20 \times 14 \times 1,0 + 15416 \times 1,0 + 250 \times 1,3) \text{ kN} = (280 + 15416 + 325) \text{ kN} = \\ &16021 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$R_{d, gruppo} = \eta \cdot N \cdot R_{d, singolo}$$

$$\eta = 0,863$$

$$R_{d, gruppo} = 0,863 \times 20 \times 1223 = 21109 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

VERIFICA DEL CARICO LIMITE DEL SISTEMA FONDAZIONALE IN CAMPO SISMICO (7.11.5.3.1 NTC08)

La verifica allo SLU di collasso per carico limite dell'insieme terreno - fondazione è stata effettuata con l'**Approccio 2, (A1+M1+R3)**, in cui i coefficienti **A1** sono posti pari ad uno.

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 3014$ kN

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale} = Q_s / 170 = 3014 \text{ kN} / 1,7 = 1773 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1773 \text{ kN} / 1,15 = 1542 \text{ kN}$$

$$R_d = 1542 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (2.5.5)$$

$$E_{d,gruppo} = (15416 \times 0,016 + 20 \times 14 \times 1,3 + 15416 \times 1,3 + 250 \times 1,5) \text{ kN} = 21027 \text{ kN}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta \cdot N \cdot R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,863$$

$$R_{d,gruppo} = 0,863 \times 20 \times 1542 = 26615 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

PILA S1 (sulla verticale del sondaggio S3)

Si considera un micropalo ($B=0,25 \text{ m}$) di $L=10 \text{ m}$ (tipo IRS)

$$W = \text{peso del micropalo} = \pi (D_d/2)^2 L_s 24 \text{ kN/m}^3 \approx 12 \text{ kN}$$

Il metodo non prevede il calcolo della capacità portante di base.

$$\text{Capacità portante per attrito laterale } Q_{s,i} = A_{s,i} q_{s,i} = \pi D_{s,i} L_{s,i} q_{s,i}$$

$$D_s = \varphi D_d \quad \text{dove } \varphi = 1,6 \quad D_d = 0,25 \text{ m} \quad q_{s,i} = 180 \text{ kPa}$$

$$Q_s = 2261 \text{ kN}$$

Approccio 2, combinazione unica (STRU+GEO) = (A1+M1+R3)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 2261 \text{ kN}$

R_{calc} = valori di resistenza calcolati con i valori caratteristici delle terre penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (con $\gamma_m = 1,0$)

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 2261 \text{ kN} / 1,70 = 1330 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1330 \text{ kN} / 1,15 = 1157 \text{ kN}$$

$$R_d = 1157 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$E_{d, gruppo} = (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) =$$

$$= (20 \times 12 \times 1,3 + 15416 \times 1,3 + 250 \times 1,5) \text{ kN} = (312 + 20041 + 375) \text{ kN} = 20728 \text{ kN}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta N R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,863$$

$$R_{d,gruppo} = 0,863 \times 20 \times 1157 = 19970 \text{ kN}$$

$$E_d > R_d$$

Verifica non soddisfatta

Approccio 1: combinazione 2 = (A2+M2+R2)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 2261 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 2261 \text{ kN} / 1,70 = 1330 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1330 \text{ kN} / 1,45 = 1223 \text{ kN}$$

$$R_d = 917 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$\begin{aligned} E_{d, \text{gruppo}} &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\ &= (12 \times 20 \times 1,0 + 15416 \times 1,0 + 250 \times 1,3) \text{ kN} = (240 + 15416 + 325) \text{ kN} = \\ &15981 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$R_{d, \text{gruppo}} = \eta \cdot N \cdot R_{d, \text{singolo}}$$

$$\eta = 0,863$$

$$R_{d, \text{gruppo}} = 0,863 \times 20 \times 917 = 15827 \text{ kN}$$

$$E_d > R_d$$

Verifica non soddisfatta

VERIFICA DEL CARICO LIMITE DEL SISTEMA FONDAZIONALE IN CAMPO SISMICO (7.11.5.3.1 NTC08)

La verifica allo SLU di collasso per carico limite dell'insieme terreno - fondazione è stata effettuata con l'**Approccio 2, (A1+M1+R3)**, in cui i coefficienti **A1** sono posti pari ad uno.

$$1^\circ \text{ step: Resistenza Nominale } R_{\text{calc}} = 2261 \text{ kN}$$

$$2^\circ \text{ step: calcolo della resistenza caratteristica } R_{c,k}$$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale} = Q_s/170 = 2261 \text{ kN}/1,7 = 1330 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k/\gamma_r \quad 1330 \text{ kN}/1,15 = 1157 \text{ kN}$$

$$R_d = 1157 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (2.5.5)$$

$$E_{d,gruppo} = (15416 \times 0,016 + 12 \times 20 \times 1,3 + 15416 \times 1,3 + 250 \times 1,5) \text{ kN} = 20975 \text{ kN}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta \cdot N \cdot R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,863$$

$$R_{d,gruppo} = 0,863 \times 20 \times 1157 = 19970 \text{ kN}$$

$$E_d > R_d$$

Verifica non soddisfatta

b) PILA S2 (sulla verticale del sondaggio S1)

Si considera un micropalo ($B=0,25$ m) di $L=16$ m (tipo IRS)

$$W = \text{peso del micropalo} = \pi (D_d/2)^2 L_s 24 \text{ kN/m}^3 \approx 19 \text{ kN}$$

Il metodo non prevede il calcolo della capacità portante di base.

$$\text{Capacità portante per attrito laterale } Q_{s,i} = A_{s,i} q_{s,i} = \pi D_{s,i} L_{s,i} q_{s,i}$$

$$D_s = \varphi D_d \quad \text{dove } \varphi = 1,6 \quad D_d = 0,25 \text{ m} \quad q_{s,i} = 180 \text{ kPa}$$

$$Q_s = 3617 \text{ kN}$$

Approccio 2, combinazione unica (STRU+GEO) = (A1+M1+R3)

1° step: Resistenza Nominale $R_{\text{calc}} = 3617 \text{ kN}$

R_{calc} = valori di resistenza calcolati con i valori caratteristici delle terre penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (con $\gamma_m = 1,0$)

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,\text{laterale minima}} = Q_s/1,70 = 3617 \text{ kN}/1,70 = 2128 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 2128 \text{ kN} / 1,15 = 1850 \text{ kN}$$

$$R_d = 1850 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$\begin{aligned} E_{d, \text{gruppo}} &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\ &= (20 \times 19 \times 1,3 + 13435 \times 1,3 + 200 \times 1,5) \text{ kN} = (494 + 17466 + 300) \\ &\text{kN} = 18260 \text{ kN} \end{aligned}$$

R_d di una palificata è basata sulla resistenza del palo singolo:

$$\mathbf{R_{d,gruppo} = \eta \ N \ R_{d,singolo}}$$

N = numero dei pali **η** = efficienza della palizzata

Formula di Converse Labarre

$$\eta = 1 - [\theta(n - 1)m + (m - 1)n] / 90mn$$

$$\eta = 0,832$$

$$\mathbf{R_{d,gruppo}} = 0,832 \times 20 \times 1850 = 30784 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

Approccio 1: combinazione 2 = (A2+M2+R2)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 3617 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 3617 \text{ kN} / 1,70 = 2128 \text{ kN}$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$R_d = R_k / \gamma_r \quad 2128 \text{ kN} / 1,45 = 1468 \text{ kN}$

$R_d = 1468 \text{ kN}$

4° step: azione di progetto $E_d = \text{carichi} \times \text{coefficienti (A1)}$

$$E_{d, gruppo} = (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) =$$

$$= (20 \times 19 \times 1,0 + 13435 \times 1,0 + 200 \times 1,3) \text{ kN} = (380 + 13435 + 260) \text{ kN} =$$

$$14075 \text{ kN}$$

$R_{d, gruppo} = \eta N R_{d, singolo}$

$\eta = 0,832$

$R_{d, gruppo} = 0,832 \times 20 \times 1468 = 24428 \text{ kN}$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

VERIFICA DEL CARICO LIMITE DEL SISTEMA FONDAZIONALE IN CAMPO SISMICO (7.11.5.3.1 NTC08)

La verifica allo SLU di collasso per carico limite dell'insieme terreno - fondazione è stata effettuata con l'**Approccio 2, (A1+M1+R3)**, in cui i coefficienti **A1** sono posti pari ad uno.

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 3617$ kN

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale} = Q_s / 1,70 = 3617 \text{ kN} / 1,7 = 2128 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 2128 \text{ kN} / 1,15 = 1156 \text{ kN}$$

$$R_d = 1850 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (2.5.5)$$

$$E_{d, \text{gruppo}} = (13435 \times 0,016 + 20 \times 19 \times 1,3 + 13435 \times 1,3 + 200 \times 1,5) \text{ kN} = 14444 \text{ kN}$$

$$R_{d, \text{gruppo}} = \eta \cdot N \cdot R_{d, \text{singolo}}$$

$$\eta = 0,832$$

$$R_{d, \text{gruppo}} = 0,832 \times 20 \times 1850 = 30784 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

PILA S2 (sulla verticale del sondaggio S1)

Si considera un micropalo ($B=0,25 \text{ m}$) di $L=14 \text{ m}$ (tipo IRS)

$$W = \text{peso del micropalo} = \pi (D_d/2)^2 L_s 24 \text{ kN/m}^3 \approx 16 \text{ kN}$$

Il metodo non prevede il calcolo della capacità portante di base.

$$\text{Capacità portante per attrito laterale } Q_{s,i} = A_{s,i} q_{s,i} = \pi D_{s,i} L_{s,i} q_{s,i}$$

$$D_s = \varphi D_d \quad \text{dove } \varphi = 1,6 \quad D_d = 0,25 \text{ m} \quad q_{s,i} = 180 \text{ kPa}$$

$$Q_s = 3165 \text{ kN}$$

Approccio 2, combinazione unica (STRU+GEO) = (A1+M1+R3)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 3165 \text{ kN}$

R_{calc} = valori di resistenza calcolati con i valori caratteristici delle terre penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (con $\gamma_m = 1,0$)

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 3165 \text{ kN} / 1,70 = 1862 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1862 \text{ kN} / 1,15 = 1619 \text{ kN}$$

$$R_d = 1619 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$E_{d, gruppo} = (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) =$$

$$= (20 \times 16 \times 1,3 + 13435 \times 1,3 + 200 \times 1,5) \text{ kN} = (416 + 17466 + 300) \text{ kN} = 18182 \text{ kN}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta N R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,832$$

$$R_{d,gruppo} = 0,832 \times 20 \times 1619 = 26940 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

Approccio 1: combinazione 2 = (A2+M2+R2)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 3165 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 3165 \text{ kN} / 1,70 = 1862 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1862 \text{ kN} / 1,45 = 1284 \text{ kN}$$

$$R_d = 1284 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$\begin{aligned} E_{d, \text{gruppo}} &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\ &= (20 \times 16 \times 1,0 + 13435 \times 1,0 + 200 \times 1,3) \text{ kN} = (320 + 13435 + 260) \text{ kN} = \\ &14015 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$R_{d, \text{gruppo}} = \eta \cdot N \cdot R_{d, \text{singolo}}$$

$$\eta = 0,832$$

$$R_{d, \text{gruppo}} = 0,832 \times 20 \times 1284 = 21366 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

VERIFICA DEL CARICO LIMITE DEL SISTEMA FONDAZIONALE IN CAMPO SISMICO (7.11.5.3.1 NTC08)

La verifica allo SLU di collasso per carico limite dell'insieme terreno - fondazione è stata effettuata con l'**Approccio 2, (A1+M1+R3)**, in cui i coefficienti **A1** sono posti pari ad uno.

$$1^\circ \text{ step: Resistenza Nominale } R_{\text{calc}} = 3165 \text{ kN}$$

$$2^\circ \text{ step: calcolo della resistenza caratteristica } R_{c,k}$$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale} = Q_s / 1,70 = 3165 \text{ kN} / 1,7 = 1862 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1862 \text{ kN} / 1,15 = 1619 \text{ kN}$$

$$R_d = 1619 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (2.5.5)$$

$$E_{d,gruppo} = (13435 \times 0,016 + 20 \times 16 \times 1,3 + 13435 \times 1,3 + 200 \times 1,5) \text{ kN} = 18397 \text{ kN}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta \cdot N \cdot R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,832$$

$$R_{d,gruppo} = 0,832 \times 20 \times 1619 = 24940 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

PILA S2 (sulla verticale del sondaggio S1)

Si considera un micropalo ($B=0,25$ m) di $L=12$ m (tipo IRS)

$$W = \text{peso del micropalo} = \pi (D_d/2)^2 L_s 24 \text{ kN/m}^3 \approx 14 \text{ kN}$$

Il metodo non prevede il calcolo della capacità portante di base.

$$\text{Capacità portante per attrito laterale } Q_{s,i} = A_{s,i} q_{s,i} = \pi D_{s,i} L_{s,i} q_{s,i}$$

$$D_s = \varphi D_d \quad \text{dove } \varphi = 1,6 \quad D_d = 0,25 \text{ m} \quad q_{s,i} = 180 \text{ kPa}$$

$$Q_s = 2713 \text{ kN}$$

Approccio 2, combinazione unica (STRU+GEO) = (A1+M1+R3)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 2713 \text{ kN}$

R_{calc} = valori di resistenza calcolati con i valori caratteristici delle terre penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (con $\gamma_m = 1,0$)

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k, \text{laterale minima}} = Q_s / 1,70 = 2713 \text{ kN} / 1,70 = 1596 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1596 \text{ kN} / 1,15 = 1388 \text{ kN}$$

$$R_d = 1388 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$\begin{aligned} E_{d, \text{gruppo}} &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\ &= (20 \times 14 \times 1,3 + 13435 \times 1,3 + 250 \times 1,5) \text{ kN} = (364 + 17466 + 375) \\ &\text{kN} = 18205 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$R_{d, \text{gruppo}} = \eta N R_{d, \text{singolo}}$$

$$\eta = 0,832$$

$$R_{d, \text{gruppo}} = 0,832 \times 20 \times 1388 = 23096 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

Approccio 1: combinazione 2 = (A2+M2+R2)

1° step: Resistenza Nominale $R_{\text{calc}} = 2713 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale\ minima} = Q_s/1,70 = 2713\text{ kN}/1,70 = 1596\text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k/\gamma_r \quad 1596\text{ kN}/1,45 = 1101\text{ kN}$$

$$R_d = 1101\text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$\begin{aligned} E_d &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\ &= (20 \times 14 \times 1,0 + 13435 \times 1,0 + 200 \times 1,3)\text{ kN} = (280 + 13435 + 260)\text{ kN} = \\ &13975\text{ kN} \end{aligned}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta \cdot N \cdot R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,832$$

$$R_{d,gruppo} = 0,832 \times 20 \times 1101 = 18320\text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

VERIFICA DEL CARICO LIMITE DEL SISTEMA FONDAZIONALE IN CAMPO SISMICO (7.11.5.3.1 NTC08)

La verifica allo SLU di collasso per carico limite dell'insieme terreno - fondazione è stata effettuata con l'**Approccio 2, (A1+M1+R3)**, in cui i coefficienti **A1** sono posti pari ad uno.

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 2713 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale} = Q_s / 1,70 = 3713 \text{ kN} / 1,7 = 1596 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1596 \text{ kN} / 1,15 = 1388 \text{ kN}$$

$$R_d = 1388 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto $E_d = \text{carichi} \times \text{coefficienti (A1)}$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (2.5.5)$$

$$E_{d,gruppo} = (13435 \times 0,016 + 20 \times 14 \times 1,3 + 13435 \times 1,3 + 200 \times 1,5) \text{ kN} = 18345 \text{ kN}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta N R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,832$$

$$R_{d,gruppo} = 0,832 \times 20 \times 1388 = 23096 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

PILA S2 (sulla verticale del sondaggio S1)

Si considera un micropalo ($B=0,25 \text{ m}$) di $L=10 \text{ m}$ (tipo IRS)

$$W = \text{peso del micropalo} = \pi (D_d/2)^2 L_s 24 \text{ kN/m}^3 \approx 12 \text{ kN}$$

Il metodo non prevede il calcolo della capacità portante di base.

$$\text{Capacità portante per attrito laterale } Q_{s,i} = A_{s,i} q_{s,i} = \pi D_{s,i} L_{s,i} q_{s,i}$$

$$D_s = \varphi D_d \quad \text{dove } \varphi = 1,6 \quad D_d = 0,25 \text{ m} \quad q_{s,i} = 180 \text{ kPa}$$

$$Q_s = 2261 \text{ kN}$$

Approccio 2, combinazione unica (STRU+GEO) = (A1+M1+R3)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 2261 \text{ kN}$

R_{calc} = valori di resistenza calcolati con i valori caratteristici delle terre penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (con $\gamma_m=1,0$)

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 2261 \text{ kN} / 1,70 = 1330 \text{ kN}$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1330 \text{ kN} / 1,15 = 1157 \text{ kN}$

$R_d = 1157 \text{ kN}$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$E_{d, gruppo} = (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) =$$

$$= (20 \times 12 \times 1,3 + 13435 \times 1,3 + 200 \times 1,5) \text{ kN} = (312 + 17466 + 300)$$

$$\text{kN} = 18078 \text{ kN}$$

$R_{d, gruppo} = \eta \cdot N \cdot R_{d, singolo}$

$\eta = 0,832$

$R_{d, gruppo} = 0,832 \times 20 \times 1157 = 19253 \text{ kN}$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

Approccio 1: combinazione 2 = (A2+M2+R2)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 2261$ kN

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 2261 \text{ kN} / 1,70 = 1330 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1330 \text{ kN} / 1,45 = 917 \text{ kN}$$

$$R_d = 917 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto $E_d = \text{carichi} \times \text{coefficienti (A1)}$

$$E_{d, gruppo} = (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) =$$

$$= (20 \times 12 \times 1,0 + 13435 \times 1,0 + 200 \times 1,3) \text{ kN} = (240 + 13435 + 260) \text{ kN} = 13935 \text{ kN}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta N R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,832$$

$$R_{d,gruppo} = 0,832 \times 20 \times 917 = 15259 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

VERIFICA DEL CARICO LIMITE DEL SISTEMA FONDAZIONALE IN CAMPO SISMICO (7.11.5.3.1 NTC08)

La verifica allo SLU di collasso per carico limite dell'insieme terreno - fondazione è stata effettuata con l'**Approccio 2, (A1+M1+R3)**, in cui i coefficienti **A1** sono posti pari ad uno.

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 2261 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale} = Q_s/1,70 = 2261 \text{ kN}/1,7 = 1330 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k/\gamma_r \quad 1330 \text{ kN}/1,15 = 1157 \text{ kN}$$

$$R_d = 1157 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (2.5.5)$$

$$E_{d,gruppo} = (13435 \times 0,016 + 20 \times 12 \times 1,3 + 13435 \times 1,3 + 200 \times 1,5) \text{ kN} = 18293 \text{ kN}$$

$$\mathbf{R_{d,gruppo} = \eta \ N \ R_{d,singolo}}$$

$$\mathbf{\eta = 0,832}$$

$$\mathbf{R_{d,gruppo} = 0,832 \times 20 \times 1157 = 19252 \text{ kN}}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

c) PILA S3

Si considera un micropalo ($B=0,25$ m) di $L=16$ m (tipo IRS)

$W = \text{peso del micropalo} = \pi (D_d/2)^2 L_s 24 \text{ kN/m}^3 \approx 19 \text{ kN}$

Il metodo non prevede il calcolo della capacità portante di base.

Capacità portante per attrito laterale $Q_{s,i} = A_{s,i} q_{s,i} = \pi D_{s,i} L_{s,i} q_{s,i}$

$D_s = \varphi D_d$ dove $\varphi=1,6$ $D_d=0,25$ m $q_{s,i}= 200$ kPa

$Q_s = 4019$ kN

Approccio 2, combinazione unica (STRU+GEO) = (A1+M1+R3)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 4019$ kN

R_{calc} = valori di resistenza calcolati con i valori caratteristici delle terre penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (con $\gamma_m=1,0$)

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$R_{c,k, laterale minima} = Q_s/1,70 = 4019 \text{ kN}/1,70 = 2364$ kN

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$R_d = R_k/\gamma_r$ $2364 \text{ kN}/1,15 = 2056$ kN

$$R_d = 2056 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$\begin{aligned} E_{d, \text{gruppo}} &= (W \gamma_g + G \gamma_g + Q \gamma_g) = \\ &= (12 \times 19 \times 1,3 + 2256 \times 1,3 + 100 \times 1,5) \text{ kN} = (296 + 2933 + 150) \text{ kN} = 3379 \text{ kN} \end{aligned}$$

R_d di una palificata è basata sulla resistenza del palo singolo:

$$R_{d, \text{gruppo}} = \eta N R_{d, \text{singolo}}$$

N = numero dei pali η = efficienza della palizzata

Formula di Converse Labarre

$$\eta = 1 - [\theta(n - 1)m + (m - 1)n] / 90mn$$

$$\eta = 0,898$$

$$R_{d, \text{gruppo}} = 0,898 \times 12 \times 2056 = 22155 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

Approccio 1: combinazione 2 = (A2+M2+R2)

1° step: Resistenza Nominale $R_{\text{calc}} = 4019 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale minima} = Q_s / 1,70 = 4019 \text{ kN} / 1,70 = 2364 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 2364 \text{ kN} / 1,45 = 1630 \text{ kN}$$

$$R_d = 1630 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$\begin{aligned} E_{d,gruppo} &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\ &= (12 \times 19 \times 1,0 + 2256 \times 1,0 + 100 \times 1,3) \text{ kN} = (228 + 2256 + 130) \text{ kN} = 2614 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

VERIFICA DEL CARICO LIMITE DEL SISTEMA
FONDAZIONALE IN CAMPO SISMICO (7.11.5.3.1 NTC08)

La verifica allo SLU di collasso per carico limite dell'insieme terreno - fondazione è stata effettuata con l'**Approccio 2, (A1+M1+R3)**, in cui i coefficienti **A1** sono posti pari ad uno.

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 4019 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale} = Q_s / 1,70 = 4019 \text{ kN} / 1,7 = 2364 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 2364 \text{ kN} / 1,15 = 2056 \text{ kN}$$

$$R_d = 2056 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto $E_d = \text{carichi} \times \text{coefficienti (A1)}$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (2.5.5)$$

$$E_{d,gruppo} = (2256 \times 0,016 + 12 \times 19 \times 1,3 + 2256 \times 1,3 + 100 \times 1,5) \text{ kN} = 3414 \text{ kN}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta N R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,898$$

$$R_{d,gruppo} = 0,898 \times 12 \times 2056 = 22155 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

PILA S3

Si considera un micropalo ($B=0,25 \text{ m}$) di $L=14 \text{ m}$ (tipo IRS)

$$W = \text{peso del micropalo} = \pi (D_d/2)^2 L_s 24 \text{ kN/m}^3 \approx 16 \text{ kN}$$

Il metodo non prevede il calcolo della capacità portante di base.

$$\text{Capacità portante per attrito laterale } Q_{s,i} = A_{s,i} q_{s,i} = \pi D_{s,i} L_{s,i} q_{s,i}$$

$$D_s = \varphi D_d \quad \text{dove } \varphi = 1,6 \quad D_d = 0,25 \text{ m} \quad q_{s,i} = 200 \text{ kPa}$$

$$Q_s = 3517 \text{ kN}$$

Approccio 2, combinazione unica (STRU+GEO) = (A1+M1+R3)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 3517 \text{ kN}$

R_{calc} = valori di resistenza calcolati con i valori caratteristici delle terre penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (con $\gamma_m = 1,0$)

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale\ minima} = Q_s / 1,70 = 3517 \text{ kN} / 1,70 = 2069 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 2069 \text{ kN} / 1,15 = 1799 \text{ kN}$$

$$R_d = 1799 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$\begin{aligned} E_{d,gruppo} &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\ &= (12 \times 16 \times 1,3 + 2256 \times 1,3 + 100 \times 1,5) \text{ kN} = (250 + 2933 + 150) \text{ kN} = 3333 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta \cdot N \cdot R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,898$$

$$R_{d,gruppo} = 0,898 \times 12 \times 1799 = 19386 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

Approccio 1: combinazione 2 = (A2+M2+R2)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 3517 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 3517 \text{ kN} / 1,70 = 2069 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 2069 \text{ kN} / 1,45 = 1427 \text{ kN}$$

$$R_d = 1427 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto $E_d = \text{carichi} \times \text{coefficienti (A1)}$

$$E_{d,gruppo} = (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) =$$

$$= (12 \times 16 \times 1,0 + 2256 \times 1,0 + 100 \times 1,3) \text{ kN} = (192 + 2256 + 130) \text{ kN} = 2578 \text{ kN}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta \cdot N \cdot R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,898$$

$$R_{d,gruppo} = 0,898 \times 12 \times 1427 = 15377 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

VERIFICA DEL CARICO LIMITE DEL SISTEMA FONDAZIONALE IN CAMPO SISMICO (7.11.5.3.1 NTC08)

La verifica allo SLU di collasso per carico limite dell'insieme terreno - fondazione è stata effettuata con l'**Approccio 2, (A1+M1+R3)**, in cui i coefficienti **A1** sono posti pari ad uno.

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 3517 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale} = Q_s/1,70 = 3517 \text{ kN}/1,7 = 2069 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k/\gamma_r \quad 2069 \text{ kN}/1,15 = 1799 \text{ kN}$$

$$R_d = 1799 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (2.5.5)$$

$$E_{d,gruppo} = (2256 \times 0,016 + 12 \times 16 \times 1,3 + 2256 \times 1,3 + 100 \times 1,5) \text{ kN} = 3369 \text{ kN}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta \cdot N \cdot R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,898$$

$$R_{d,gruppo} = 0,898 \times 12 \times 1799 = 19386 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

PILA S3

Si considera un micropalo ($B=0,25$ m) di $L=12$ m (tipo IRS)

$W = \text{peso del micropalo} = \pi (D_d/2)^2 L_s 24 \text{ kN/m}^3 \approx 14 \text{ kN}$

Il metodo non prevede il calcolo della capacità portante di base.

Capacità portante per attrito laterale $Q_{s,i} = A_{s,i} q_{s,i} = \pi D_{s,i} L_{s,i} q_{s,i}$

$D_s = \varphi D_d$ dove $\varphi=1,6$ $D_d=0,25$ m $q_{s,i}=180$ kPa

$Q_s = 2713$ kN

Approccio 2, combinazione unica (STRU+GEO) = (A1+M1+R3)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 2713$ kN

R_{calc} = valori di resistenza calcolati con i valori caratteristici delle terre penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (con $\gamma_m=1,0$)

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$R_{c,k, laterale minima} = Q_s/1,70 = 2713 \text{ kN}/1,70 = 1596$ kN

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$R_d = R_k/\gamma_r$ $1596 \text{ kN}/1,15 = 1388$ kN

$$R_d = 1388 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$\begin{aligned} E_d &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\ &= (12 \times 14 \times 1,3 + 2256 \times 1,3 + 100 \times 1,5) \text{ kN} = (218 + 2933 + 150) \text{ kN} = 3301 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta \cdot N \cdot R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,898$$

$$R_{d,gruppo} = 0,898 \times 12 \times 1388 = 14957 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

Approccio 1: combinazione 2 = (A2+M2+R2)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 2713 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale\ minima} = Q_s/1,70 = 2713\text{ kN}/1,70 = 1596\text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k/\gamma_r \quad 1596\text{ kN}/1,45 = 1101\text{ kN}$$

$$R_d = 1101\text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$\begin{aligned} E_d &= (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) = \\ &= (12 \times 14 \times 1,0 + 2256 \times 1,0 + 100 \times 1,3)\text{ kN} = (168 + 2256 + 130)\text{ kN} = 2544\text{ kN} \end{aligned}$$

$$\mathbf{R_{d,gruppo} = \eta \ N \ R_{d,singolo}}$$

$$\mathbf{\eta = 0,898}$$

$$\mathbf{R_{d,gruppo} = 0,898 \times 12 \times 1101 = 11864\text{ kN}}$$

$$\mathbf{E_d < R_d}$$

Verifica soddisfatta

VERIFICA DEL CARICO LIMITE DEL SISTEMA
FONDAZIONALE IN CAMPO SISMICO (7.11.5.3.1 NTC08)

La verifica allo SLU di collasso per carico limite dell'insieme terreno - fondazione è stata effettuata con l'**Approccio 2, (A1+M1+R3)**, in cui i coefficienti **A1** sono posti pari ad uno.

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 2713 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale} = Q_s / 1,70 = 2713 \text{ kN} / 1,7 = 1596 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1596 \text{ kN} / 1,15 = 1388 \text{ kN}$$

$$R_d = 1388 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto $E_d = \text{carichi} \times \text{coefficienti (A1)}$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (2.5.5)$$

$$E_{d,gruppo} = (2256 \times 0,016 + 12 \times 14 \times 1,3 + 2256 \times 1,3 + 100 \times 1,5) \text{ kN} = 3337 \text{ kN}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta N R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,898$$

$$R_{d,gruppo} = 0,898 \times 12 \times 1388 = 14957 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

PILA S3

Si considera un micropalo ($B=0,25 \text{ m}$) di $L=10 \text{ m}$ (tipo IRS)

$$W = \text{peso del micropalo} = \pi (D_d/2)^2 L_s 24 \text{ kN/m}^3 \approx 12 \text{ kN}$$

Il metodo non prevede il calcolo della capacità portante di base.

$$\text{Capacità portante per attrito laterale } Q_{s,i} = A_{s,i} q_{s,i} = \pi D_{s,i} L_{s,i} q_{s,i}$$

$$D_s = \varphi D_d \quad \text{dove } \varphi = 1,6 \quad D_d = 0,25 \text{ m} \quad q_{s,i} = 180 \text{ kPa}$$

$$Q_s = 2261 \text{ kN}$$

Approccio 2, combinazione unica (STRU+GEO) = (A1+M1+R3)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 2261 \text{ kN}$

R_{calc} = valori di resistenza calcolati con i valori caratteristici delle terre penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (con $\gamma_m=1,0$)

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 2261 \text{ kN} / 1,70 = 1330 \text{ kN}$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1330 \text{ kN} / 1,15 = 1157 \text{ kN}$

$R_d = 1157 \text{ kN}$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

$$E_{d, gruppo} = (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) =$$

$$= (12 \times 12 \times 1,3 + 2256 \times 1,3 + 100 \times 1,5) \text{ kN} = (187 + 2933 + 150) \text{ kN} = 3270 \text{ kN}$$

$R_{d, gruppo} = \eta \cdot N \cdot R_{d, singolo}$

$\eta = 0,898$

$R_{d, gruppo} = 0,898 \times 12 \times 1157 = 12468 \text{ kN}$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

Approccio 1: combinazione 2 = (A2+M2+R2)

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 2261$ kN

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k, laterale minima} = Q_s / 1,70 = 2261 \text{ kN} / 1,70 = 1330 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k / \gamma_r \quad 1330 \text{ kN} / 1,45 = 917 \text{ kN}$$

$$R_d = 917 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto $E_d = \text{carichi} \times \text{coefficienti (A1)}$

$$E_{d, gruppo} = (W \times \gamma_g + G \times \gamma_g + Q \times \gamma_g) =$$

$$= (12 \times 12 \times 1,0 + 2256 \times 1,0 + 100 \times 1,3) \text{ kN} = (144 + 2256 + 130) \text{ kN} = 2530 \text{ kN}$$

$$R_{d,gruppo} = \eta N R_{d,singolo}$$

$$\eta = 0,898$$

$$R_{d,gruppo} = 0,898 \times 12 \times 917 = 9882 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

VERIFICA DEL CARICO LIMITE DEL SISTEMA FONDAZIONALE IN CAMPO SISMICO (7.11.5.3.1 NTC08)

La verifica allo SLU di collasso per carico limite dell'insieme terreno - fondazione è stata effettuata con l'**Approccio 2, (A1+M1+R3)**, in cui i coefficienti **A1** sono posti pari ad uno.

1° step: Resistenza Nominale $R_{calc} = 2261 \text{ kN}$

2° step: calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

$$R_{c,k,laterale} = Q_s/1,70 = 2261 \text{ kN}/1,7 = 1330 \text{ kN}$$

3° step: calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = R_k/\gamma_r \quad 1330 \text{ kN}/1,15 = 1157 \text{ kN}$$

$$R_d = 1157 \text{ kN}$$

4° step: azione di progetto E_d = carichi x coefficienti (A1)

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (2.5.5)$$

$$E_{d,gruppo} = (2256 \times 0,016 + 12 \times 12 \times 1,3 + 2256 \times 1,3 + 100 \times 1,5) \text{ kN} = 3307 \text{ kN}$$

$$\mathbf{R_{d,gruppo} = \eta \ N \ R_{d,singolo}}$$

$$\mathbf{\eta = 0,898}$$

$$\mathbf{R_{d,gruppo} = 0,898 \times 12 \times 1157 = 12468 \text{ kN}}$$

$$E_d < R_d$$

Verifica soddisfatta

d) Opere provvisionali di sostegno alla viabilità preesistente

Si realizzerà una paratia berlinese di micropali (vedi progetto strutturale ing.Biagini) a cui si rimanda per i dettagli.

Si è pertanto proceduto ad una valutazione della stabilità dell'opera in progetto individuando la spinta minima di contrasto che la paratia dovrà fornire per consentire il raggiungimento di un adeguato fattore di sicurezza, utilizzando il programma Slope della Geostru.

Analisi di stabilità dei pendii con: MORGENSTERN-PRICE (1965)

Lat./Long.	43.547383/10.719272
Normativa	NTC 2008 e Circ.
Numero di strati	5.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione non drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	133.93 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	89.86 m
Ascissa vertice destro superiore xs	155.81 m
Ordinata vertice destro superiore ys	116.71 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe III
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	75.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	45.0	0.54	2.48	0.24
S.L.D.	75.0	0.69	2.47	0.25
S.L.V.	712.0	1.57	2.5	0.28
S.L.C.	1462.0	1.92	2.54	0.29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	50.0	91.2
2	50.0	97.2
3	114.19	101.69
4	153.88	107.0
5	191.5	113.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	50.0	89.16
2	50.0	91.27
3	50.0	93.61
4	73.77	96.65
5	110.62	99.57
6	150.2	104.53
7	177.53	108.44
8	191.5	110.87

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	50.0	84.85
2	50.0	88.03
3	80.47	91.89
4	123.89	96.6
5	191.5	106.22

Vertici strato3

N	X (m)	y (m)
1	50.0	80.93
2	50.0	85.75
3	81.22	85.42
4	125.5	93.69
5	191.5	98.74

Vertici strato4

N	X (m)	y (m)
1	50.0	77.02
2	50.0	78.89
3	89.04	80.18
4	132.46	88.17
5	191.5	89.36

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m ³)	Peso saturo (kN/m ³)	Litologia	
--------	----------------------------------	---	--	---	-------------------------------------	-----------	--

1	0	98.0665	15	16.18097	17.65197	Terreno vegetale	
2	40	5.74	33	19.9	19.6133	Limo o limo con sabbia	
3	57	0	29	20.4	21.57463	Argilla o argilla limosa media	
4	92	0	33	19.5	20.10363	Sabbia limosa mediamente addensata	
5	110	0	25	20.2	22.55529	Argilla o argilla limosa consistente	

Pali...

N°	x (m)	y (m)	Diametro (m)	Lunghezza (m)	Inclinazione (°)	Interasse (m)	Resistenza al taglio (kN/m²)	Momento plasticizzazione (kN*m)	Metodo stabilizzazione
1	145.0957	104.4583	0.25	14	90	40	--	--	Tensione tangenziale
2	145.1539	105.3224	0.25	12	30	120	--	--	Tensione tangenziale

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m²)
1	145.28	105.82	145.28	105.82	29.42

Risultati analisi pendio

=====

Fs minimo individuato	1.58
Ascissa centro superficie	144.87 m
Ordinata centro superficie	114.03 m
Raggio superficie	13.76 m

=====

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali.

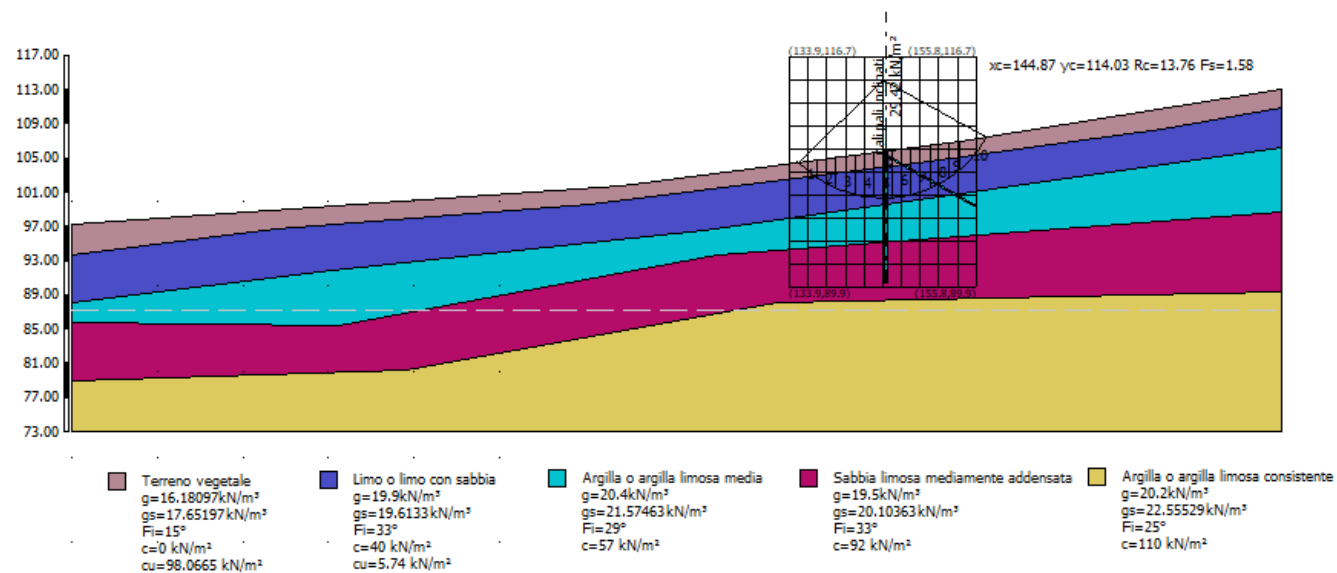
xc = 144.873 yc = 114.029 Rc = 13.762 Fs=1.58

Lambda = 0.086

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	2.2	-40.01	2.87	45.44
2	2.2	-28.78	2.51	119.68
3	2.2	-18.7	2.32	173.91
4	2.2	-9.21	2.23	210.08
5	2.2	0.02	2.2	230.32
6	2.2	9.26	2.23	235.27
7	2.2	18.75	2.32	224.3
8	2.2	28.83	2.51	195.33
9	1.3	37.47	1.64	92.22
10	3.1	51.27	4.96	112.43

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	33.73	392.76	0.0	0.0	-239.64	178.41	0.0
2	40.32	469.49	33.73	392.76	71.44	9.13	0.0
3	45.56	530.55	40.32	469.49	151.81	8.44	0.0
4	48.12	560.35	45.56	530.55	211.63	8.1	0.0
5	47.42	552.16	48.12	560.35	240.71	8.0	0.0
6	43.34	504.63	47.42	552.16	235.17	8.1	0.0
7	36.19	421.41	43.34	504.63	195.29	8.45	0.0
8	26.86	312.74	36.19	421.41	126.16	9.13	0.0
9	21.74	253.14	26.86	312.74	39.35	5.94	0.0
10	11.91	138.66	21.74	253.14	-17.24	18.03	0.0



Andrea Petresi

Peccioli, ottobre 2017

Andrea Petresi