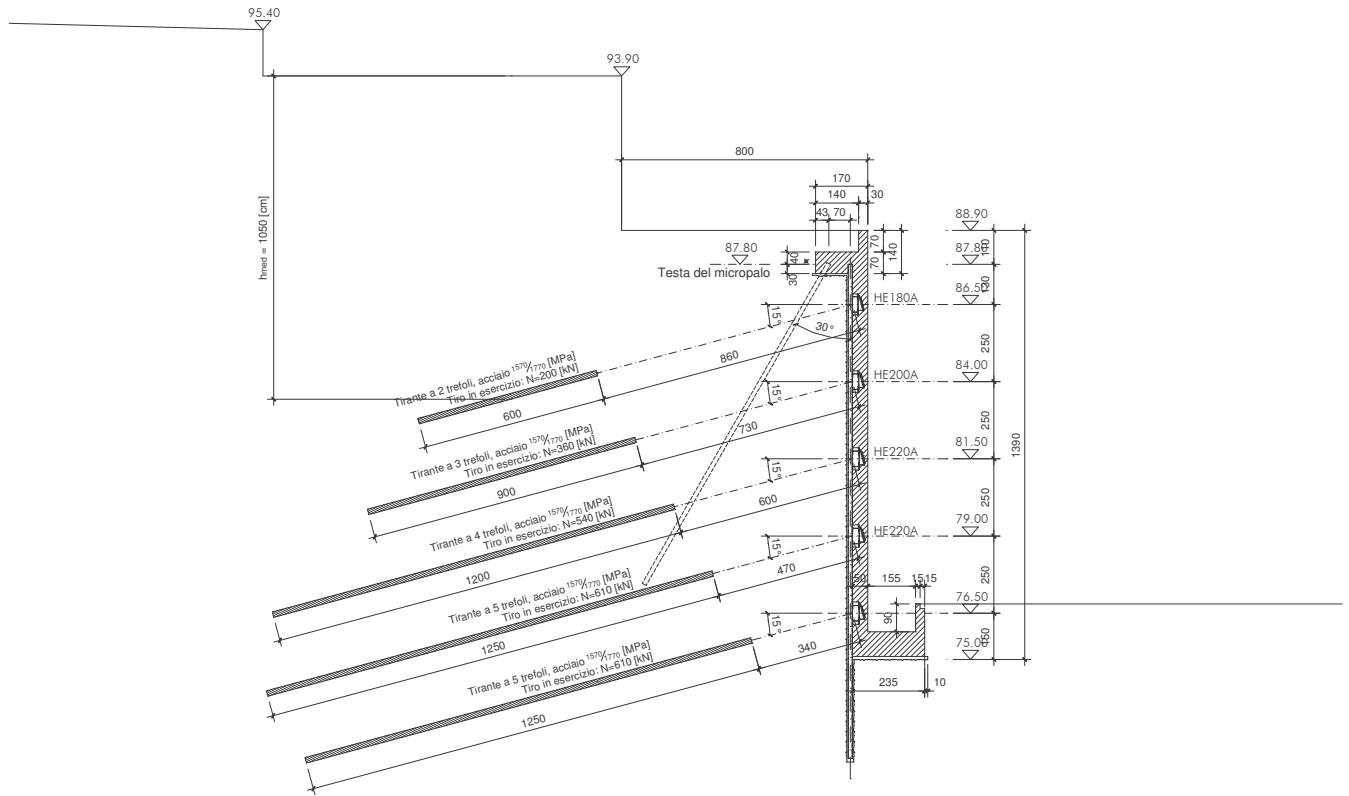


PROCEDURA DI VERIFICA DEGLI ELEMENTI DI UNA PARATIA



1. Parametri geotecnici necessari:

Terreni - Analisi in condizioni drenate:

$$\phi' \quad c' \rightarrow \sigma_h(z) = K \cdot \sigma_v(z) - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K}$$

Terreni - Analisi in condizioni non drenate:

$$0 \quad c_u \rightarrow \sigma_h(z) = \sigma_v(z) - 2 \cdot c_u$$

Rocce - Analisi:

$$\phi \quad c$$

- Coefficiente di spinta a riposo:

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot \sqrt{R_{oc}}$$

$$K_{0,\beta} = K_0 \cdot (1 + \sin \beta)$$

- Modulo di elasticità:

$$E = 21.6 + 1.06 \cdot N_1 (60)$$

$$E = 21.6 + 1.06 \cdot N_{STP}$$

- Modulo di Poisson:

$$\nu = \frac{K_0}{1 + K_0}$$

2. Verifica in dei tiranti:

$$\frac{N_Q}{n_t \cdot A' \cdot f_{0,1k}} \leq 0.7$$

stato limite di esercizio

$$\frac{N_Q}{n_t \cdot A' \cdot f_{0,1k}} \leq 0.9$$

stato limite ultimo

- N_Q forza normale assegnata al tirante
 N_{ys} forza limite di snervamento
 n_t numero dei trefoli costituenti il tirante
 A' sezione trasversale di un trefolo
 $f_{0,1k}$ resistenza allo snervamento del trefolo

3. Verifica in del bulbo di ancoraggio:

$$P_{ar} = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D \cdot L_a \cdot \tau_{lim}}{F.S.} \geq N_Q$$

stato limite di esercizio

$$P_{ar} = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D \cdot L_a \cdot \tau_{lim}}{F.S.} \geq N_{ys}$$

stato limite di ultimo

Metodo di Bustamante e Doix

- α coefficiente dipendente dal tipo di terreno
 D diametro della perforazione
 L_a lunghezza del tratto attivo
 $F.S.$ coefficiente di sicurezza (in esercizio 2.5 o 2.0; in SLU 1.0 o 1.1)
 τ_{lim} tensione limite di aderenza da abachi e tabelle in funzione del terreno e della pressione di iniezione.

Metodo di Bowles

- D diametro della perforazione
 L_a lunghezza del tratto attivo
 $F.S.$ coefficiente di sicurezza
 τ_{lim} tensione limite di aderenza

$$\tau_{lim} = \gamma_{med} \cdot h_{med} \cdot K \cdot \tan \phi + c_a$$

- γ_{med} peso specifico medio del terreno (γ' se immerso)
 h_{med} profondità media del bulbo di fonazione
 K coefficiente di spinta
 ϕ angolo di attrito tra fondazione e terreno
 c_a adesione $c_a = \nu \cdot c_u$ ($\nu = 0.5 \div 0.9$)

4. Verifica dei pali:

I pali vengono verificati a stato limite ultimo a presso flessione secondo le prescrizioni dell'E.C. 3 – 5.3.6 – 5.5.4:

$$N_{Sd} = \frac{\sum_i N_{Q,i} \cdot \sin \alpha}{n_{pali}}$$

Forza normale di progetto derivante dal tiro

assegnato ai tiranti, ripartito sul numero di pali presente tra due tiranti consecutivi.

$$M_{Sd}$$

Momento flettente di progetto

$$V_{Sd}$$

Forza di taglio di progetto

Verifiche di resistenza

$$\frac{N_{Sd}}{A \cdot f_y} + \frac{M_{Sd}}{W_{pl} \cdot f_y} \leq 1$$

$$\frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M0}} \quad \frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M0}}$$

e

$$V_{Sd} < \frac{2 \cdot A \cdot f_y}{\pi \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\gamma_{M0}}$$

Verifica di stabilità

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A}{\lambda^2}$$

Normale critica Euleriana

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\beta \cdot A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Snellezza adimensionale da cui si ricavano:

$$\phi = 0.5 \cdot [1 + 0.21 \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0.5}}$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi \cdot A \cdot f_y} + \frac{k \cdot M_{Sd}}{W_{pl} \cdot f_y} \leq 1$$

$$\frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M1}} \quad \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M1}}$$

$$1 \leq k \leq 1.5$$

5. Verifica delle travi di contrasto:

$$F_d = \frac{N_Q}{i_{tiranti}} \quad \text{carico di progetto delle travi di contrasto}$$

$$M_{Sd} = \frac{F_d \cdot i^2}{10} \quad \text{momento di calcolo (trave continua)}$$

$$W_{x,pl} = 2 \cdot W'_{x,pl} \quad \text{modulo di resistenza plastico}$$

$$\boxed{M_{Sd} \leq W_{x,pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}}$$

A volte è necessario tenere in conto l'effetto della flessione composta e dello svergolamento.

$$F_{d,y} = \frac{N_Q \cdot \cos \alpha}{i_{tiranti}} \quad F_{d,x} = \frac{N_Q \cdot \sin \alpha}{i_{tiranti}}$$

$$M_{Sd,x} = \frac{F_{d,y} \cdot i^2}{10} \quad M_{Sd,y} = \frac{F_{d,x} \cdot i^2}{10}$$

$$W_{x,pl} = 2 \cdot W'_{x,pl} \quad W_{y,pl} = 2 \cdot W'_{y,pl} \quad (\text{non si considera il trasporto})$$

$$\boxed{\frac{M_{Sd,x}}{W_{pl,x} \cdot f_y \cdot \gamma_{M0}} + \frac{M_{Sd,y}}{W_{pl,y} \cdot f_y \cdot \gamma_{M0}} \leq 1}$$

$$\Delta = \frac{F_d \cdot i^4}{384 \cdot E \cdot I_x} \quad \text{spostamento in caso di doppio incastro } I_x = 2 \cdot I'_x$$

6. Verifica di imbozzamento in sede di ancoraggio

La resistenza all'imbozzamento delle anime viene fornita dall'espressione:

$$P_{a,Rd} = 0.5 \cdot t_w^2 \cdot \sqrt{E \cdot f_y} \cdot \frac{\sqrt{\frac{t_f}{t_w} + 3} \cdot \frac{t_w \cdot s_s}{t_f \cdot d}}{\gamma_{M1}} \quad \text{con } \frac{s_s}{d} \leq 0.2$$

$$\frac{F_{Sd}}{R_{a,Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{c,Rd}} \leq 1.5$$

ESEMPIO NUMERICO – Paratia multivincolata

Da un'analisi FEM sono risultati i seguenti valori massimi da assegnare ai tiranti:

Verifica della resistenza dei trefoli

Tirante	Forza normale in esercizio [kN]	Forza normale sismica [kN]
1°	170	207
2°	430	515
3°	620	720
4°	660	730
5°	640	685

$$\frac{N_Q}{n_t \cdot A' \cdot f_{0,1k}} \leq 0.7$$

stato limite di esercizio

$$\frac{N_Q}{n_t \cdot A' \cdot f_{0,1k}} \leq 0.9$$

stato limite ultimo

STATO LIMITE DI ESERCIZIO

n_t	$A' [mm^2]$	$f_{0,1k} [MPa]$	$N_Q [kN]$	$N_{ys} [kN]$	Utilizzo
2	140	1570	170	440	0.39
4	140	1570	430	880	0.49
5	140	1570	620	1100	0.57
5	140	1570	660	1100	0.60
5	140	1570	640	1100	0.59

STATO LIMITE ULTIMO - SISMA

n_t	$A' [mm^2]$	$f_{0,1k} [MPa]$	$N_Q [kN]$	$N_{ys} [kN]$	Utilizzo
2	140	1570	207	440	0.48
4	140	1570	515	880	0.60
5	140	1570	720	1100	0.66
5	140	1570	730	1100	0.67
5	140	1570	685	1100	0.63

Verifica della resistenza degli ancoraggi

$$P_{ar} = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D \cdot L_a \cdot \tau_{lim}}{F.S.} \geq N_Q$$

stato limite di esercizio

$$P_{ar} = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D \cdot L_a \cdot \tau_{lim}}{F.S.} \geq N_{ys}$$

stato limite di ultimo

Si prescrivono iniezioni con messa in pressione IGU in argille $\Rightarrow \alpha \cong 1.1$

Si assume che la resistenza allo sfilamento aumenti con la profondità e la qualità del substrato interessato dalla fondazione del tirante:

Assumiamo adeguato un fattore di sicurezza >2.0 per lo stato limite di esercizio e >1.0 per la condizione ultima dovuta al sisma.

STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Tirante	D [m]	α	L_a [m]	τ_{lim} [kPa]	P_{ar} [kN]	N_Q [kN]	$F.S. = P_{ar}/N_Q$
1°	0.14	1.1	6.00	160	465	170	2.73
2°	0.14	1.1	10.00	180	880	430	2.02
3°	0.14	1.1	15.00	200	1450	620	2.33
4°	0.14	1.1	16.50	200	1600	660	2.42
5°	0.14	1.1	16.00	200	1550	640	2.42

STATO LIMITE ULTIMO - SISMA

Tirante	D [m]	α	L_a [m]	τ_{lim} [kPa]	P_{ar} [kN]	N_{ys} [kN]	$F.S. = P_{ar}/N_{ys}$
1°	0.14	1.1	6.00	160	465	440	1.06
2°	0.14	1.1	10.00	180	880	880	1.00
3°	0.14	1.1	15.00	200	1450	1100	1.32
4°	0.14	1.1	16.50	200	1600	1100	1.45
5°	0.14	1.1	16.00	200	1550	1100	1.40

Si noti che in condizione ultima si verifica che il bulbo sia in grado di reggere la massima forza applicabile al tirante nella condizione limite di snervamento,

Verifica dei tubolari costituenti i pali – Fe510 (S355)

Si verifica la condizione ultima dovuta al sisma:

Massimo momento flettente: $M_{Sd} = -47.40$ [kN · m/m]

Massimo taglio associato: $V_{Sd} = 134.00$ [kN/m]

Massima forza normale associata: $N_{Sd} = -448.00$ [kN/m]

Considerando l'interasse dei pali pari a $i_p = 0.5$ [m], le sollecitazioni diventano:

Massimo momento flettente: $M_{Sd} = -23.70$ [kN · m/m]

Massimo taglio associato: $V_{Sd} = 67.00$ [kN/m]

Massima forza normale associata: $N_{Sd} = -224.00$ [kN/m]

A [cm^2]	W_{el} [cm^3]	W_{pl} [cm^3]	A_v [cm^2]	i [cm]	E [kN/cm^2]	f_y [kN/cm^2]
40.75	123.39	168.55	25.94	4.60	21000	35.50

Verifiche di resistenza – EC.3 (5.3.6)

$$\frac{\frac{N_{Sd}}{A \cdot f_y} + \frac{M_{Sd}}{W_{pl} \cdot f_y}}{\gamma_{M0}} = \frac{224}{40.75 \cdot 35.5} + \frac{2370}{168.55 \cdot 35.5} = 0.61 \leq 1$$

$$V_{Rd} = \frac{2 \cdot A}{\pi} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\gamma_{M0}} = 25.94 \cdot \frac{35.5}{1.1 \cdot \sqrt{3}} = 483 \gg 67 \quad [kN]$$

Verifica di stabilità – EC.3 (5.5.4)

Assumiamo che il palo sia vincolato alle travi di contrasto in modo da limitare la lunghezza libera di inflessione all'interasse verticale delle travi stesse pari a $l = 250$ [cm].

Sotto questa ipotesi valgono le seguenti relazioni:

$$l_0 = \beta \cdot l = 1 \cdot 250 = 250 \quad [cm]$$

$$\lambda = l_0 / i = 250 / 4.60 = 54.35$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 40.75}{54.35^2} = 2859 \quad [kN]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\beta \cdot A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 40.75 \cdot 35.50}{2859}} = 0.7113$$

$$\phi = 0.5 \cdot [1 + 0.21 \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] = 0.5 \cdot [1 + 0.21 \cdot (0.7113 - 0.2) + 0.7113^2] = 0.8066$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0.5}} = \frac{1}{0.8066 + [0.8066^2 - 0.7113^2]^{0.5}} = 0.8425$$

$$\frac{\frac{N_{Sd}}{\chi \cdot A \cdot f_y} + \frac{k \cdot M_{Sd}}{W_{pl} \cdot f_y}}{\gamma_{M1}} = \frac{224}{0.8425 \cdot 40.75 \cdot 35.50} + \frac{1.5 \cdot 2370}{168.55 \cdot 35.50} = 0.86 \leq 1$$

Verifica delle travi di contrasto – Fe430 (S275)

$$F_d = \frac{N_Q}{i_{tiranti}} \quad \text{carico di progetto delle travi di contrasto}$$

$$M_{Sd} = \frac{F_d \cdot i^2}{10} \quad \text{momento di calcolo (trave continua)}$$

$$W_{x,pl} = 2 \cdot W'_{x,pl} \quad \text{modulo di resistenza plastico}$$

$$M_{Sd} \leq W_{x,pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Stato limite ultimo}$$

$$M_{Sd} \leq W_{x,el} \cdot \sigma_{amm} \quad \text{Stato limite di esercizio}$$

STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Tirante	Esercizio [kN]	Travi	Interasse [m]	F _d [kN/m]	M _{Sd} [kNm]	W _{x,el} [cm ³]	M _{Rd} [kNm]
1°	170	HE 140 A	2.50	68.0	42.5	310.8	59.0
2°	430	HE 180 A	2.50	172.0	107.5	587.2	112.0
3°	620	HE 220 A	2.50	248.0	155.0	1030.4	196.0
4°	660	HE 220 A	2.50	264.0	165.0	1030.4	196.0
5°	640	HE 220 A	2.50	256.0	160.0	1030.4	196.0

STATO LIMITE ULTIMO - SISMA

Tirante	Sisma [kN]	Travi	Interasse [m]	F _d [kN/m]	M _{Sd} [kNm]	W _{x,pl} [cm ³]	M _{Rd} [kNm]
1°	207	HE 140 A	2.50	82.80	52.0	347.0	86.0
2°	515	HE 180 A	2.50	206.00	130.0	649.8	162.0
3°	720	HE 220 A	2.50	288.00	180.0	1173.0	293.0
4°	730	HE 220 A	2.50	292.00	183.0	1173.0	293.0
5°	685	HE 220 A	2.50	274.00	172.0	1173.0	293.0

Verifica di imbozzamento dell'anima (solo a SLU):

$$P_{a,Rd} = 0.5 \cdot t_w^2 \cdot \sqrt{E \cdot f_y} \cdot \frac{\sqrt{\frac{t_f}{t_w} + 3 \cdot \frac{t_w}{t_f} \cdot \frac{s_s}{d}}}{\gamma_{M1}} \quad \text{con} \quad \frac{s_s}{d} \leq 0.2 \quad d = h_1$$

HE 140 A: $s_s = 3.60 [cm]$

$$P_{a,Rd} = 0.5 \cdot 0.55^2 \cdot \sqrt{21000 \cdot 27.5} \cdot \frac{\sqrt{\frac{0.85}{0.55} + 3 \cdot \frac{0.55}{0.85} \cdot \frac{3.60}{9.2}}}{1.1} = 209 > \frac{207}{2}$$

HE 180 A: $s_s = 4.20 \text{ [cm]}$

$$P_{a,Rd} = 0.5 \cdot 0.60^2 \cdot \sqrt{21000 \cdot 27.5} \cdot \frac{\sqrt{\frac{0.95}{0.60}} + 3 \cdot \frac{0.60}{0.95} \cdot \frac{4.20}{12.2}}{1.1} = 240 < \frac{515}{2}$$

è necessario prevedere degli irrigidimenti dell'anima.

HE 220 A: $s_s = 5.00 \text{ [cm]}$

$$P_{a,Rd} = 0.5 \cdot 0.70^2 \cdot \sqrt{21000 \cdot 27.5} \cdot \frac{\sqrt{\frac{1.1}{0.70}} + 3 \cdot \frac{0.70}{1.1} \cdot \frac{5.00}{15.2}}{1.1} = 218 < \frac{730}{2}$$

è necessario prevedere degli irrigidimenti dell'anima.