

COMUNE DI OLTRESSENDA ALTA

PROVINCIA DI BERGAMO

PROGETTO: REALIZZAZIONE NUOVO PARCHEGGIO AD USO PUBBLICO IN LOCALITA' MOSCHEL PER IL MIGLIORAMENTO DELLA RICEZIONE TURISTICA E ALLARGAMENTO DELLA SEDE STRADALE NEL TRATTO DI STRADA CHE COLLEGA LE LOCALITA' VALZURIO E SPINELLI PER LA MESSA IN SICUREZZA ED IL MIGLIORAMENTO DELLA TRANSITABILITA'



OGGETTO:

PROGETTO ESECUTIVO

**CALCOLI ESECUTIVI DELLE
STRUTTURE**

GEOMETRA SERGIO PEZZOLI

VIA V. VENETO, 98

24020 SONGAVAZZO (BG) - Tel. 0346/72554 - Fax 0346/76577

C.F. PZZ SRG 79S19 C800J - P.IVA 02876270162

INDICE

1. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3. CARATTERISTICHE RICHIESTE AI MATERIALI IMPIEGATI	2
4. ANALISI DEI CARICHI	3
5. CRITERI DI VERIFICA E PROGETTAZIONE.....	3
6. CONCLUSIONI.....	3

1. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

L'opera in oggetto riguarda la realizzazione del muro di sostegno per l'allargamento a monte di un tratto della strada comunale Valzurio - Spinelli, in località Rosso nel Comune di Oltressenda Alta.

Il muro sarà realizzato in c.c.a. gettato in opera e rivestito in pietra.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto di tutte le strutture è stato eseguito assumendo come Normativa di riferimento la seguente:

- **D.M. 14/01/2008:** NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI.
- **Circolare Min. Infrastrutture e Trasporti n°617 del 02/02/2009:** Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008.
- **D.M. 17/01/2018:** NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI.

3. CARATTERISTICHE RICHIESTE AI MATERIALI IMPIEGATI

Calcestruzzo (C25/30)

Legge costitutiva	parabola rettangolo		
Accorciamento ultimo a flessione	0,35 %		
Accorciamento ultimo a compressione	0,20 %		
Coefficiente di sicurezza	γ_c	=	1,50
Resistenza caratteristica a compressione	R_{ck}	=	30,00 N/mm ²
Resistenza di progetto compressione	f_{cd}	=	14,11 N/mm ²
Resistenza di progetto trazione	f_{ctd}	=	1,19 N/mm ²
Resistenza tangenziale di aderenza	f_{bd}	=	2,69 N/mm ²
Modulo elastico	E_c	=	31447,00 N/mm ²

Acciaio per cemento armato (B450C)

Legge costitutiva	bilineare		
Allungamento ultimo di progetto	1,00 %		
Coefficiente di sicurezza	γ_s	=	1,15
Resistenza allo snervamento	f_{yk}	=	450,00 N/mm ²
Resistenza di progetto	f_{yd}	=	391,30 N/mm ²
Modulo elastico	E_s	=	210000,00 N/mm ²

4. ANALISI DEI CARICHI

I valori delle azioni considerati nei calcoli sono quelli previsti dal D.M. 17/01/2018; in particolare sono stati considerati i carichi elementari di seguito riportati:

Pesi propri:

Peso proprio calcestruzzo = 2500 daN/ m²

Peso proprio rivestimento in pietrame = 2500 daN/ m²

Sovraccarichi permanenti:

terreno a monte del muro = 1900 daN/ m²

con angolo d'attrito medio $\phi = 34^\circ$

Sovraccarichi variabili:

carico neve Hslm = 840 m = 260 daN/ m²

Per le spinte provocate dal terreno e dal sovraccarico variabile a monte del muro e per quelle dovute al sisma si faccia riferimento alla verifica del muro di sostegno riportata in allegato.

5. CRITERI DI VERIFICA E PROGETTAZIONE

Le verifiche del muro sono eseguite seguendo le indicazioni del Cap. 6 del D.M. 17/01/2018 e in particolare seguendo l'Approccio 2 combinazione A1+M1+R3.

L'intervento può essere classificato come TIPO DI COSTRUZIONE 2 (tabella 2.4.I delle N.T.C.), "Costruzioni con livelli di prestazione ordinari", CLASSE D'USO II "Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III" (par. 2.4.2 delle N.T.C.).

Di conseguenza, i parametri da utilizzare nel calcolo e nella verifica sono i seguenti:

- TIPO DI COSTRUZIONE 2
- VITA NOMINALE ≥ 50 anni
- CLASSE D'USO II
- COEFFICIENTE D'USO 1

Il metodo di calcolo adottato è quello agli Stati limite secondo le Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 17/01/2018).

6. CONCLUSIONI

I metodi di calcolo seguiti sono in accordo con la Normativa vigente.

Dall'analisi condotta, le strutture risultano verificate in tutte le loro parti e si certifica che le soluzioni adottate sono idonee a sopportare le sollecitazioni previste da normativa.

Di seguito si allega la verifica del muro di sostegno.

Albino (Bg), 28/09/2018



IL PROGETTISTA
Ing. Fabio Telini

VERIFICA MURO DI SOSTEGNO (tratto dal testo di Bowles §12.6.4).

(Le verifiche sono eseguite seguendo le indicazioni del Cap.6 del D.M.17/01/2018 ed in particolare seguendo l'approccio 2 combinazione A1+M1+R3)

COMBINAZIONE STATICA

Parametri caratteristici del terreno

$$\phi_k := 34\text{-deg} \quad c_k := 0 \cdot \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \quad \beta := 29\text{-deg} \quad \psi := 90\text{-deg}$$

$$\gamma_k := 19 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \gamma_w := 10.00 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \gamma_{\text{clsk}} := 25.00 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Dimensioni del muro:

$$a_1 := 1.10\text{-m}$$

$$a_2 := 0.50\text{-m}$$

$$a_3 := 0.50\text{-m}$$

$$a_4 := 0.40\text{-m}$$

$$a_5 := 0.00\text{-m}$$

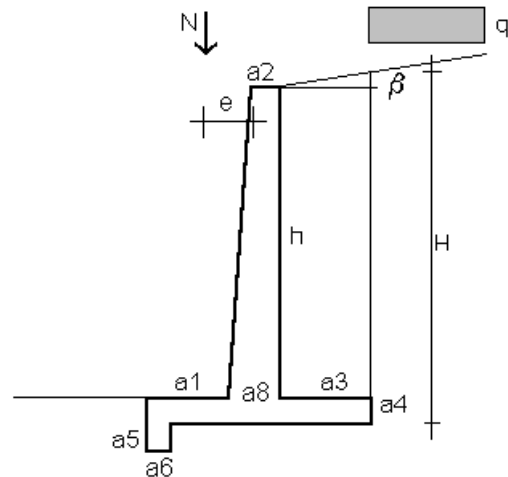
$$a_6 := 0.00\text{-m}$$

$$a_8 := 0.50\text{-m}$$

$$a_7 := a_1 + a_8 + a_3 = 2.1\text{ m}$$

$$h := 2.65\text{-m}$$

$$H_w := a_4 + h + a_3 \cdot \tan(\beta) \quad H = 3.327\text{ m}$$



Sovraccarichi:

$$q_k := 2.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$N_{\text{permk}} := 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ ex := 15\text{-cm}$$

$$N_{\text{vark}} := 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Peso del muro

$$W_{\text{murok}} := \left(a_4 \cdot a_7 + \frac{a_2 + a_8}{2} \cdot h + a_5 \cdot a_6 \right) \cdot \gamma_{\text{clsk}}$$

$$W_{\text{murok}} = 54.125 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Peso del terreno a monte

$$W_{\text{terrk}} := \left(a_3 \cdot h + \frac{a_3^2}{2} \cdot \tan(\beta) \right) \cdot \gamma_k \quad W_{\text{terrk}} = 26.491 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Coefficienti parziali per verifiche allo SLU

$$\gamma_q := 1.5 \quad \gamma_{g1\text{fav}} := 1 \quad \gamma_{g1\text{sfav}} := 1.3 \quad \gamma_\phi := 1$$

$$\gamma_{R\text{scorr}} := 1.1 \quad \gamma_{R\text{qult}} := 1.4 \quad \gamma_{R\text{rib}} := 1.15 \quad \gamma_{R\text{valle}} := 1.4$$

Verifica allo scorrimento:

$$\phi := \text{atan}\left(\frac{\tan(\phi_k)}{\gamma_\phi}\right) \quad \phi = 34\text{-deg}$$

$$c := \frac{c_k}{\gamma_\phi} \quad c = 0$$

$$\delta := \frac{2}{3} \cdot \phi \quad \delta = 22.667\text{-deg}$$

$$q := q_k \cdot \gamma_q$$

$$K_a := \frac{\sin(\psi + \phi)^2}{\sin(\psi)^2 \cdot \sin(\psi - \delta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\sin(\psi - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right)^2} \quad K_a = 0.44$$

$$K_p := \tan\left(45\text{-deg} + \frac{\phi}{2}\right)^2 \quad K_p = 3.537$$

Quota di annullamento della pressione

$$z_0 := \frac{2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} - q \cdot K_a}{\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} \cdot K_a}$$

$$z_0 := \text{if}(z_0 < 0 \cdot \text{m}, 0 \cdot \text{m}, z_0) \quad z_0 = 0 \text{ m}$$

Componente orizzontale e verticale della spinta attiva

$$SA_{h1} := \frac{1}{2} \cdot [(\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot (H - z_0) \cdot \cos(\delta) + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z_0^2$$

$$SA_{v1} := \frac{1}{2} \cdot [(\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot (H - z_0) \cdot \sin(\delta)$$

$$SA_h := \text{if}\left[z_0 = 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{2} \cdot [(q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}) + (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot H \cdot \cos(\delta), SA_{h1}\right]$$

$$SA_v := \text{if}\left[z_0 = 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{2} \cdot [(q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}) + (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot H \cdot \sin(\delta), SA_{v1}\right]$$

$$SA_h = 60.842 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad SA_v = 25.409 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carico totale sulla fondazione (non si considerano il carico variabile q lungo a3 ed Nvar perchè favorevoli all'equilibrio)

$$P_{tot} := (W_{muro} + W_{terr} + N_{perm}) \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} \quad P_{tot} = 80.616 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

La spinta è considerata come azione quindi il coefficiente parziale è applicato direttamente ad essa e non al terreno o al sovraccarico o all'acqua

$$R_d := \frac{(P_{tot} + SA_v) \cdot \tan(\phi) + 0.67c \cdot a_7 + \frac{1}{2} \cdot [\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} \cdot K_p \cdot (2 \cdot a_4 + a_5) + 4 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}] \cdot a_5}{\gamma_{R_{scorr}}} \quad R_d = 65.014 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E_d := SA_h$$

$$\text{ver} := \text{if}(R_d > E_d, \text{"verificata"}, \text{"NON verificata"})$$

ver = "verificata"

$$\frac{R_d}{E_d} = 1.069$$

Verifica della capacità portante

Momento dovuto alla componente orizzontale della spinta attiva

$$MS_{Ah1} := \text{if}\left[z_0 > 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{6} \cdot [(\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot (H - z_0)^2 \cdot \cos(\delta) + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z_0^2 \cdot \left(H - \frac{2}{3} \cdot z_0\right), 0 \cdot \text{kN}\right]$$

$$B := (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$b := q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$MS_{Ah} := \text{if}\left[z_0 = 0 \cdot \text{m}, SA_h \cdot \left(\frac{H}{3} \cdot \frac{B + 2 \cdot b}{B + b}\right), MS_{Ah1}\right] \quad MS_{Ah} = 70.402 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto alla componente verticale della spinta attiva

$$MS_{Av} := -SA_v \cdot \frac{a_7}{2} \quad MS_{Av} = -26.68 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto al peso del muro

$$M_m := \gamma_{clsk} \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} \cdot \left[a_2 \cdot h \cdot \left(\frac{a_7}{2} - a_1 - a_8 + \frac{a_2}{2} \right) + (a_8 - a_2) \cdot \frac{h}{2} \cdot \left[\frac{a_7}{2} - a_1 - a_8 + a_2 + \frac{2}{3} \cdot (a_8 - a_2) \right] \right] \quad M_m = -9.938 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto al terreno

$$M_{terr} := \gamma_k \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} \cdot \left[a_3 \cdot h \cdot \left(\frac{a_3}{2} - \frac{a_7}{2} \right) + \frac{a_3^2}{2} \cdot \tan(\beta) \cdot \left(\frac{a_3}{3} - \frac{a_7}{2} \right) \right] \quad M_{terr} = -21.303 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto al sovraccarico

$$M_N := \left[(N_{perm} \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} + N_{var} \cdot \gamma_q) \cdot \left(\frac{a_7}{2} - a_1 - a_8 + a_2 + ex \right) \right] \quad M_N = 0$$

$$V := W_{muro} \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} + W_{terr} \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} + N_{perm} \cdot \gamma_{g1} \cdot f_{av} + N_{var} \cdot \gamma_q + SA_v$$

$$V = 106.026 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$ecc := \frac{MSAh + MN + Mm + Mterr + MSAv}{V}$$

$$ecc = 0.118 \text{ m}$$

Calcolo della capacità portante (Formula di Hansen)

$$F_{ww} := SAh \quad F = 60.842 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

dimensioni della fondazione

$$B1 := a7 - 2ecc$$

$$Nq := e^{\pi \cdot \tan(\phi)} \cdot \tan\left(45 \cdot \text{deg} + \frac{\phi}{2}\right)^2 \quad Nq = 29.44$$

$$Nc := \frac{(Nq - 1)}{\tan(\phi)} \quad Nc = 42.164$$

$$N\gamma := 1.5 \cdot (Nq - 1) \tan(\phi) \quad N\gamma = 28.774$$

$$iq := \left(1 - \frac{0.5 \cdot F}{V + \frac{B1 \cdot c}{\tan(\phi)}}\right)^2 \quad iq = 0.508$$

$$ic := iq - \frac{1 - iq}{Nq - 1} \quad ic = 0.491$$

$$i\gamma := \left(1 - \frac{0.7 \cdot F}{V + \frac{B1 \cdot c}{\tan(\phi)}}\right)^3 \quad i\gamma = 0.214$$

$$k1 := \frac{a^4}{B1} \quad k1 = 0.215 \quad k2 := \text{atan}\left(\frac{a^4}{B1}\right) \quad k2 = 0.211$$

$$k := \text{if}\left(\frac{a^4}{B1} > 1, k2, k1\right) \quad k = 0.215$$

$$dc := 1 + 0.4 \cdot k \quad dc = 1.086$$

$$dq := 1 + 2 \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \cdot k \quad dq = 1.056$$

$$d\gamma := 1 \quad d\gamma = 1$$

$$qult := c \cdot Nc \cdot ic \cdot dc + \gamma k \cdot \gamma g1 \text{ fav} \cdot a^4 \cdot Nq \cdot iq \cdot dq + 0.5 \cdot (\gamma k \cdot \gamma g1 \text{ fav}) \cdot B1 \cdot N\gamma \cdot i\gamma \cdot d\gamma \quad qult = 22.933 \cdot \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$Rd := \frac{qult \cdot B1}{\gamma Rqult} \quad Rd = 305.43 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{verP} := \text{if}(Rd > V, \text{"verificata"}, \text{"NON verificata"})$$

verP = "verificata"

$$\frac{Rd}{V} = 2.881$$

Verifica al ribaltamento

Momento dovuto alla componente orizzontale della spinta attiva

$$MSAh1 := \text{if}\left[zo > 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{6} \cdot [(\gamma k \cdot \gamma g1 \text{ fav} \cdot H + q) \cdot Ka - 2 \cdot c \cdot \sqrt{Ka}] \cdot (H - zo)^2 \cdot \cos(\delta) + \frac{1}{2} \cdot \gamma w \cdot zo^2 \cdot \left(H - \frac{2}{3} \cdot zo\right), 0 \cdot \text{kN}\right]$$

$$B := (\gamma k \cdot \gamma g1 \text{ fav} \cdot H + q) \cdot Ka - 2 \cdot c \cdot \sqrt{Ka}$$

$$b := q \cdot Ka - 2 \cdot c \cdot \sqrt{Ka}$$

$$MSAh := \text{if}\left[zo = 0 \cdot \text{m}, SAh \cdot \left(\frac{H}{3} \cdot \frac{B + 2 \cdot b}{B + b}\right), MSAh1\right] \quad MSAh = 70.402 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto alla componente verticale della spinta attiva

$$MSAv := SAV \cdot a7 \quad MSAv = 53.359 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto al peso proprio del muro

$$Mmuro := \left[\frac{a7^2 \cdot a4}{2} + \frac{1}{2} \cdot h \cdot (a8 - a2) \cdot \left[a1 + \frac{2}{3} \cdot (a8 - a2)\right] + a2 \cdot h \cdot \left(a1 + a8 - \frac{a2}{2}\right) + a5 \cdot a6 \cdot \left(\frac{a6}{2}\right)\right] \cdot \gamma \text{ clsk} \cdot \gamma g1 \text{ fav}$$

Momento dovuto al peso del terreno dietro al muro

$$\underline{M_{terr}} := \left[a_3 \cdot h \cdot \left(a_1 + a_8 + \frac{a_3}{2} \right) + \frac{a_3^2}{2} \cdot \tan(\beta) \cdot \left(a_1 + a_8 + \frac{2}{3} \cdot a_3 \right) \right] \cdot (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av})$$

Momento dovuto ai sovraccarico (q non si considera perchè ha effetto favorevole)

$$\underline{M_N} := (N_{permk} + N_{vark}) \cdot (a_1 + a_8 - a_2 - ex)$$

$$M_{Ed} := M_{SAh}$$

$$M_{Ed} = 70.402 \cdot \text{kN}$$

$$M_{Rd} := \frac{M_{muro} + M_{terr} + M_N + M_{SAv}}{\gamma_{Rib}}$$

$$M_{Rd} = 147.171 \cdot \text{kN}$$

$$verM := \text{if}(M_{Rd} > M_{Ed}, \text{"verificata"}, \text{"NON verificata"})$$

$$verM = \text{"verificata"}$$

$$\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 2.09$$

Diagramma delle sollecitazioni flettenti sul muro (A1 - comb. 1)

Azione di taglio alla base del muro

$$V_{h1} := \frac{1}{2} \cdot \left[[\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot (h + a_3 \cdot \tan(\beta)) + q] \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \right] \cdot (h + a_3 \cdot \tan(\beta) - z_0) \cdot \cos(\delta) + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z_0^2$$

$$V_h := \text{if} \left[z_0 = 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{2} \cdot \left[(q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}) + [\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot (h + a_3 \cdot \tan(\beta)) + q] \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \right] \cdot (h + a_3 \cdot \tan(\beta)) \cdot \cos(\delta), SA_{h1} \right]$$

$$V_h = 47.65 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

momento flettente alla base del muro

se $z_0=0$

$$\beta(z) := (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot z + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$\underline{b} := q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$M_1(z) := \frac{1}{6} \cdot z^2 \cdot (\beta(z) + 2 \cdot b)$$

$z_0 > 0$

$$M(z) := \text{if} \left[z_0 > 0 \cdot \text{m}, \text{if} \left[z > z_0, \frac{1}{6} \cdot (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av}) \cdot K_a \cdot (z - z_0)^3 \dots, \frac{1}{6} \cdot (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av}) \cdot z^3 \right], M_1(z) \right]$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z_0^2 \cdot \left(z - \frac{2 \cdot z_0}{3} \right)$$

$$M(h) = 39.776 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Calcolo delle pressioni sulla piastra di base

Componente orizzontale e verticale della spinta attiva

$$\underline{SA_{h1}} := \frac{1}{2} \cdot \left[(\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \right] \cdot (H - z_0) \cdot \cos(\delta) + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z_0^2$$

$$\underline{SA_{v1}} := \frac{1}{2} \cdot \left[(\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \right] \cdot (H - z_0) \cdot \sin(\delta)$$

$$\underline{SA_h} := \text{if} \left[z_0 = 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{2} \cdot \left[(q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}) + (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \right] \cdot H \cdot \cos(\delta), SA_{h1} \right] = 60.842 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\underline{SA_v} := \text{if} \left[z_0 = 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{2} \cdot \left[(q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}) + (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \right] \cdot H \cdot \sin(\delta), SA_{v1} \right] = 25.409 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Momento dovuto alla componente orizzontale della spinta attiva

$$\underline{MSA_{h1}} := \text{if} \left[z_0 > 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{6} \cdot \left[(\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \right] \cdot (H - z_0)^2 \cdot \cos(\delta) + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z_0^2 \cdot \left(H - \frac{2}{3} \cdot z_0 \right), 0 \cdot \text{kN} \right]$$

$$\underline{B} := (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$\underline{b} := q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$\underline{MSA_h} := \text{if} \left[z_0 = 0 \cdot \text{m}, SA_h \cdot \left(\frac{H}{3} \cdot \frac{B + 2 \cdot b}{B + b} \right), MSA_{h1} \right]$$

$$MSA_h = 70.402 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto alla componente verticale della spinta attiva

$$MSAv_v := -SAv \cdot \frac{a7}{2}$$

$$MSAv = -26.68 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto al peso del muro

$$Mm := \gamma_{clsk} \cdot \gamma_{glfav} \cdot \left[a2 \cdot h \cdot \left(\frac{a7}{2} - a1 - a8 + \frac{a2}{2} \right) + (a8 - a2) \cdot \frac{h}{2} \cdot \left[\frac{a7}{2} - a1 - a8 + a2 + \frac{2}{3} \cdot (a8 - a2) \right] \right] \quad Mm = -9.938 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto al terreno

$$Mterr := \gamma_k \cdot \gamma_{glfav} \cdot \left[a3 \cdot h \cdot \left(\frac{a3}{2} - \frac{a7}{2} \right) + \frac{a3^2}{2} \cdot \tan(\beta) \cdot \left(\frac{a3}{3} - \frac{a7}{2} \right) \right] \quad Mterr = -21.303 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto al sovraccarico

$$MN := \left[(N_{permk} \cdot \gamma_{glfav} + N_{vark} \cdot \gamma_q) \cdot \left(\frac{a7}{2} - a1 - a8 + a2 + ex \right) \right] \quad MN = 0$$

$$Wtot := W_{murok} \cdot \gamma_{glfav} + W_{terr} \cdot \gamma_{glfav} + N_{permk} \cdot \gamma_{glfav} + N_{vark} \cdot \gamma_q + SAV \quad Wtot = 106.026 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$ecc := \frac{MSAh + MN + Mm + Mterr + MSAv}{V} \quad ecc = 0.118 \text{ m}$$

$$\sigma_v := \text{if} \left[ecc > \frac{a7}{6}, \frac{2 \cdot Wtot}{3 \cdot \left(\frac{a7}{2} - ecc \right)}, \frac{Wtot}{a7} + \frac{Wtot \cdot ecc \cdot 6}{a7^2} \right] \quad \sigma_v = 0.688 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_m := \text{if} \left(ecc > \frac{a7}{6}, 0 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}, \frac{Wtot}{a7} - \frac{Wtot \cdot ecc \cdot 6}{a7^2} \right) \quad \sigma_m = 0.342 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$ao := \text{if} \left[ecc > \frac{a7}{6}, 3 \cdot \left(\frac{a7}{2} - ecc \right), \frac{\sigma_m \cdot a7}{\sigma_v - \sigma_m} + a7 \right] \quad ao = 4.172 \text{ m}$$

$$\sigma_{1t}(x) := \sigma_v - x \cdot \frac{\sigma_v}{ao}$$

$$\sigma_t(x) := \text{if} \left(\sigma_{1t}(x) < 0, \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, 0 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, \sigma_{1t}(x) \right)$$

Sollecitazioni sulla mensola a valle

$$M_{valle} := \int_{0 \cdot \text{cm}}^{a1} \sigma_t(x) \cdot (a1 - x) \, dx = 37.232 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$T_{valle} := \int_{0 \cdot \text{cm}}^{a1} \sigma_t(x) \, dx = 64.432 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Sollecitazioni sulla mensola a monte

$$M_{monte} := \gamma_k \cdot \gamma_{glfav} \cdot h \cdot \frac{a3^2}{2} - \int_{a1+a8}^{a7} \sigma_t(x) \cdot (x - a1 - a8) \, dx = 3.657 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$T_{mon} := \gamma_k \cdot \gamma_{glfav} \cdot h \cdot a3 - \int_{a1+a8}^{a7} \sigma_t(x) \, dx = 13.953 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

CONDIZIONE DINAMICA

accelerazione orizzontale massima su suolo di cat. A

$$ag := 0.077$$

coefficiente di amplificazione stratigrafica (§3.2.3.2.1)

$$Ss := 1.50$$

coefficiente di amplificazione topografica

$$St := 1.20$$

$$amax := ag \cdot Ss \cdot St$$

$$\beta_m := 0.38 \quad \text{vedi §7.11.6.2.1 NTC}$$

$$k_h := \beta_m \cdot a_{\max} \quad k_h = 0.053$$

$$k_v := 0.5 \cdot k_h \quad k_v = 0.026$$

$$\theta := \operatorname{atan}\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right) \quad \theta = 3.096 \cdot \text{deg}$$

coefficiente di combinazione per i carichi variabili ($\psi=1$ per sovraccarichi permanenti, $\psi=0.3$ per carico veicolare)

$$\psi_c := 0.0$$

per non modificare le formule imposto $q_w := \psi_c \cdot q$

Coefficienti parziali per verifiche allo SLV

$$\gamma_q := 1$$

$$\gamma_{g1fav} := 1$$

$$\gamma_{g1sfav} := 1$$

$$\gamma_\phi := 1$$

$$\gamma_{Rscorr} := 1.0$$

$$\gamma_{Rqult} := 1.2$$

$$\gamma_{Rrib} := 1.0$$

$$\gamma_{Rvalle} := 1.2$$

Verifica allo scorrimento:

$$\phi := \operatorname{atan}\left(\frac{\tan(\phi_k)}{\gamma_\phi}\right) \quad \phi = 34 \cdot \text{deg}$$

$$c := \frac{c_k}{\gamma_\phi} \quad c = 0$$

$$\delta := \frac{2}{3} \cdot \phi \quad \delta = 22.667 \cdot \text{deg}$$

$$q_w := q_k \cdot \gamma_q$$

$$K_a := \frac{\sin(\psi + \phi - \theta)^2}{\cos(\theta) \sin(\psi)^2 \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}}\right)^2} \quad K_a = 0.58$$

$$K_p := \frac{\sin(\psi - \phi + \theta)^2}{\cos(\theta) \sin(\psi)^2 \cdot \sin(\psi + \theta + \delta) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \theta + \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}}\right)^2} \quad K_p = 463.28$$

Quota di annullamento della pressione

$$z_0 := \frac{2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} - q \cdot K_a}{\gamma_k \cdot \gamma_{g1fav} \cdot K_a}$$

$$z_0 := \text{if}(z_0 < 0 \cdot \text{m}, 0 \cdot \text{m}, z_0) \quad z_0 = 0 \text{ m}$$

Componente orizzontale e verticale della spinta attiva (trascurato k_v)

$$S_{Ah1} := \frac{1}{2} \cdot [(\gamma_k \cdot \gamma_{g1sfav} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot (H - z_0) \cdot \cos(\delta) + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z_0^2$$

$$S_{Av1} := \frac{1}{2} \cdot [(\gamma_k \cdot \gamma_{g1sfav} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot (H - z_0) \cdot \sin(\delta)$$

$$S_{Ah} := \text{if}\left[z_0 = 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{2} \cdot [(q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}) + (\gamma_k \cdot \gamma_{g1sfav} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot H \cdot \cos(\delta), S_{Ah1}\right]$$

$$S_{Av} := \text{if}\left[z_0 = 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{2} \cdot [(q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}) + (\gamma_k \cdot \gamma_{g1sfav} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot H \cdot \sin(\delta), S_{Av1}\right]$$

$$S_{Ah} = 60.95 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$S_{Av} = 25.454 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carico totale sulla fondazione (non si considerano il carico variabile q lungo a_3 ed N_{var} perchè favorevoli all'equilibrio)

$$P_{tot} := (W_{murok} + W_{terr} + N_{perm}) \cdot \gamma_{g1fav} \quad P_{tot} = 80.616 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

La spinta è considerata come azione quindi il coefficiente parziale è applicato direttamente ad essa e non al terreno o

$$(P_{tot} + S_{Av}) \cdot \tan(\phi) + 0.67c \cdot a_7 + \frac{\frac{1}{2} \cdot [\gamma_k \cdot \gamma_{g1fav} \cdot K_p \cdot (2 \cdot a_4 + a_5) + 4 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}] \cdot a_5}{\gamma_{Rvalle}}$$

$$R_d := \frac{(P_{tot} + S_{Av}) \cdot \tan(\phi) + 0.67c \cdot a_7 + \frac{\frac{1}{2} \cdot [\gamma_k \cdot \gamma_{g1fav} \cdot K_p \cdot (2 \cdot a_4 + a_5) + 4 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}] \cdot a_5}{\gamma_{Rvalle}}}{\gamma_{Rscorr}}$$

$$R_d = 71.546 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Forza d'inerzia del muro in calcestruzzo

$$\text{Fipar} := \gamma_{\text{clsk}} \cdot \frac{(a2 + a8)}{2} \cdot h \cdot a_{\text{max}} \quad \text{Fipar} = 4.591 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Fibase} := \gamma_{\text{clsk}} \cdot a4 \cdot a7 \cdot a_{\text{max}} \quad \text{Fibase} = 2.911 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Ed} := \text{SAh} + \text{Fipar} + \text{Fibase}$$

$$\text{Ed} = 68.452 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{ver} := \text{if}(\text{Rd} > \text{Ed}, \text{"verificata"}, \text{"NON verificata"})$$

ver = "verificata"

$$\frac{\text{Rd}}{\text{Ed}} = 1.045$$

Verifica della capacità portante (A1-comb 2)

Momento dovuto alla componente orizzontale della spinta attiva

$$\text{MSAh1} := \text{if}\left[\text{zo} > 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{6} \cdot [(\gamma_k \cdot \gamma_{\text{gl}} \cdot \text{sfav} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot (H - \text{zo})^2 \cdot \cos(\delta) + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot \text{zo}^2 \cdot \left(H - \frac{2}{3} \cdot \text{zo}\right), 0 \cdot \text{kN}\right]$$

$$\text{B} := (\gamma_k \cdot \gamma_{\text{gl}} \cdot \text{sfav} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$\text{b} := q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$\text{MSAh} := \text{if}\left[\text{zo} = 0 \cdot \text{m}, \text{SAh} \cdot \left(\frac{H}{3} \cdot \frac{\text{B} + 2 \cdot \text{b}}{\text{B} + \text{b}}\right), \text{MSAh1}\right] \quad \text{MSAh} = 70.166 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto alla componente verticale della spinta attiva

$$\text{MSAv} := -\text{SAv} \cdot \frac{a7}{2} \quad \text{MSAv} = -26.727 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto al peso del muro

$$\text{Mm} := \gamma_{\text{clsk}} \cdot \gamma_{\text{gl}} \cdot \text{fav} \cdot \left[a2 \cdot h \cdot \left(\frac{a7}{2} - a1 - a8 + \frac{a2}{2}\right) + (a8 - a2) \cdot \frac{h}{2} \cdot \left[\frac{a7}{2} - a1 - a8 + a2 + \frac{2}{3} \cdot (a8 - a2)\right] \right] \quad \text{Mm} = -9.938 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto al terreno

$$\text{Mterr} := \gamma_k \cdot \gamma_{\text{gl}} \cdot \text{fav} \cdot \left[a3 \cdot h \cdot \left(\frac{a3}{2} - \frac{a7}{2}\right) + \frac{a3^2}{2} \cdot \tan(\beta) \cdot \left(\frac{a3}{3} - \frac{a7}{2}\right) \right] \quad \text{Mterr} = -21.303 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto al sovraccarico

$$\text{MN} := \left[(\text{Npermk} \cdot \gamma_{\text{gl}} \cdot \text{sfav} + \text{Nvark} \cdot \gamma_q) \cdot \left(\frac{a7}{2} - a1 - a8 + a2 + \text{ex}\right) \right] \quad \text{MN} = 0$$

Momento dovuto alle forze d'inerzia del muro di calcestruzzo

$$\text{MI} := \text{Fipar} \cdot \left(\frac{h}{2} + a4\right) + \text{Fibase} \cdot \frac{a4}{2}$$

$$\text{V} := \text{Wmurok} \cdot \gamma_{\text{gl}} \cdot \text{fav} + \text{Wterr} \cdot \gamma_{\text{gl}} \cdot \text{fav} + \text{Npermk} \cdot \gamma_{\text{gl}} \cdot \text{fav} + \text{Nvark} \cdot \gamma_q + \text{SAv}$$

$$\text{V} = 106.071 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{ecc} := \frac{\text{MSAh} + \text{MN} + \text{Mm} + \text{Mterr} + \text{MSAv} + \text{MI}}{\text{V}}$$

$$\text{ecc} = 0.195 \text{ m}$$

Calcolo della capacità portante (Formola di Hansen)

$$\text{F} := \text{SAh} + \text{Fipar} + \text{Fibase}$$

$$\text{F} = 68.452 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

dimensioni della fondazione

$$\text{B1} := a7 - 2 \cdot \text{ecc}$$

$$\text{Nq} := e^{\pi \cdot \tan(\phi)} \cdot \tan\left(45 \cdot \text{deg} + \frac{\phi}{2}\right)^2 \quad \text{Nq} = 29.44$$

$$\text{Nc} := \frac{(\text{Nq} - 1)}{\tan(\phi)} \quad \text{Nc} = 42.164$$

$$\text{N}\gamma := 1.5 \cdot (\text{Nq} - 1) \cdot \tan(\phi) \quad \text{N}\gamma = 28.774$$

$$\text{iq} := \left(1 - \frac{0.5 \cdot \text{F}}{\text{V} + \frac{\text{B1} \cdot c}{\tan(\phi)}}\right)^2 \quad \text{iq} = 0.459$$

$$i_c := i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad i_c = 0.44$$

$$i_{\gamma} := \left(1 - \frac{0.7 \cdot F}{V + \frac{B1 \cdot c}{\tan(\phi)}} \right)^3 \quad i_{\gamma} = 0.165$$

$$k1 := \frac{a^4}{B1} \quad k1 = 0.234 \quad k2 := \operatorname{atan}\left(\frac{a^4}{B1}\right) \quad k2 = 0.23$$

$$k := \operatorname{if}\left(\frac{a^4}{B1} > 1, k2, k1\right) \quad k = 0.234$$

$$d_c := 1 + 0.4 \cdot k \quad d_c = 1.094$$

$$d_q := 1 + 2 \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \cdot k \quad d_q = 1.061$$

$$d_{\gamma} := 1 \quad d_{\gamma} = 1$$

$$q_{ult} := c \cdot N_c \cdot i_c \cdot d_c + \gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot a^4 \cdot N_q \cdot i_q \cdot d_q + 0.5 \cdot (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av}) \cdot B1 \cdot N_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot d_{\gamma} = 18.596 \cdot \frac{N}{cm^2}$$

$$R_d := \frac{q_{ult} \cdot B1}{\gamma_{Rqult}} = 264.951 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$verP := \operatorname{if}(R_d > V, \text{"verificata"}, \text{"NON verificata"})$$

verP = "verificata"

$$\frac{R_d}{V} = 2.498$$

Verifica al ribaltamento

Momento dovuto alla componente orizzontale della spinta attiva

$$MSAh1 := \operatorname{if}\left[z_0 > 0 \cdot m, \frac{1}{6} \cdot [(\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot (H - z_0)^2 \cdot \cos(\delta) + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z_0^2 \cdot \left(H - \frac{2}{3} \cdot z_0\right), 0 \cdot kN\right]$$

$$B := (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$b := q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$MSAh := \operatorname{if}\left[z_0 = 0 \cdot m, SAh \cdot \left(\frac{H}{3} \cdot \frac{B + 2 \cdot b}{B + b}\right), MSAh1\right] \quad MSAh = 70.166 \cdot kN \cdot \frac{m}{m}$$

Momento dovuto alla componente verticale della spinta attiva

$$MSAv := SA_v \cdot a^7 \quad MSA_v = 53.454 \cdot kN \cdot \frac{m}{m}$$

Momento dovuto al peso proprio del muro

$$M_{muro} := \left[\frac{a^7 \cdot a^4}{2} + \frac{1}{2} \cdot h \cdot (a^8 - a^2) \cdot \left[a^1 + \frac{2}{3} \cdot (a^8 - a^2) \right] + a^2 \cdot h \cdot \left(a^1 + a^8 - \frac{a^2}{2} \right) + a^5 \cdot a^6 \cdot \left(\frac{a^6}{2} \right) \right] \cdot \gamma_{clsk} \cdot \gamma_{g1} f_{av}$$

Momento dovuto al peso del terreno dietro al muro

$$M_{terr} := \left[a^3 \cdot h \cdot \left(a^1 + a^8 + \frac{a^3}{2} \right) + \frac{a^3 \cdot a^2}{2} \cdot \tan(\beta) \cdot \left(a^1 + a^8 + \frac{2}{3} \cdot a^3 \right) \right] \cdot (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av})$$

Momento dovuto ai sovraccarichi (q non si considera perchè ha effetto favorevole)

$$M_N := (N_{permk} + N_{vark}) \cdot \gamma_q \cdot (a^1 + a^8 - a^2 - ex)$$

$$M_{Ed} := MSAh + M_I \quad M_{Ed} = 78.668 \cdot kN$$

$$M_{Rd} := \frac{M_{muro} + M_{terr} + M_N + MSA_v}{\gamma_{Rib}} \quad M_{Rd} = 169.342 \cdot kN$$

$$verM := \operatorname{if}(M_{Rd} > M_{Ed}, \text{"verificata"}, \text{"NON verificata"})$$

verM = "verificata"

$$\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 2.153$$

Diagramma delle sollecitazioni flettenti sul muro

Azione di taglio alla base del muro

$$V_{h1} := \frac{1}{2} \cdot [(\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot (h + a^3 \cdot \tan(\beta)) + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot (h + a^3 \cdot \tan(\beta) - z_0) \cdot \cos(\delta) + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z_0^2$$

$$V_h := \operatorname{if}\left[z_0 = 0 \cdot m, \frac{1}{2} \cdot [(q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}) + (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} f_{av} \cdot (h + a^3 \cdot \tan(\beta)) + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot (h + a^3 \cdot \tan(\beta)) \cdot \cos(\delta), SAh1\right]$$

$$V_h = 47.666 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

momento flettente alla base del muro

se $z_0=0$

$$\beta(z) := (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \text{sfav} \cdot z + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$b_w := q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$M_1(z) := \frac{1}{6} \cdot z^2 \cdot (\beta(z) + 2 \cdot b)$$

$z_0 > 0$

$$M(z) := \text{if} \left[z_0 > 0 \cdot \text{m}, \text{if} \left[z > z_0, \frac{1}{6} \cdot (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \text{sfav}) \cdot K_a \cdot (z - z_0)^3 \dots, \frac{1}{6} \cdot (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \text{sfav}) \cdot z^3 \right], M_1(z) \right] + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z_0^2 \cdot \left(z - \frac{2 \cdot z_0}{3} \right)$$

$$M(h) = 39.498 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

Calcolo delle pressioni sulla piastra di base

Componente orizzontale e verticale della spinta attiva

$$S_{Ah1} := \frac{1}{2} \cdot [(\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \text{sfav} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot (H - z_0) \cdot \cos(\delta) + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z_0^2$$

$$S_{Av1} := \frac{1}{2} \cdot [(\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \text{sfav} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot (H - z_0) \cdot \sin(\delta)$$

$$S_{Ah} := \text{if} \left[z_0 = 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{2} \cdot [(q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}) + (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \text{sfav} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot H \cdot \cos(\delta), S_{Ah1} \right] = 60.95 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$S_{Av} := \text{if} \left[z_0 = 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{2} \cdot [(q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}) + (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \text{sfav} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot H \cdot \sin(\delta), S_{Av1} \right] = 25.454 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Momento dovuto alla componente orizzontale della spinta attiva

$$M_{SAh1} := \text{if} \left[z_0 > 0 \cdot \text{m}, \frac{1}{6} \cdot [(\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \text{sfav} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}] \cdot (H - z_0)^2 \cdot \cos(\delta) + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z_0^2 \cdot \left(H - \frac{2}{3} \cdot z_0 \right), 0 \cdot \text{kN} \right]$$

$$B := (\gamma_k \cdot \gamma_{g1} \text{sfav} \cdot H + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$b_w := q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$M_{SAh} := \text{if} \left[z_0 = 0 \cdot \text{m}, S_{Ah} \cdot \left(\frac{H}{3} \cdot \frac{B + 2 \cdot b}{B + b} \right), M_{SAh1} \right] \quad M_{SAh} = 70.166 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto alla componente verticale della spinta attiva

$$M_{SAv} := -S_{Av} \cdot \frac{a^7}{2} \quad M_{SAv} = -26.727 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto al peso del muro

$$M_m := \gamma_{clsk} \cdot \gamma_{g1} \text{fav} \cdot \left[a_2 \cdot h \cdot \left(\frac{a_7}{2} - a_1 - a_8 + \frac{a_2}{2} \right) + (a_8 - a_2) \cdot \frac{h}{2} \cdot \left[\frac{a_7}{2} - a_1 - a_8 + a_2 + \frac{2}{3} \cdot (a_8 - a_2) \right] \right] \quad M_m = -9.938 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto al terreno

$$M_{terr} := \gamma_k \cdot \gamma_{g1} \text{fav} \cdot \left[a_3 \cdot h \cdot \left(\frac{a_3}{2} - \frac{a_7}{2} \right) + \frac{a_3^2}{2} \cdot \tan(\beta) \cdot \left(\frac{a_3}{3} - \frac{a_7}{2} \right) \right] \quad M_{terr} = -21.303 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

Momento dovuto al sovraccarico

$$M_N := \left[(N_{permk} \cdot \gamma_{g1} \text{sfav} + N_{vark} \cdot \gamma_q) \cdot \left(\frac{a_7}{2} - a_1 - a_8 + a_2 + ex \right) \right] \quad M_N = 0$$

$$W_{tot} := W_{murok} \cdot \gamma_{g1} \text{fav} + W_{terr} \cdot \gamma_{g1} \text{fav} + N_{permk} \cdot \gamma_{g1} \text{fav} + N_{vark} \cdot \gamma_q + S_{Av} \quad W_{tot} = 106.071 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$ecc := \frac{M_{SAh} + M_N + M_m + M_{terr} + M_{SAv}}{V} \quad ecc = 0.115 \text{ m}$$

$$\underline{\sigma_v} := \text{if} \left[\text{ecc} > \frac{a7}{6}, \frac{2 \cdot W_{\text{tot}}}{3 \cdot \left(\frac{a7}{2} - \text{ecc} \right)}, \frac{W_{\text{tot}}}{a7} + \frac{W_{\text{tot}} \cdot \text{ecc} \cdot 6}{a7^2} \right] \quad \sigma_v = 0.684 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\underline{\sigma_m} := \text{if} \left(\text{ecc} > \frac{a7}{6}, 0 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}, \frac{W_{\text{tot}}}{a7} - \frac{W_{\text{tot}} \cdot \text{ecc} \cdot 6}{a7^2} \right) \quad \sigma_m = 0.346 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\underline{a_o} := \text{if} \left[\text{ecc} > \frac{a7}{6}, 3 \cdot \left(\frac{a7}{2} - \text{ecc} \right), \frac{\sigma_m \cdot a7}{\sigma_v - \sigma_m} + a7 \right] \quad a_o = 4.246 \text{ m}$$

$$\underline{\sigma_{1t}(x)} := \sigma_v - x \cdot \frac{\sigma_v}{a_o}$$

$$\underline{\sigma_t(x)} := \text{if} \left(\sigma_{1t}(x) < 0 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, 0 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, \sigma_{1t}(x) \right)$$

Sollecitazioni sulla mensola a valle

$$\underline{M_{\text{valle}}} := \int_{0 \cdot \text{cm}}^{a1} \sigma_t(x) \cdot (a1 - x) \, dx = 37.093 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$\underline{T_{\text{valle}}} := \int_{0 \cdot \text{cm}}^{a1} \sigma_t(x) \, dx = 64.254 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Sollecitazioni sulla mensola a monte

$$\underline{M_{\text{monte}}} := \gamma_k \cdot \gamma_{g1} \cdot \text{sfav} \cdot h \cdot \frac{a3^2}{2} - \int_{a1+a8}^{a7} \sigma_t(x) \cdot (x - a1 - a8) \, dx = 1.725 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$\underline{T_{\text{monte}}} := \gamma_k \cdot \gamma_{g1} \cdot \text{sfav} \cdot h \cdot a3 - \int_{a1+a8}^{a7} \sigma_t(x) \, dx = 6.242 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Verifica allo SLU per flessione della ciabatta di fondazione

Caratteristiche della sezione

$$d1 := 5\text{-cm}$$

$$d := 35\text{-cm}$$

$$b := 100\text{-cm}$$

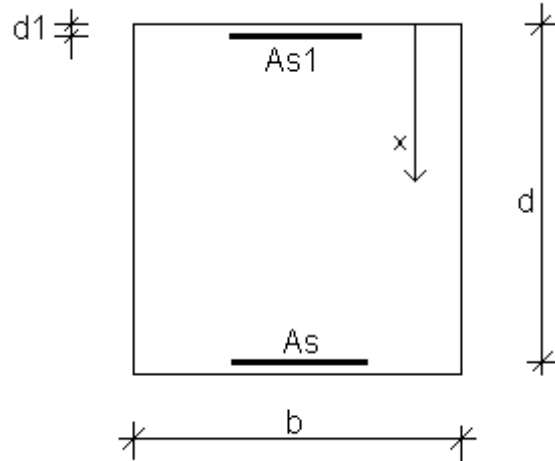
$$h := d + d1 \quad h = 40\text{-cm}$$

diámetro e número ferri superiori

$$Dfsup := 1.6\text{-cm}$$

$$Nfsup := 4$$

$$As1 := \frac{Dfsup^2}{4} \cdot \pi \cdot Nfsup \quad As1 = 8.042 \cdot \text{cm}^2$$



diámetro e número ferri inferiori

$$Dfinf := 1.6\text{-cm}$$

$$Nfinf := 4$$

$$D2finf := 2\text{-cm}$$

$$N2finf := 0$$

$$As := \frac{Dfinf^2}{4} \cdot \pi \cdot Nfinf + \frac{D2finf^2}{4} \cdot \pi \cdot N2finf \quad As = 8.042 \cdot \text{cm}^2$$

Combinazione SLU

momento flettente: $Msd := 37.093\text{-kN}\cdot\text{m}$

$$Msd = 37.093\text{-kN}\cdot\text{m}$$

taglio

$$Vsd := 64.254\text{-kN}$$

$$Vsd = 64.254\text{-kN}$$

Legge costitutiva del calcestruzzo

$$fck := 25 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$fcd := \frac{fck}{1.5} \quad fcd = 16.667 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$fcm := fck + 8 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad fcm = 33 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$fctm := 0.30 \cdot \left(\frac{fck}{\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$fctm = 2.565 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Ecm := 22000 \cdot \left(\frac{fcm}{10 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)^{0.3} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad Ecm = 31475.806 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma c1(\epsilon) := -250000 \cdot 0.85 \cdot fcd \cdot \epsilon^2 + 1000 \cdot 0.85 \cdot fcd \cdot \epsilon$$

$$\sigma c(\epsilon) := \text{if}(\epsilon < 0.002, \sigma c1(\epsilon), 0.85 \cdot fcd)$$

Legge costitutiva dell'acciaio

$$fyk := 450 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Es := 200000 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$fyd := \frac{fyk}{1.15} \quad fyd = 391.304 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma s(\epsilon) := \text{if} \left(|\epsilon| < \frac{fyd}{Es}, Es \cdot \epsilon, fyd \cdot \frac{\epsilon}{|\epsilon|} \right)$$

Deformazioni in campo 2

$$\epsilon c2(x, y) := \frac{0.0675 \cdot (x - y)}{d - x}$$

$$\epsilon s12(x) := \frac{-0.0675 \cdot (x - d1)}{d - x}$$

$$\epsilon_{s2} := 0.0675$$

Deformazioni in campo 3

$$\epsilon_{c3}(x, y) := \frac{0.0035 \cdot (x - y)}{x}$$

$$\epsilon_{s13}(x) := \frac{-0.0035 \cdot (x - d1)}{x}$$

$$\epsilon_{s3}(x) := \frac{0.0035 \cdot (d - x)}{x}$$

Rottura bilanciata

$$x_{bil} := \frac{0.0035}{\epsilon_{s2} + 0.0035} \cdot d \quad x_{bil} = 1.725 \cdot \text{cm}$$

$$R_{\text{max}} := b \cdot \int_{0 \cdot \text{cm}}^{x_{bil}} \sigma_c(\epsilon_{c2}(x_{bil}, y)) \, dy - A_s \cdot f_y d - A_{s1} \cdot \sigma_s(\epsilon_{s12}(x_{bil})) \quad R = -431543.496 \text{ N}$$

Equazioni di equilibrio alla traslazione

$$R_2(x) := b \cdot \int_{0 \cdot \text{cm}}^x \sigma_c(\epsilon_{c2}(x, y)) \, dy - A_s \cdot f_y d - A_{s1} \cdot \sigma_s(\epsilon_{s12}(x))$$

$$R_3(x) := b \cdot \int_{0 \cdot \text{cm}}^x \sigma_c(\epsilon_{c3}(x, y)) \, dy - A_s \cdot \sigma_s(\epsilon_{s3}(x)) - A_{s1} \cdot \sigma_s(\epsilon_{s13}(x))$$

Calcolo ordinata asse neutro

$$x := x_{bil}$$

$$X_2 := \text{root}(R_2(x), x) \quad X_2 = 4.292 \cdot \text{cm}$$

$$X_3 := \text{root}(R_3(x), x) \quad X_3 = 3.989 \cdot \text{cm}$$

$$X := \text{if}(R > 0 \cdot \text{N}, X_2, X_3) \quad X = 3.989 \cdot \text{cm}$$

Calcolo del momento resistente (per comodità rispetto al estradosso superiore; >0 se tende le fibre inferiori)

$$M_2 := -b \cdot \int_{0 \cdot \text{cm}}^X \sigma_c(\epsilon_{c2}(X, y)) \cdot y \, dy + A_s \cdot f_y d \cdot d + A_{s1} \cdot \sigma_s(\epsilon_{s12}(X)) \cdot d1 \quad M_2 = 116243.746 \text{ J}$$

$$M_3 := -b \cdot \int_{0 \cdot \text{cm}}^X \sigma_c(\epsilon_{c3}(X, y)) \cdot y \, dy + A_s \cdot \sigma_s(\epsilon_{s3}(X)) \cdot d + A_{s1} \cdot \sigma_s(\epsilon_{s13}(X)) \cdot d1 \quad M_3 = 109693.867 \text{ J}$$

$$M_{rd} := \text{if}(R > 0 \cdot \text{N}, M_2, M_3) \quad M_{rd} = 109.694 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad > \quad M_{sd} = 37.093 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{NOTA BENE: deve risultare} \quad \frac{X}{d} = 0.114 < 0.45$$

Verifica allo SLU per flessione della sezione di base del muro

Caratteristiche della sezione

$$d1 := 5\text{-cm}$$

$$d := 25\text{-cm}$$

$$b := 100\text{-cm}$$

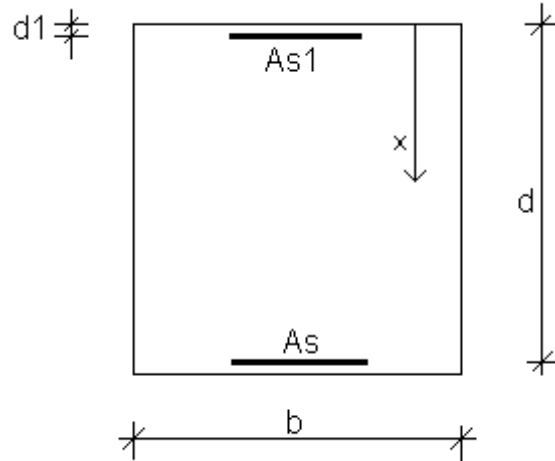
$$h := d + d1 \quad h = 30\text{-cm}$$

diámetro e número ferri superiori

$$Dfsup := 1.6\text{-cm}$$

$$Nfsup := 4$$

$$As1 := \frac{Dfsup^2}{4} \cdot \pi \cdot Nfsup \quad As1 = 8.042\text{-cm}^2$$



diámetro e número ferri inferiori

$$Dfinf := 1.6\text{-cm}$$

$$Nfinf := 4$$

$$D2finf := 2\text{-cm}$$

$$N2finf := 0$$

$$As := \frac{Dfinf^2}{4} \cdot \pi \cdot Nfinf + \frac{D2finf^2}{4} \cdot \pi \cdot N2finf \quad As = 8.042\text{-cm}^2$$

Combinazione SLU

momento flettente: $Msd := 39.776\text{-kN}\cdot\text{m}$

$$Msd = 39.776\text{-kN}\cdot\text{m}$$

taglio

$$Vsd := 47.65\text{-kN}$$

$$Vsd = 47.65\text{-kN}$$

Legge costitutiva del calcestruzzo

$$fck := 25 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$fcd := \frac{fck}{1.5} \quad fcd = 16.667 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$fcm := fck + 8 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad fcm = 33 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$fctm := 0.30 \cdot \left(\frac{fck}{\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$fctm = 2.565 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Ecm := 22000 \cdot \left(\frac{fcm}{10 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)^{0.3} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad Ecm = 31475.806 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma c1(\epsilon) := -250000 \cdot 0.85 \cdot fcd \cdot \epsilon^2 + 1000 \cdot 0.85 \cdot fcd \cdot \epsilon$$

$$\sigma c(\epsilon) := \text{if}(\epsilon < 0.002, \sigma c1(\epsilon), 0.85 \cdot fcd)$$

Legge costitutiva dell'acciaio

$$fyk := 450 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Es := 200000 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$fyd := \frac{fyk}{1.15} \quad fyd = 391.304 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma s(\epsilon) := \text{if} \left(|\epsilon| < \frac{fyd}{Es}, Es \cdot \epsilon, fyd \cdot \frac{\epsilon}{|\epsilon|} \right)$$

Deformazioni in campo 2

$$\epsilon c2(x, y) := \frac{0.0675 \cdot (x - y)}{d - x}$$

$$\epsilon s12(x) := \frac{-0.0675 \cdot (x - d1)}{d - x}$$

$$\epsilon s2 := 0.0675$$

Deformazioni in campo 3

$$\epsilon c3(x, y) := \frac{0.0035 \cdot (x - y)}{x}$$

$$\epsilon s13(x) := \frac{-0.0035 \cdot (x - d1)}{x}$$

$$\epsilon s3(x) := \frac{0.0035 \cdot (d - x)}{x}$$

Rottura bilanciata

$$x_{bil} := \frac{0.0035}{\epsilon s2 + 0.0035} \cdot d \quad x_{bil} = 1.232 \cdot \text{cm}$$

$$R_{\text{max}} := b \cdot \int_{0 \cdot \text{cm}}^{x_{bil}} \sigma c(\epsilon c2(x_{bil}, y)) dy - A_s \cdot f_{yd} - A_{s1} \cdot \sigma s(\epsilon s12(x_{bil})) \quad R = -488077.143 \text{ N}$$

Equazioni di equilibrio alla traslazione

$$R2(x) := b \cdot \int_{0 \cdot \text{cm}}^x \sigma c(\epsilon c2(x, y)) dy - A_s \cdot f_{yd} - A_{s1} \cdot \sigma s(\epsilon s12(x))$$

$$R3(x) := b \cdot \int_{0 \cdot \text{cm}}^x \sigma c(\epsilon c3(x, y)) dy - A_s \cdot \sigma s(\epsilon s3(x)) - A_{s1} \cdot \sigma s(\epsilon s13(x))$$

Calcolo ordinata asse neutro

$$x := x_{bil}$$

$$X2 := \text{root}(R2(x), x) \quad X2 = 4.456 \cdot \text{cm}$$

$$X3 := \text{root}(R3(x), x) \quad X3 = 3.989 \cdot \text{cm}$$

$$X := \text{if}(R > 0 \cdot \text{N}, X2, X3) \quad X = 3.989 \cdot \text{cm}$$

Calcolo del momento resistente (per comodità rispetto al estradosso superiore; >0 se tende le fibre inferiori)

$$M2 := -b \cdot \int_{0 \cdot \text{cm}}^X \sigma c(\epsilon c2(X, y)) \cdot y dy + A_s \cdot f_{yd} \cdot d + A_{s1} \cdot \sigma s(\epsilon s12(X)) \cdot d1 \quad M2 = 84269.007 \text{ J}$$

$$M3 := -b \cdot \int_{0 \cdot \text{cm}}^X \sigma c(\epsilon c3(X, y)) \cdot y dy + A_s \cdot \sigma s(\epsilon s3(X)) \cdot d + A_{s1} \cdot \sigma s(\epsilon s13(X)) \cdot d1 \quad M3 = 78223.304 \text{ J}$$

$$M_{rd} := \text{if}(R > 0 \cdot \text{N}, M2, M3) \quad M_{rd} = 78.223 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad > \quad M_{sd} = 39.776 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{NOTA BENE: deve risultare} \quad \frac{X}{d} = 0.16 < 0.45$$

