



MINISTERO DELL'INTERNO
DIPARTIMENTO AFFARI INTERNI



COMUNE DI LAURO
PROVINCIA DI AVELLINO

**CONSOLIDAMENTO DELLE SCARPATE DEL SERBATOIO DI
CARICO DELL'ACQUEDOTTO SITUATO IN LOCALITA'
SANT'ANGELO**

ESECUTIVO

| | | | |
|-----------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| RELAZIONE DI CALCOLO | TAVOLA | DATA: | SCALA: |
| | STR1 | FEBBRAIO 2022 | |

IL PROGETTISTA *Arch. Diego Maria Troncone*

| | | | | | |
|-----|------|-------------|---------|-------------|-----------|
| 2 | | | | | |
| 1 | | | | | |
| REV | DATA | DESCRIZIONE | REDATTO | CONTROLLATO | APPROVATO |

| | |
|--|---------------|
| IL COMMITTENTE COMUNE DI LAURO (AV) | VISTO: |
|--|---------------|

RELAZIONE DI CALCOLO

Normative di riferimento:

NTC 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» - D.M. 17 gennaio 2018

NTC 2008 - Norme tecniche per le costruzioni - D.M. 14 Gennaio 2008.

CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27).

Calcolo della spinta attiva con Coulomb

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di Coulomb è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta S_t è applicata ad $1/3 H$ di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)} \right]^2}$$

Valori limite di K_a :

$d < (b - \phi - e)$ secondo Muller-Breslau

γ_t = Peso unità di volume del terreno;

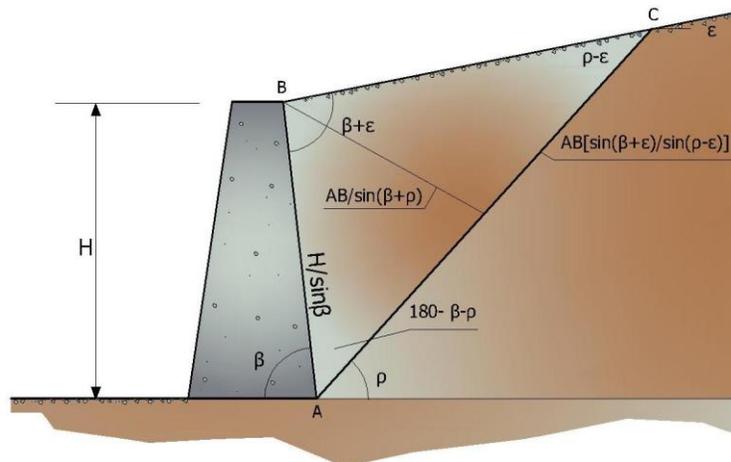
b = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

φ = Angolo di resistenza al taglio del terreno;

δ = Angolo di attrito terra-muro;

e = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

H = Altezza della parete.



Cuneo di rottura usato per la derivazione dell'equazione di Coulomb relativa alla pressione attiva.

Calcolo della spinta attiva con Rankine

Se $e = d = 0$ e $b = 90^\circ$ (muro con parete verticale liscia e terrapieno con superficie orizzontale) la spinta S_t si semplifica nella forma:

$$S_t = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \frac{(1 - \sin\varphi)}{(1 + \sin\varphi)} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

che coincide con l'equazione di Rankine per il calcolo della spinta attiva del terreno con terrapieno orizzontale.

In effetti Rankine adottò essenzialmente le stesse ipotesi fatte da Coulomb, ad eccezione del fatto che trascurò l'attrito terra-muro e la presenza di coesione. Nella sua formulazione generale l'espressione di K_a di Rankine si presenta come segue:

$$K_a = \cos\varepsilon \frac{\cos\varepsilon - \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\varphi}}{\cos\varepsilon + \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\varphi}}$$

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di Mononobe & Okabe riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo ε , di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo β , di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità ϑ tale che:

$$\tan\vartheta = \left(\frac{k_h}{1 \pm k_h} \right)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Calcolo coefficienti sismici

Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni (NTC 2018):

$$k_h = \beta_m \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right); \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove

β_m = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è pari a:

$\beta_m = 0.38$ nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$ nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

Per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β_m assume valore unitario. I valori del coefficiente β_m possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il diagramma di Figura 7.11.3 di cui al successivo § 7.11.6.3.2.

Nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di specifici studi, si deve assumere che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

Lo stato limite di ribaltamento deve essere trattato impiegando coefficienti parziali unitari sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e utilizzando valori di β_m incrementati del 50% rispetto a quelli innanzi indicati e comunque non superiori all'unità.

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti k_h e k_v in dipendenza di vari fattori:

$$k_h = \beta_m \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right); k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

β_m coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito; per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno il coefficiente β_m assume valore unitario. Per i muri liberi di traslare o ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuto al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di studi specifici, si assume che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

a_{\max} = Accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = Accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

S = coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica S_S e di amplificazione topografica S_T .

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - PVR)}$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Per l'applicazione dell'Eurocodice 8 (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$k_h = \frac{a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S}{g}$$

a_{gR} = Accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante;

γ_I = Fattore di importanza;

S= Soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E);

$a_g = a_{gRVI}$ è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale k_v è definito in funzione di k_h , e vale:

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Effetto dovuto alla coesione

La coesione induce delle pressioni negative costanti pari a:

$$P_c = -2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

Non essendo possibile stabilire a priori quale sia il decremento indotto nella spinta per effetto della coesione, è stata calcolata un'altezza critica Z_c come segue:

$$Z_c = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \cdot \frac{1}{\sqrt{K_a}} - \frac{Q \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \epsilon)}}{\gamma}$$

dove

Q = Carico agente sul terrapieno.

Se $Z_c < 0$ è possibile sovrapporre direttamente gli effetti, con decremento pari a:

$$S_c = P_c \cdot H$$

con punto di applicazione pari a $H/2$.

Carico uniforme sul terrapieno

Un carico Q, uniformemente distribuito sul piano campagna induce delle pressioni costanti pari a:

$$P_q = K_a \cdot Q \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \epsilon)}$$

Per integrazione, una spinta pari a S_q :

$$S_q = K_a \cdot Q \cdot H \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \epsilon)}$$

Con punto di applicazione ad $H/2$, avendo indicato con K_a il coefficiente di spinta attiva secondo Muller-Breslau.

Spinta attiva in condizioni sismiche

In presenza di sisma la forza di calcolo esercitata dal terrapieno sul muro è data da:

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma \cdot (1 \pm k_v) \cdot KH^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

Dove:

H= Altezza muro;

k_v = Coefficiente sismico verticale;

g = Peso per unità di volume del terreno;

K = Coefficienti di spinta attiva totale (statico + dinamico);

E_{ws} = Spinta idrostatica dell'acqua;

E_{wd} = Spinta idrodinamica.

Per terreni impermeabili la spinta idrodinamica $E_{wd} = 0$, ma viene effettuata una correzione sulla valutazione dell'angolo ϑ della formula di Mononobe & Okabe così come di seguito:

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Nei terreni ad elevata permeabilità in condizioni dinamiche continua a valere la correzione di cui sopra, ma la spinta idrodinamica assume la seguente espressione:

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2$$

Con H' altezza del livello di falda misurato a partire dalla base del muro.

Spinta idrostatica

La falda con superficie distante H_w dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo g_t con g'_t ($g'_t = g_{\text{saturo}} - g_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Resistenza passiva

Per terreno omogeneo il diagramma delle pressioni risulta lineare del tipo:

$$P_t = K_p \cdot \gamma_t \cdot z$$

per integrazione si ottiene la spinta passiva:

$$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_p$$

Avendo indicato con:

$$K_p = \frac{\sin^2(\varphi + \beta)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta - \delta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi + \varepsilon)}{\sin(\beta - \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

(Muller-Breslau) con valori limiti di d pari a:

$$\delta < \beta - \varphi - \varepsilon$$

L'espressione di K_p secondo la formulazione di Rankine assume la seguente forma:

$$K_p = \frac{\cos \varepsilon + \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \varphi}}{\cos \varepsilon - \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \varphi}}$$

Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

VESIC - Analisi a breve termine

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q$$

Dove:

$A' = B'L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u = Coesione non drenata;

q = Pressione litostatica totale sul piano di posa;

s_c = Fattore di forma;

$s_c = 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right)$ per fondazioni rettangolari, il valore di s_c viene assunto pari ad 1 per fondazioni nastroforni

d_c = Fattore di profondità;

$d_c = 0.4 \cdot K$ con $K = \frac{D}{B}$ se $\frac{D}{B} \leq 1$ altrimenti $K = \arctan \frac{D}{B}$

i_c = Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H ;

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

A_f = Area efficace della fondazione;

c_a = Aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

VESIC - Analisi a lungo termine

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \leq c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan \varphi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \varphi'}$$

$$m = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}}$$

Fattori di profondità

$$d_c = 1 + 0.4K$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi' \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot K$$

$$\text{con } K = \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} \leq 1 \text{ altrimenti } K = \arctan \frac{D}{B}$$

$$d_\gamma = 1$$

HANSEN - Analisi a breve termine

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u (1 + s_c + d_c - i_c) + q$$

Dove:

A' = B' L' area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u = Coesione non drenata;

q = Pressione litostatica totale sul piano di posa;

s_c = Fattore di forma, s_c = 0 per fondazioni nastroformi;

d_c = Fattore di profondità;

$$d_c = 0.4 \cdot K \text{ con } K = \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} \leq 1 \text{ altrimenti } K = \arctan \frac{D}{B}$$

i_c = Fattore correttivo di inclinazione del carico;

$$i_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_a}}$$

A_f = Area efficace della fondazione;

c_a = Aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

HANSEN- Analisi a lungo termine

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \leq c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi'$$

$$N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \varphi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan \varphi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

$$s_c = s_q = s_\gamma = 1 \quad \text{per fondazione nastroforme}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'} \right)^5$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'} \right)^5$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

Fattori di profondità

$$d_c = 1 + 0.4K$$

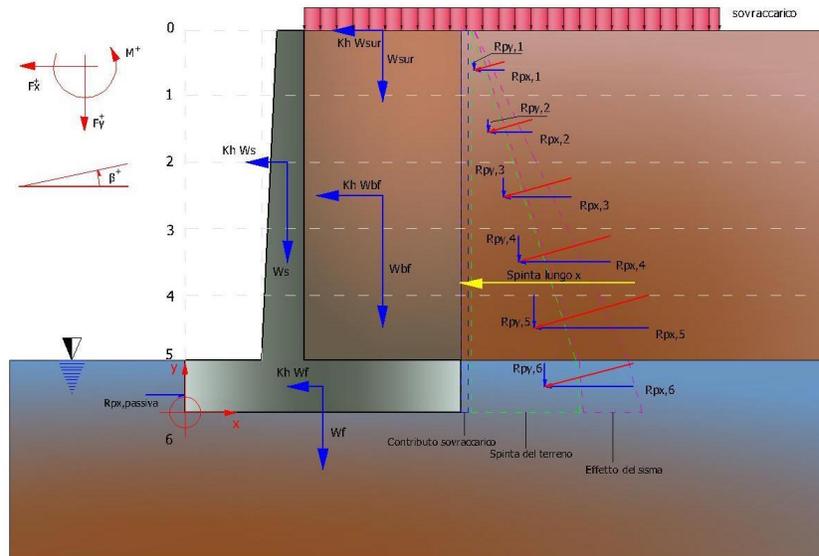
$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi) \cdot K$$

$$\text{con } K = \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} \leq 1 \text{ altrimenti } K = \arctan \frac{D}{B}$$

$$d_\gamma = 1$$

Sollecitazioni muro

Per il calcolo delle sollecitazioni il muro è stato discretizzato in n-tratti in funzione delle sezioni significative e per ogni tratto sono state calcolate le spinte del terreno (valutate secondo un piano di rottura passante per il paramento lato monte), le risultanti delle forze orizzontali e verticali e le forze inerziali.



Schema delle forze agenti su un muro e convenzioni sui segni

Calcolo delle spinte per le verifiche globali

Le spinte sono state valutate ipotizzando un piano di rottura passante per l'estradosso della mensola di fondazione lato monte, tale piano è stato discretizzato in n-tratti.

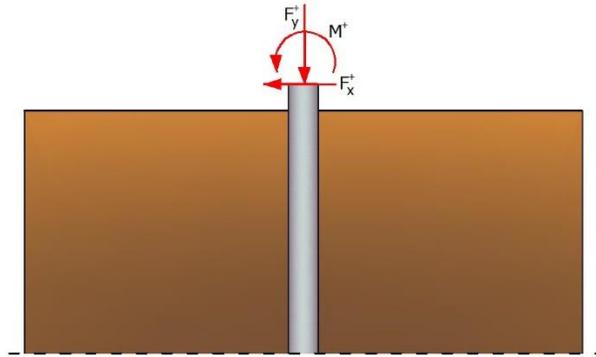
Convenzione segni

- Forze verticali positive se dirette dall'alto verso il basso;
- Forze orizzontali positive se dirette da monte verso valle;
- Coppie positive se antiorarie;
- Angoli positivi se antiorari.

CALCOLO DEI PALI DI FONDAZIONE

Convenzioni sui segni

- a) La forza verticale F_y , positiva se diretta verso il basso.
- b) La forza orizzontale F_x positiva da sinistra verso destra.
- c) La coppia M è positiva se produce spostamenti concordi con quelli della forza orizzontale F_x .



Convenzione sui segni

Analisi del palo in condizioni di esercizio: Modello di Winkler

Il modello di Winkler consente di tenere conto in modo semplice della variabilità delle proprietà meccaniche del terreno e delle stratificazioni.

In presenza di mezzo omogeneo (K costante) è stata adottata la classifica di Hetényi che distingue tre possibili comportamenti del palo su mezzo alla Winkler, in funzione del valore che assume la rigidezza relativa (I) terreno palo ossia: palo di tipo corto o rigido, palo relativamente flessibile, palo infinitamente flessibile.

Carico limite verticale

Il carico limite verticale è stato calcolato con le formule statiche, che esprimono il medesimo in funzione della geometria del palo e delle caratteristiche del terreno e dell'interfaccia palo-terreno.

Ai fini del calcolo, il carico limite Q_{lim} viene convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta Q_p e la resistenza laterale Q_s .

Resistenza unitaria alla punta

La resistenza unitaria q_p alla punta, per il caso di terreno dotato di attrito (j) e di coesione (c), è data dall'espressione:

$$q_p = c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q$$

Avendo indicato con:

g Peso unità di volume del terreno;

D Lunghezza del palo;

N_c e N_q Fattori di capacità portante già comprensivi dell'effetto forma (circolare).

Il fattore N_q è stato calcolato secondo la teoria di Berezantzev.

Resistenza del fusto

Il contributo alla resistenza di fusto viene calcolato utilizzando una combinazione di sforzi totali ed efficaci. Sono previsti tre procedimenti di calcolo di uso corrente. Due dei quali di validità generale per la resistenza laterale di pali collocati in terreni coesivi. Questi metodi prendono il nome di a, b e l dai coefficienti moltiplicativi usati nel termine della capacità portante laterale

Metodo utilizzato per il calcolo della capacità portante laterale metodo a, proposto da Tomlinson (1971); la resistenza laterale viene calcolata nel seguente modo:

$$f_s = \alpha \cdot c + q \cdot K \cdot \tan \delta$$

c Valore medio della coesione o della resistenza a taglio in condizioni non drenate;

q Pressione verticale del terreno;

K Coefficiente di spinta orizzontale dipendente dalla tecnologia del palo e dal precedente stato di addensamento calcolato come segue:

Per pali infissi

$$K = 1 + \tan^2 \varphi$$

Per pali trivellati

$$K = 1 - \tan^2 \varphi$$

d attrito palo-terreno, funzione della scabrezza della superficie del palo.

Per pali infissi

$$\delta = \frac{3}{4} \cdot \tan \varphi$$

Per pali trivellati

$$\delta = \tan \varphi$$

a è un coefficiente ricavato come di seguito riportato:

Coefficiente a per palo infisso

| | |
|------------------|---------------|
| $c < 0.25$ | $a = 1.00$ |
| $0.25 < c < 0.5$ | $a = 0.85$ |
| $0.5 < c < 0.75$ | $a = 0.65$ |
| $0.75 < c < 2.4$ | $a = 0.50$ |
| $c > 2.4$ | $a = 1.2 / c$ |

Coefficiente a per palo trivellato

| | |
|------------------|---------------|
| $c < 0.25$ | $a = 0.9$ |
| $0.25 < c < 0.5$ | $a = 0.8$ |
| $0.5 < c < 0.75$ | $a = 0.6$ |
| $0.75 < c < 2$ | $a = 0.4$ |
| $c > 2$ | $a = 0.8 / c$ |

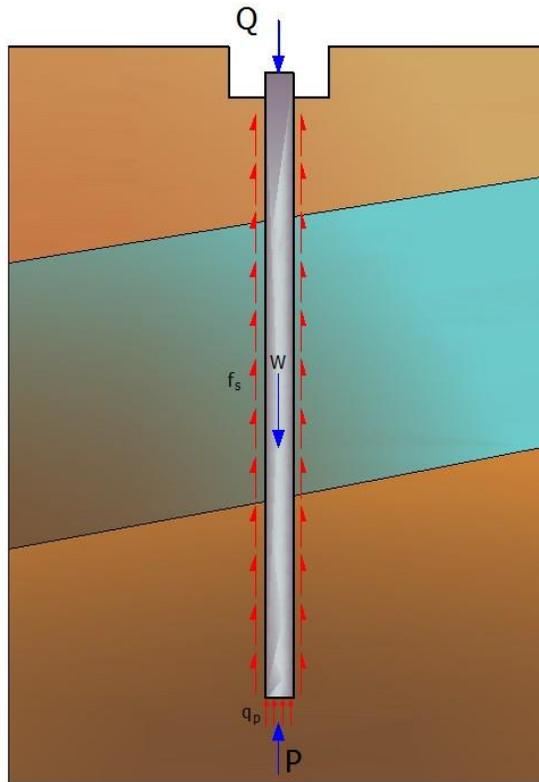
Inoltre:

Secondo le indicazioni di Okamoto in presenza di effetti sismici la resistenza laterale viene ridotta in funzione del coefficiente sismico k_h come segue:

$$C_{\text{reduct_coff}} = 1 - k_h$$

Infine

- Per i pali trivellati sia le caratteristiche di resistenza (c, j) sia il coefficiente del modulo orizzontale del terreno sono stati ridotti del 10%.
- In caso azioni di trazione il carico alla punta è nullo mentre quello laterale è stato ridotto al 70%.
- Nel coefficiente di sicurezza verticale si è tenuto in debito conto anche del peso palo.



Schema delle aliquote di resistenza del carico limite

Cedimenti

Il cedimento verticale è stato calcolato con il metodo Davis-Poulos, secondo il quale il palo viene considerato rigido (indeformabile) immerso in un mezzo elastico, semispazio o strato di spessore finito.

Si ipotizza che l'interazione palo terreno sia costante a tratti lungo n superfici cilindriche in cui viene suddivisa la superficie laterale del palo. Il cedimento della generica superficie i per effetto del carico trasmesso dal palo al terreno lungo la superficie j esima può essere espresso:

$$W_{i,j} = \left(\frac{\tau_j}{E} \right) \cdot B \cdot I_{i,j}$$

Avendo indicato con:

- t_j Incremento di tensione relativo al punto medio della striscia;
- E Modulo elastico del terreno;
- B Diametro del palo;
- $I_{i,j}$ Coefficiente di influenza.

Il cedimento complessivo si ottiene sommando $W_{i,j}$ per tutte le j aree.

Dati generali

| | |
|--------------------|------------------------------|
| Zona | Lauro (AV) |
| Lat./Long. [WGS84] | 40.8805917/14.6316269 |
| Normativa GEO | NTC 2018 |
| Normativa STR | NTC 2018 |
| Spinta | Mononobe & Okabe [M.O. 1929] |

Dati generali muro 1

| | |
|-----------------------------------|----------|
| Altezza muro | 200,0 cm |
| Spessore testa muro | 30,0 cm |
| Risega muro lato valle | 0,0 cm |
| Risega muro lato monte | 0,0 cm |
| Sporgenza mensola a valle | 1,0 cm |
| Sporgenza mensola a monte | 120,0 cm |
| Svaso mensola a valle | 0,0 cm |
| Altezza estremità mensola a valle | 40,0 cm |
| Altezza estremità mensola a monte | 40,0 cm |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Pali | |
| Sezione dei pali | 50,0 cm |
| Lunghezza dei pali | 700,0 cm |
| Distanza asse da estremità mensola | 100,0 cm |
| Interasse longitudinale | 150,0 cm |
| Disposizione in pianta | Allineati |

| | |
|---|------|
| Verticali indagate | |
| Numero verticali indagate | 5,0 |
| Fattore correlazione verticali indagate (xi3) | 1,5 |
| Fattore correlazione verticali indagate (xi4) | 1,34 |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

Conglomerati

| Nr. | Classe Calcestruzzo | fck,cubi [Mpa] | Ec [Mpa] | fck [Mpa] | fcd [Mpa] | fctd [Mpa] | fctm [Mpa] |
|-----|---------------------|----------------|----------|-----------|-----------|------------|------------|
| 1 | C20/25 | 25 | 29960 | 20 | 11.33 | 1.03 | 2.21 |
| 2 | C25/30 | 30 | 31470 | 25 | 14.16 | 1.19 | 2.56 |
| 3 | C28/35 | 35 | 32300 | 28 | 15.86 | 1.28 | 2.76 |
| 4 | C40/50 | 50 | 35220 | 40 | 19.83 | 1.49 | 3.2 |

Acciai:

| Nr. | Classe acciaio | Es [Mpa] | fyk [Mpa] | fyd [Mpa] | ftk [Mpa] | ftd [Mpa] | ep_tk | epd_ult | $\beta_1*\beta_2$ iniziale | $\beta_1*\beta_2$ finale |
|-----|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|---------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | B450C | 200000 | 450 | 391.3 | 540 | 391.3 | 0.075 | 0.0675 | 1 | 0.5 |
| 2 | B450C* | 200000 | 450 | 391.3 | 540 | 450 | 0.075 | 0.0675 | 1 | 0.5 |
| 3 | B450C** | 200000 | 450 | 391.3 | 458.3 | 398.5 | 0.012 | 0.01 | 1 | 0.5 |
| 4 | S235H | 200000 | 240 | 210 | 360 | 210 | 0.012 | 0.01 | 1 | 0.5 |
| 5 | S275H | 200000 | 280 | 243 | 460 | 244 | 0.012 | 0.01 | 1 | 0.5 |

| | | | | | | | | | | |
|---|-------|--------|-----|-----|-----|-----|-------|------|---|-----|
| 6 | S355H | 200000 | 360 | 312 | 510 | 360 | 0.012 | 0.01 | 1 | 0.5 |
|---|-------|--------|-----|-----|-----|-----|-------|------|---|-----|

Materiali impiegati realizzazione muro
Materiali impiegati realizzazione pali

C25/30 B450C
C25/30 B450C

Copriferro, Elevazione 3,0 cm
Copriferro, Fondazione 3,0 cm
Copriferro, Dente di fondazione 3,0 cm

Stratigrafia

| Ns | Spessore strato (cm) | Inclinazione dello strato. (°) | Peso unità di volume (KN/m ³) | Angolo di resistenza a taglio (°) | Coesione (kPa) | Angolo di attrito terra muro (°) | Presenza di falda (Si/No) | Litologia | Descrizione | |
|----|----------------------|--------------------------------|---|-----------------------------------|----------------|----------------------------------|---------------------------|-----------|-------------------------------------|--|
| 1 | 240 | 0 | 14.53 | 27 | 4.90 | 18 | No | | Terreno vegetale | |
| 2 | 620 | 0 | 18.80 | 33 | 0.00 | 22 | No | | Ghiaia con sabbia o ghiaia sabbiosa | |
| 3 | 80 | 0 | 22.70 | 49 | 0.00 | 32 | No | | Substrato roccioso | |

Dati generali muro 2

| | |
|---|-----------|
| Altezza muro | 200,0 cm |
| Spessore testa muro | 30,0 cm |
| Risega muro lato valle | 0,0 cm |
| Risega muro lato monte | 0,0 cm |
| Sporgenza mensola a valle | 1,0 cm |
| Sporgenza mensola a monte | 120,0 cm |
| Svaso mensola a valle | 0,0 cm |
| Altezza estremità mensola a valle | 40,0 cm |
| Altezza estremità mensola a monte | 40,0 cm |
| Pali | |
| Sezione dei pali | 50,0 cm |
| Lunghezza dei pali | 320,0 cm |
| Distanza asse da estremità mensola | 100,0 cm |
| Interasse longitudinale | 150,0 cm |
| Disposizione in pianta | Allineati |
| Verticali indagate | |
| Numero verticali indagate | 3,0 |
| Fattore correlazione verticali indagate (xi3) | 1,6 |
| Fattore correlazione verticali indagate (xi4) | 1,48 |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

Conglomerati

| Nr. | Classe Calcestruzzo | fck,cubi [Mpa] | Ec [Mpa] | fck [Mpa] | fcd [Mpa] | fctd [Mpa] | fctm [Mpa] |
|-----|---------------------|----------------|----------|-----------|-----------|------------|------------|
| 1 | C20/25 | 25 | 29960 | 20 | 11.33 | 1.03 | 2.21 |
| 2 | C25/30 | 30 | 31470 | 25 | 14.16 | 1.19 | 2.56 |
| 3 | C28/35 | 35 | 32300 | 28 | 15.86 | 1.28 | 2.76 |
| 4 | C40/50 | 50 | 35220 | 40 | 19.83 | 1.49 | 3.2 |

Acciai:

| Nr. | Classe acciaio | Es [Mpa] | fyk [Mpa] | fyd [Mpa] | ftk [Mpa] | ftd [Mpa] | ep_tk | epd_ult | $\beta 1 * \beta 2$ iniziale | $\beta 1 * \beta 2$ finale |
|-----|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|---------|------------------------------|----------------------------|
| 1 | B450C | 200000 | 450 | 391.3 | 540 | 391.3 | 0.075 | 0.0675 | 1 | 0.5 |
| 2 | B450C* | 200000 | 450 | 391.3 | 540 | 450 | 0.075 | 0.0675 | 1 | 0.5 |
| 3 | B450C** | 200000 | 450 | 391.3 | 458.3 | 398.5 | 0.012 | 0.01 | 1 | 0.5 |
| 4 | S235H | 200000 | 240 | 210 | 360 | 210 | 0.012 | 0.01 | 1 | 0.5 |
| 5 | S275H | 200000 | 280 | 243 | 460 | 244 | 0.012 | 0.01 | 1 | 0.5 |
| 6 | S355H | 200000 | 360 | 312 | 510 | 360 | 0.012 | 0.01 | 1 | 0.5 |

Materiali impiegati realizzazione muro
 Materiali impiegati realizzazione pali

C25/30 B450C
 C25/30 B450C

Copriferro, Elevazione 3,0 cm
 Copriferro, Fondazione 3,0 cm
 Copriferro, Dente di fondazione 3,0 cm

Stratigrafia

| Ns | Spessore strato (cm) | Inclinazione dello strato. (°) | Peso unità di volume (KN/m ³) | Angolo di resistenza a taglio (°) | Coesione (kPa) | Angolo di attrito terra muro (°) | Presenza di falda (Si/No) | Litologia | Descrizione | |
|----|----------------------|--------------------------------|---|-----------------------------------|----------------|----------------------------------|---------------------------|-----------|-------------------------------------|---|
| 1 | 240 | 0 | 14.53 | 27 | 4.90 | 18 | No | | Terreno vegetale |  |
| 2 | 240 | 0 | 18.80 | 33 | 0.00 | 22 | No | | Ghiaia con sabbia o ghiaia sabbiosa |  |
| 3 | 80 | 0 | 22.70 | 49 | 0.00 | 32 | No | | Substrato roccioso |  |