



Provincia di Benevento

Settore Tecnico

SERVIZIO VIABILITÀ 2 E CONNESSE INFRASTRUTTURE

FASE:

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

D. Lgs. 50/2016 art. 23 comma 7 e 8 - D.P.R. 207/2010 artt. 24 e 33

OGGETTO:

S.P. n. 43 "EX SS. 374 - DI SUMMONTE E DI MONTEVERGINE"
Cedimento sede stradale e distacco muri nel Comune di Pannarano (BN)

CODICE ELABORATO:

G.02.c

SCALA : -

DATA : agosto 2020

NOME ELABORATO:

**Calcoli delle strutture: Rifacimento muri di sostegno in c.a. -
Relazione geotecnica di calcolo e verifica carico limite**

Progettazione

ing. Antonio FALLUTO



R.U.P. - Resp.le U.O.

Comparto 1

arch. Alessandrina PAPA

Dirigente Settore Tecnico
ing. Angelo Carmine GIORDANO

Resp.le

**Viabilità 2 e connesse
infrastrutture**

ing. Michelantonio PANARESE



CONZIONARIO INCARICATO
PORRECA Consuelo -

RELAZIONE GEOTECNICA DI CALCOLO**Normative di riferimento:**

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

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 :

$\delta < (\beta - \varphi - \varepsilon)$ secondo Muller-Breslau

γ_t = Peso unità di volume del terreno;

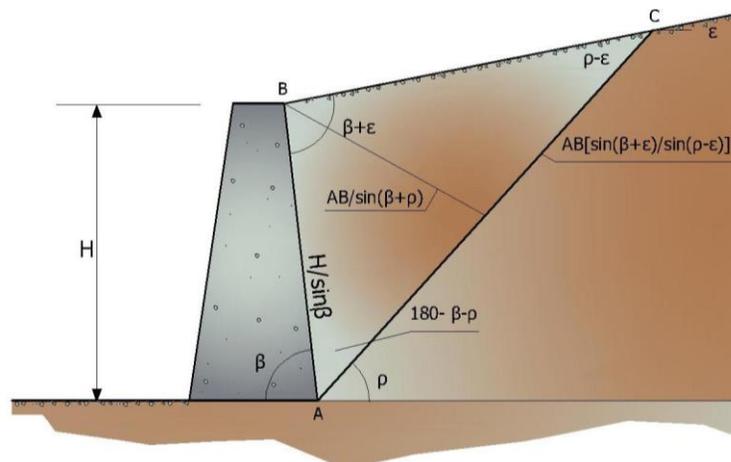
β = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

φ = Angolo di resistenza al taglio del terreno;

δ = Angolo di attrito terra-muro;

ε = 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 $\varepsilon = \delta = 0$ e $\beta = 90^\circ$ (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);

$a_g = a_{gR} \gamma_I$ 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:

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

Per integrazione, una spinta pari a S_q :

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

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;

γ = 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 γ_t con γ'_t ($\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$), 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:

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

(Muller-Breslau) con valori limiti di δ 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:

$A' = B' \cdot L'$ 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;

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

d_c = Fattore di profondità;

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

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:

$A' = B' \cdot L'$ 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

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

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

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

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

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

$$d_c = 1 + 0.4K$$

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

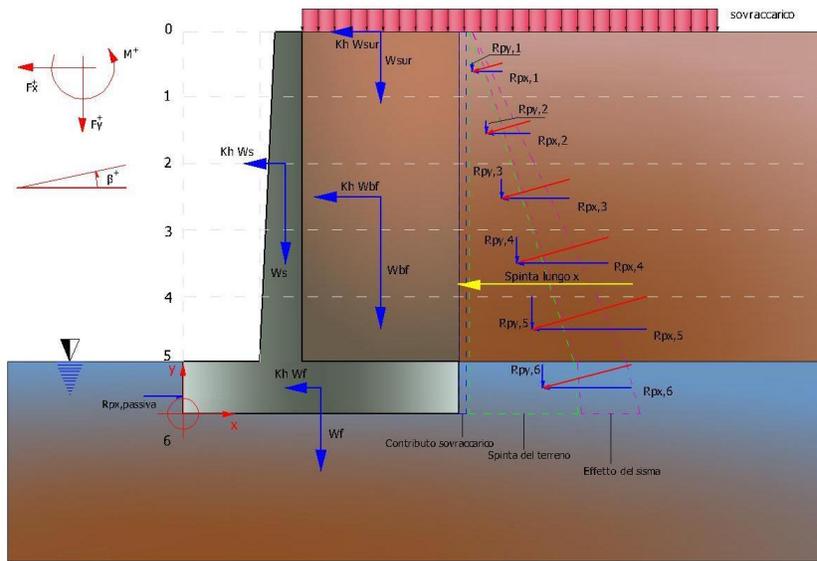
$$\text{con } K = \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} \leq 1 \text{ altrimenti } K = \arctan \frac{D}{B}$$

$$d_\gamma = 1$$

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.

Dati generali

Descrizione	S.P. n. 43 "EX SS. 374 – DI SUMMONTE E DI MONTEVERGINE". Cedimento sede stradale e distacco muri di contenimento nel Comune di Pannarano (BN)	
Comune di	Pannarano (BN)	
Tecnico	ing. Antonio Falluto	
Data	01/07/2019	
Condizioni ambientali	Ordinarie	
Zona	Pannarano (BN)	
Lat./Long. [WGS84]	41.010163/14.7	
Normativa GEO		
Normativa STR		
Spinta	Mononobe e Okabe [M.O. 1929]	

Dati generali muro

Altezza muro	150.0 cm
Spessore testa muro	25.0 cm

Risega muro lato valle	15.0 cm
Risega muro lato monte	0.0 cm
Sporgenza mensola a valle	45.0 cm
Sporgenza mensola a monte	35.0 cm
Svaso mensola a valle	0.0 cm
Altezza estremità mensola a valle	35.0 cm
Altezza estremità mensola a monte	35.0 cm

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

Conglomerati

Nr.	Classe Calcestruzzo	fck,cubi [Mpa]	Ec [Mpa]	fck [Mpa]	fed [Mpa]	fctd [Mpa]	fctm [Mpa]
2	C25/30	30	31470	25	14.16	1.19	2.56

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	.075	.0675	1	0.5

Materiali impiegati realizzazione muro

C25/30 B450C

Copriferro, Elevazione	3.0 cm
Copriferro, Fondazione	4.0 cm
Copriferro, Dente di fondazione	4.0 cm

Stratigrafia

Ns	Spessore strato (cm)	Inclinazion e dello strato. (°)	Peso unità di volume (KN/m³)	Angolo di resistenza a taglio (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito terra muro (°)	Presenza di falda (Si/No)	Litologia	Descrizion e
1	970	0	18.20	20	5.10	21	No		Sabbia limosa
2	14215	0	19.25	22	5.60	10	No		Argilla limosa

FATTORI DI COMBINAZIONE

A1+M1+R3

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.30
3	Peso terreno mensola	1.30
4	Spinta falda	1.00
5	Spinta sismica in x	1.00
6	Spinta sismica in y	1.00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1.4
2	Scorrimento	1.1
3	Partecipazione spinta passiva	1.4
	Ribaltamento	1.15

A_Unitari+M1+RSLV

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00
3	Peso terreno mensola	1.00
4	Spinta falda	1.00
5	Spinta sismica in x	1.00
6	Spinta sismica in y	1.00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1.2
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1.2
	Ribaltamento	1

A_Unitari+M1+RSLV+Beta (+50%)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00
3	Peso terreno mensola	1.00
4	Spinta falda	1.00
5	Spinta sismica in x	1.00
6	Spinta sismica in y	1.00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1.2
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1.2
	Ribaltamento	1

A1+M1+R3 [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale K_h 0.0128
 Coefficiente sismico verticale K_v 0.0064

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Q_i Quota iniziale strato (cm);
 Q_f Quota finale strato
 G Peso unità di volume (KN/m³);
 E_{ps} Inclinazione dello strato. (°);
 F_i Angolo di resistenza a taglio (°);
 Δ Angolo attrito terra muro;
 c Coesione (kPa);
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
185.0	155.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	
155.0	125.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	
125.0	95.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	
95.0	65.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	
65.0	35.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
20.0	0.25	0.25	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0
20.0	0.25	0.25	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0
20.0	0.25	0.25	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0
20.0	0.25	0.25	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0
20.0	0.25	0.25	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	185.0	155.0	0.26	0.1	165.0	165.0
2	155.0	125.0	0.79	0.29	138.33	138.33
3	125.0	95.0	1.31	0.48	109.0	109.0
4	95.0	65.0	1.84	0.67	79.29	79.29
5	65.0	35.0	2.37	0.86	49.44	49.44

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

Py	Peso del muro (kN);
Px	Forza inerziale (kN);
Xp, Yp	Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
155.0	0.03	1.96	71.7	169.7
125.0	0.05	4.12	70.9	153.9
95.0	0.08	6.52	70.1	137.7
65.0	0.12	9.12	69.3	121.1
35.0	0.15	11.96	68.5	104.2

Sollecitazioni sul muro

Quota	Origine ordinata minima del muro (cm).
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);

Quota	Fx	Fy	M	H
155.0	0.29	2.06	0.0	28.0
125.0	1.1	4.5	0.11	31.0
95.0	2.45	7.38	0.47	34.0
65.0	4.32	10.65	1.23	37.0
35.0	6.73	14.36	2.54	40.0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afv	Area dei ferri lato valle.
Afm	Area dei ferri lato monte.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	$\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
4Ø14 (6.16)	4Ø14 (6.16)	2.17	53.96	S	112.23	0.0	382.16
3Ø14 (4.62)	5Ø14 (7.7)	4.5	75.93	S	121.16	0.0	107.59
3Ø14 (4.62)	5Ø14 (7.7)	7.56	85.24	S	129.89	0.0	52.0
3Ø14 (4.62)	5Ø14 (7.7)	10.95	94.71	S	138.46	0.0	31.41
3Ø14 (4.62)	6Ø14 (9.24)	14.63	123.83	S	146.89	0.0	21.42

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per $(xr1, yr1) = (120.0/0.0)$
Piano di rottura passante per $(xr2, yr2) = (120.0/205.2)$
Centro di rotazione $(xro, yro) = (0.0/0.0)$

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
205.2	185.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0	
185.0	155.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0	
155.0	125.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0	
125.0	95.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0	
95.0	65.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0	
65.0	35.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0	
35.0	0.0	18.2	30.0	20.4	21.3	5.1	0.0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
20.4	0.92	0.93	0.02	0.86	0.32	0.02	0.01
20.4	0.92	0.93	0.02	0.86	0.32	0.02	0.01
20.4	0.92	0.93	0.02	0.86	0.32	0.02	0.01
20.4	0.92	0.93	0.02	0.86	0.32	0.02	0.01
20.4	0.92	0.93	0.02	0.86	0.32	0.02	0.01
20.4	0.92	0.93	0.02	0.86	0.32	0.02	0.01
21.3	0.92	0.94	0.02	0.86	0.34	0.02	0.01

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	205.2	185.0	0.01	0.0	191.73	191.73
2	185.0	155.0	0.03	0.01	167.87	167.87
3	155.0	125.0	0.55	0.16	133.02	133.22
4	125.0	95.0	2.34	0.68	108.01	108.02
5	95.0	65.0	4.2	1.21	78.89	78.9
6	65.0	35.0	6.07	1.75	49.23	49.23
7	35.0	0.0	9.44	2.68	16.72	16.67

SPINTE IN FONDAZIONE**Discretizzazione terreno**

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
35.0	0.0	18.2	210.0	20.4	21.3	5.1	180.0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Kp	Coefficiente di resistenza passiva.
Kpx, Kpy	Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

μ	Kp	Kpx	Kpy
-------	----	-----	-----

201.3 2.07 -1.93 -0.75

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.
 Qf Quota inizio strato.
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	35.0	0.0	-6.94	0.0	15.69	0.0

Sollecitazioni total i

Fx Forza in direzione x (kN);
 Fy Forza in direzione y (kN);
 M Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	22.64	6.5	3.41
Peso muro	0.15	11.96	-8.04
Peso fondazione	0.13	10.3	-6.16
Sovraccarico	0.0	0.0	0.0
Terr. fondazione	0.13	12.97	-13.14
Spinte fondazione	-6.94	0.0	-1.09
	16.12	41.72	-25.01

Momento stabilizzante -35.46 kNm
 Momento ribaltante 10.45 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	23.05 kN
Sommatoria forze verticali	41.72 kN
Coefficiente di attrito	0.36
Adesione	50.0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360.0 °
Forze normali al piano di scorrimento	41.72 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	23.05 kN
Resistenza terreno	82.12 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	3.24
Traslazione verificata Csd>1.1	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-35.46 kNm
Momento ribaltante	10.45 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	2.95
Muro verificato a ribaltamento Csv>1.5	

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	16.12 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	41.72 kN
Somma momenti	-25.01 kNm

Larghezza fondazione	120.0 cm
Lunghezza	100.0 cm
Eccentricità su B	0.06 cm
Peso unità di volume	18.2 KN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	20.0 °
Coesione	50.0 kPa
Terreno sulla fondazione	35.0 cm
Peso terreno sul piano di posa	18.2 KN/m ³
Nq	6.4
Nc	14.83
Ng	5.39
Fattori di forma	
sq	1.3
sc	1.36
sg	0.67
Inclinazione carichi	
iq	0.89
ic	0.87
ig	0.82
Fattori di profondità	
dq	1.09
dc	1.12
dg	1.0
Carico limite verticale (Qlim)	1272.08 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	21.78
Carico limite verificato Csq>1.4	

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	59.94 cm
Larghezza della fondazione	120.0 cm
x = 0.0 cm	34.88 kPa
x = 120.0 cm	34.66 kPa

MENSOLA A VALLE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
45.0	-6.94	-11.81	-2.53	35.0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	min{Vrd; Vwd}/Vsdu
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
5Ø14 (7.7)	3Ø14 (4.62)	6.98	91.41	S	135.59	0.0	11.26

MENSOLA A MONTE

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);
 Fx Forza in direzione x (kN);
 Fy Forza in direzione y (kN);
 M Momento (kNm);
 H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
85.0	9.44	6.9	-2.42	35.0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi Area dei ferri inferiori.
 Afs Area dei ferri superiori.
 Nu Sforzo normale ultimo (kN);
 Mu Momento flettente ultimo (kNm);
 Vrd Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
 Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);
 Sic. VT $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
 Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
3Ø14 (4.62)	5Ø14 (7.7)	9.57	91.77	S	135.62	0.0	19.27

A_Unitari+M1+RSLV [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh 0.0128
 Coefficiente sismico verticale Kv 0.0064

CALCOLO SPINTE**Discretizzazione terreno**

Qi Quota iniziale strato (cm);
 Qf Quota finale strato
 G Peso unità di volume (KN/m³);
 Eps Inclinazione dello strato. (°);
 Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
 Delta Angolo attrito terra muro;
 c Coesione (kPa);
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
185.0	155.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	
155.0	125.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	
125.0	95.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	
95.0	65.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	
65.0	35.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta.
 Ka Coefficiente di spinta attiva.
 Kd Coefficiente di spinta dinamica.
 Dk Coefficiente di incremento dinamico.
 Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.

Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
20.0	0.25	0.25	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0
20.0	0.25	0.25	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0
20.0	0.25	0.25	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0
20.0	0.25	0.25	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0
20.0	0.25	0.25	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.
 Qf Quota inizio strato.
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	185.0	155.0	0.2	0.07	165.0	165.0
2	155.0	125.0	0.61	0.22	138.33	138.33
3	125.0	95.0	1.02	0.37	109.0	109.0
4	95.0	65.0	1.43	0.52	79.29	79.29
5	65.0	35.0	1.83	0.67	49.44	49.44

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py Peso del muro (kN);
 Px Forza inerziale (kN);
 Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

	Quota	Px	Py	Xp	Yp
	155.0	0.03	1.96	71.7	169.7
	125.0	0.05	4.12	70.9	153.9
	95.0	0.08	6.52	70.1	137.7
	65.0	0.12	9.12	69.3	121.1
	35.0	0.15	11.96	68.5	104.2

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).
 Fx Forza in direzione x (kN);
 Fy Forza in direzione y (kN);
 M Momento (kNm);
 H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
155.0	0.23	2.04	0.0	28.0
125.0	0.87	4.42	0.08	31.0
95.0	1.92	7.19	0.34	34.0
65.0	3.38	10.31	0.91	37.0
35.0	5.25	13.82	1.9	40.0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afv Area dei ferri lato valle.
 Afr Area dei ferri lato monte.
 Nu Sforzo normale ultimo (kN);

Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	$\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
4Ø14 (6.16)	4Ø14 (6.16)	2.17	53.96	S	112.23	0.0	480.75
3Ø14 (4.62)	5Ø14 (7.7)	4.5	75.93	S	121.16	0.0	136.88
3Ø14 (4.62)	5Ø14 (7.7)	7.56	85.24	S	129.89	0.0	66.41
3Ø14 (4.62)	5Ø14 (7.7)	10.52	94.64	S	138.46	0.0	40.19
3Ø14 (4.62)	6Ø14 (9.24)	14.14	123.75	S	146.88	0.0	27.44

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per $(xr1, yr1) = (120.0/0.0)$

Piano di rottura passante per $(xr2, yr2) = (120.0/205.2)$

Centro di rotazione $(xro, yro) = (0.0/0.0)$

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
205.2	185.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0	
185.0	155.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0	
155.0	125.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0	
125.0	95.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0	
95.0	65.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0	
65.0	35.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0	
35.0	0.0	18.2	30.0	20.4	21.3	5.1	0.0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
20.4	0.92	0.93	0.02	0.86	0.32	0.02	0.01
20.4	0.92	0.93	0.02	0.86	0.32	0.02	0.01
20.4	0.92	0.93	0.02	0.86	0.32	0.02	0.01
20.4	0.92	0.93	0.02	0.86	0.32	0.02	0.01
20.4	0.92	0.93	0.02	0.86	0.32	0.02	0.01
20.4	0.92	0.93	0.02	0.86	0.32	0.02	0.01
21.3	0.92	0.94	0.02	0.86	0.34	0.02	0.01

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.
 Qf Quota inizio strato.
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	205.2	185.0	0.01	0.0	191.73	191.73
2	185.0	155.0	0.03	0.01	167.87	167.87
3	155.0	125.0	0.43	0.16	133.22	133.22
4	125.0	95.0	1.82	0.68	108.02	108.02
5	95.0	65.0	3.26	1.21	78.9	78.9
6	65.0	35.0	4.7	1.75	49.23	49.23
7	35.0	0.0	7.31	2.68	16.72	16.67

SPINTE IN FONDAZIONE**Discretizzazione terreno**

Qi Quota iniziale strato (cm);
 Qf Quota finale strato
 G Peso unità di volume (KN/m³);
 Eps Inclinazione dello strato. (°);
 Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
 Delta Angolo attrito terra muro;
 c Coesione (kPa);
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
35.0	0.0	18.2	210.0	20.4	21.3	5.1	180.0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta.
 Kp Coefficiente di resistenza passiva.
 Kpx, Kpy Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

μ	Kp	Kpx	Kpy
201.3	2.07	-1.93	-0.75

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.
 Qf Quota inizio strato.
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	35.0	0.0	-6.94	0.0	15.69	0.0

Sollecitazioni total i

Fx Forza in direzione x (kN);
 Fy Forza in direzione y (kN);

M	Momento (kNm);		M
	Fx	Fy	
Spinta terreno	17.57	6.5	0.93
Peso muro	0.15	11.96	-8.04
Peso fondazione	0.13	10.3	-6.16
Sovraccarico	0.0	0.0	0.0
Terr. fondazione	0.13	9.97	-10.07
Spinte fondazione	-6.94	0.0	-1.09
	11.05	38.73	-24.42

Momento stabilizzante -32.39 kNm
Momento ribaltante 7.98 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	17.99 kN
Sommatoria forze verticali	38.73 kN
Coefficiente di attrito	0.36
Adesione	50.0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360.0 °
Forze normali al piano di scorrimento	38.73 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	17.99 kN
Resistenza terreno	81.03 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	4.51
Traslazione verificata Csd>1.1	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-32.39 kNm
Momento ribaltante	7.98 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	4.06
Muro verificato a ribaltamento Csv>1.5	

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	11.05 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	38.73 kN
Somma momenti	-24.42 kNm
Larghezza fondazione	120.0 cm
Lunghezza	100.0 cm
Eccentricità su B	3.04 cm
Peso unità di volume	18.2 KN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	20.0 °
Coesione	50.0 kPa
Terreno sulla fondazione	35.0 cm
Peso terreno sul piano di posa	18.2 KN/m ³
Nq	6.4
Nc	14.83
Ng	5.39
Fattori di forma	
sq	1.32
sc	1.38
sg	0.65
Inclinazione carichi	
iq	0.92
ic	0.9
ig	0.87

Fattori di profondità

dq	1.1
dc	1.12
dg	1.0
Carico limite verticale (Qlim)	1278.44 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	27.51
Carico limite verificato Csq>1.4	

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	63.04 cm
Larghezza della fondazione	120.0 cm
x = 0.0 cm	27.36 kPa
x = 120.0 cm	37.19 kPa

MENSOLA A VALLE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
45.0	-6.94	-9.27	-1.89	35.0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	min{Vrd; Vwd}/Vsdu
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
5Ø14 (7.7)	3Ø14 (4.62)	6.98	91.41	S	135.59	0.0	14.35

MENSOLA A MONTE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
85.0	7.31	6.53	-2.31	35.0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi	Area dei ferri inferiori.
-----	---------------------------

Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	$\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
3Ø14 (4.62)	5Ø14 (7.7)	7.41	91.47	S	135.59	0.0	20.37

A_Unitari+M1+RSLV+Beta (+50%) [GEO]

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0.0128
Coefficiente sismico verticale Kv	0.0064

CALCOLO SPINTE**Discretizzazione terreno**

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
185.0	155.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	
155.0	125.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	
125.0	95.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	
95.0	65.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	
65.0	35.0	19.0	0.0	35.0	20.0	0.0	0.0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
20.0	0.25	0.26	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0
20.0	0.25	0.26	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0
20.0	0.25	0.26	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0
20.0	0.25	0.26	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0
20.0	0.25	0.26	0.01	0.23	0.08	0.01	0.0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);

Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	185.0	155.0	0.21	0.08	165.0	165.0
2	155.0	125.0	0.62	0.23	138.33	138.33
3	125.0	95.0	1.04	0.38	109.0	109.0
4	95.0	65.0	1.45	0.53	79.29	79.29
5	65.0	35.0	1.87	0.68	49.44	49.44

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py Peso del muro (kN);
 Px Forza inerziale (kN);
 Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
155.0	0.04	1.96	71.7	169.7
125.0	0.08	4.12	70.9	153.9
95.0	0.13	6.52	70.1	137.7
65.0	0.18	9.12	69.3	121.1
35.0	0.23	11.96	68.5	104.2

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).
 Fx Forza in direzione x (kN);
 Fy Forza in direzione y (kN);
 M Momento (kNm);
 H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
155.0	0.25	2.04	0.0	28.0
125.0	0.91	4.42	0.09	31.0
95.0	1.99	7.2	0.37	34.0
65.0	3.49	10.33	0.96	37.0
35.0	5.42	13.85	1.99	40.0

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per $(xr1, yr1) = (120.0/0.0)$
 Piano di rottura passante per $(xr2, yr2) = (120.0/205.2)$
 Centro di rotazione $(xro, yro) = (0.0/0.0)$

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
 Qf Quota finale strato
 G Peso unità di volume (KN/m³);
 Eps Inclinazione dello strato. (°);
 Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
 Delta Angolo attrito terra muro;
 c Coesione (kPa);
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
----	----	---	-----	----	-------	---	---	------

205.2	185.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0
185.0	155.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0
155.0	125.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0
125.0	95.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0
95.0	65.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0
65.0	35.0	18.2	30.0	20.4	20.4	5.1	0.0
35.0	0.0	18.2	30.0	20.4	21.3	5.1	0.0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
20.4	0.92	0.94	0.03	0.86	0.32	0.03	0.01
20.4	0.92	0.94	0.03	0.86	0.32	0.03	0.01
20.4	0.92	0.94	0.03	0.86	0.32	0.03	0.01
20.4	0.92	0.94	0.03	0.86	0.32	0.03	0.01
20.4	0.92	0.94	0.03	0.86	0.32	0.03	0.01
20.4	0.92	0.94	0.03	0.86	0.32	0.03	0.01
21.3	0.92	0.95	0.03	0.86	0.34	0.03	0.01

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	205.2	185.0	0.01	0.0	191.73	191.73
2	185.0	155.0	0.05	0.02	167.87	167.87
3	155.0	125.0	0.47	0.17	133.62	133.62
4	125.0	95.0	1.87	0.7	108.05	108.05
5	95.0	65.0	3.32	1.24	78.91	78.91
6	65.0	35.0	4.78	1.78	49.24	49.24
7	35.0	0.0	7.43	2.72	16.72	16.72

SPINTE IN FONDAZIONE**Discretizzazione terreno**

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
35.0	0.0	18.2	210.0	20.4	21.3	5.1	180.0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta.
 K_p Coefficiente di resistenza passiva.
 K_{px}, K_{py} Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

μ	K_p	K_{px}	K_{py}
201.3	2.07	-1.93	-0.75

Spinte risultanti e punto di applicazione

Q_i Quota inizio strato.
 Q_f Quota inizio strato.
 R_{px}, R_{py} Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
 $Z(R_{px})$ Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 $Z(R_{py})$ Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Q_i	Q_f	R_{px}	R_{py}	$z(R_{px})$	$z(R_{py})$
1	35.0	0.0	-6.94	0.0	15.69	0.0

Sollecitazioni totali

F_x Forza in direzione x (kN);
 F_y Forza in direzione y (kN);
 M Momento (kNm);

	F_x	F_y	M
Spinta terreno	17.93	6.63	1.02
Peso muro	0.23	11.96	-7.96
Peso fondazione	0.2	10.3	-6.14
Sovraccarico	0.0	0.0	0.0
Terr. fondazione	0.19	9.97	-9.99
Spinte fondazione	-6.94	0.0	-1.09
	11.61	38.86	-24.17

Momento stabilizzante -32.55 kNm
 Momento ribaltante 8.38 kNm

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante -32.55 kNm
 Momento ribaltante 8.38 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento C_{sv} 3.88

Muro verificato a ribaltamento $C_{sv} > 1.5$

MENSOLA A VALLE

$X_{progr.}$ Ascissa progressiva (cm);
 F_x Forza in direzione x (kN);
 F_y Forza in direzione y (kN);
 M Momento (kNm);
 H Altezza sezione (cm);

$X_{progr.}$	F_x	F_y	M	H
45.0	-6.94	-9.71	-2.02	35.0

MENSOLA A MONTE

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
85.0	7.43	6.96	-2.41	35.0

Indice

1.Dati generali	10
2.CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI	11
3.Stratigrafia	11
4.Fattori combinazione	11
5.A1+M1+R3 [GEO+STR]	13
5.1.1-(Peso, Baricentro, Inerzia)	14
5.2.1-Armatura elevazione	14
5.3.1-Sollecitazioni totali	16
5.4.1-Verifica alla traslazione	17
5.5.1-Verifica al ribaltamento	17
5.6.1-Carico limite	17
5.7.1-Tensioni sul terreno	18
5.8.1-Armatura in fondazione	18
6.A_Unitari+M1+RSLV [GEO+STR]	19
6.1.2-(Peso, Baricentro, Inerzia)	20
6.2.2-Armatura elevazione	21
6.3.2-Sollecitazioni totali	23
6.4.2-Verifica alla traslazione	23
6.5.2-Verifica al ribaltamento	23
6.6.2-Carico limite	23
6.7.2-Tensioni sul terreno	24
6.8.2-Armatura in fondazione	24
7.A_Unitari+M1+RSLV+Beta (+50%) [GEO]	25
7.1.3-(Peso, Baricentro, Inerzia)	26
7.2.3-Sollecitazioni totali	29
7.3.3-Verifica al ribaltamento	29
Indice	31

Dati generali

Descrizione	S.P. n. 43 "EX SS. 374 – DI SUMMONTE E DI MONTEVERGINE". Cedimento sede stradale e distacco muri di contenimento nel Comune di Pannarano (BN)		
Comune di	Pannarano (BN)		
Tecnico	ing. Antonio Falluto		
Data	01/07/2019		
Condizioni ambientali	Ordinarie		
Zona	Pannarano (BN)		
Lat./Long. [WGS84]	41.010163/14.7		
Normativa GEO			
Normativa STR			
Spinta	Mononobe e Okabe [M.O. 1929]		

Dati generali muro

Altezza muro	150.0 cm
Spessore testa muro	25.0 cm
Risega muro lato valle	15.0 cm
Risega muro lato monte	0.0 cm
Sporgenza mensola a valle	45.0 cm
Sporgenza mensola a monte	35.0 cm
Svaso mensola a valle	0.0 cm
Altezza estremità mensola a valle	35.0 cm
Altezza estremità mensola a monte	35.0 cm

Stratigrafia

Ns	Spessore strato (cm)	Inclinazione e dello strato. (°)	Peso unità di volume (KN/m³)	Angolo di resistenza a taglio (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito terra muro (°)	Presenza di falda (Si/No)	Litologia	Descrizione
1	970	0	18.20	20	5.10	21	No		Sabbia limosa
2	14215	0	19.25	22	5.60	10	No		Argilla limosa

FATTORI DI COMBINAZIONE

A1+M1+R3

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.30
3	Peso terreno mensola	1.30
4	Spinta falda	1.00
5	Spinta sismica in x	1.00
6	Spinta sismica in y	1.00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1.4
2	Scorrimento	1.1
3	Partecipazione spinta passiva	1.4
	Ribaltamento	1.15

Verifica carico limite

A_Unitari+M1+RSLV

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00
3	Peso terreno mensola	1.00
4	Spinta falda	1.00
5	Spinta sismica in x	1.00
6	Spinta sismica in y	1.00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1.2
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1.2
	Ribaltamento	1

A_Unitari+M1+RSLV+Beta (+50%)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00
3	Peso terreno mensola	1.00
4	Spinta falda	1.00
5	Spinta sismica in x	1.00
6	Spinta sismica in y	1.00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1.2
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1.2
	Ribaltamento	1

A1+M1+R3 [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0.0128
Coefficiente sismico verticale Kv	0.0064

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	16.12 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	41.72 kN
Somma momenti	-25.01 kNm
Larghezza fondazione	120.0 cm
Lunghezza	100.0 cm
Eccentricità su B	0.06 cm
Peso unità di volume	18.2 KN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	20.0 °
Coesione	50.0 kPa
Terreno sulla fondazione	35.0 cm
Peso terreno sul piano di posa	18.2 KN/m ³
Nq	6.4
Nc	14.83
Ng	5.39

Fattori di forma	
sq	1.3
sc	1.36
sg	0.67
Inclinazione carichi	
iq	0.89
ic	0.87
ig	0.82
Fattori di profondità	
dq	1.09
dc	1.12
dg	1.0
Carico limite verticale (Qlim)	1272.08 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	21.78
Carico limite verificato Csq>1.4	

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	59.94 cm
Larghezza della fondazione	120.0 cm
x = 0.0 cm	34.88 kPa
x = 120.0 cm	34.66 kPa

A_Unitari+M1+RSLV [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0.0128
Coefficiente sismico verticale Kv	0.0064

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	11.05 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	38.73 kN
Somma momenti	-24.42 kNm
Larghezza fondazione	120.0 cm
Lunghezza	100.0 cm
Eccentricità su B	3.04 cm
Peso unità di volume	18.2 KN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	20.0 °
Coesione	50.0 kPa
Terreno sulla fondazione	35.0 cm
Peso terreno sul piano di posa	18.2 KN/m ³
Nq	6.4
Nc	14.83
Ng	5.39
Fattori di forma	
sq	1.32
sc	1.38
sg	0.65
Inclinazione carichi	
iq	0.92
ic	0.9
ig	0.87
Fattori di profondità	
dq	1.1
dc	1.12
dg	1.0
Carico limite verticale (Qlim)	1278.44 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	27.51

Carico limite verificato Csq>1.4

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	63.04 cm
Larghezza della fondazione	120.0 cm
x = 0.0 cm	27.36 kPa
x = 120.0 cm	37.19 kPa

A_Unitari+M1+RSLV+Beta (+50%) [GEO]

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0.0128
Coefficiente sismico verticale Kv	0.0064