Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilitàdei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l' esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
- Circolare C.S.L.P. 02/02/2009 n.617 - Istruzioni per l’applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione e verifica in diverse sezioni al ribaltamento, allo scorrimento ed allo schiacciamento.

Calcolo della spinta sul muro

Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite gli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valodi di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze.
I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali γ. In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo **A2-M2** nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e incrementati i soli carichi variabili.

Metodo di Culmann

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.
I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:
- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio *(W)*, carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura *(R e C)* e resistenza per coesione lungo la parete *(A)*;
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.
La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.
Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata *z*. Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).
La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.
Detta ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta *S'* considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove $\theta = \text{arctg}(k_h/(1\pm k_v))$ essendo k_h il coefficiente sismico orizzontale e k_v il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di k_h.
In presenza di falda a monte, θ assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \text{arctg}[(\gamma_{sat}/(\gamma_{sat}-\gamma_w))*(k_h/(1\pm k_v))]$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \text{arctg}[(\gamma/(\gamma_{sat}-\gamma_w))*(k_h/(1\pm k_v))]$$

Detta *S* la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente *A* vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta+\theta)}{\cos^2\beta\cos\theta}$$

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

In presenza di falda a monte, nel coefficiente *A* si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di θ.
Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente *A* viene posto pari a 1.
Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.
Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{iH} = k_h W \qquad F_{iV} = \pm k_v W$$

dove *W* è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.
Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante M_r) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante M_s) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto M_s/M_r sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_r.
Eseguendo il calcolo mediante gli eurocodici si puo impostare $\eta_r >= 1.0$.

Deve quindi essere verificata la seguente diseguaglianza

$$\frac{M_s}{M_r} >= \eta_r$$

Il momento ribaltante M_r è dato dalla componente orizzontale della spinta *S*, dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.
Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento sisulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s
Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare η_s>=1.0

$$\frac{F_r}{F_s} >= \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.
La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta *N* la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \, tg \, \delta_f + c_a B_r$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 percento.
Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f, diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q. Cioè, detto Q_u, il carico limite ed *R* la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

$$\frac{Q_u}{R} >= \eta_q$$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare η_q>=1.0
Le espressioni di Hansen per il calcolo della capacità portante si differenziano a secondo se siamo in presenza di un terreno puramente coesivo (ϕ=0) o meno e si esprimono nel modo seguente:

Caso generale

$$q_u = cN_cs_cd_ci_cg_cb_c + qN_qs_qd_qi_qg_qb_q + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Caso di terreno puramente coesivo ϕ=0

$$q_u = 5.14c(1+s_c+d_c-i_c-g_c-b_c) + q$$

in cui d_c, d_q, d_γ, sono i fattori di profondità; s_c, s_q, s_γ, sono i fattori di forma; i_c, i_q, i_γ, sono i fattori di inclinazione del carico; b_c, b_q, b_γ, sono i fattori di inclinazione del piano di posa; g_c, g_q, g_γ, sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggi su un terreno in pendenza.
I fattori N_c, N_q, N_γ sono espressi come:

$N_q = e^{\pi tg\phi}K_p$

$N_c = (N_q - 1)ctg\phi$

$N_\gamma = 1.5(N_q - 1)tg\phi$

Vediamo ora come si esprimono i vari fattori che compaiono nella espressione del carico ultimo.

Fattori di forma

per ϕ=0 $s_c = 0.2\frac{B}{L}$

per ϕ>0 $s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c}\frac{B}{L}$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L}tg\phi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4\frac{B}{L}$$

Fattori di profondità

Si definisce il parametro *k* come

$$k = \frac{D}{B} \quad se \quad \frac{D}{B} <= 1$$

$$k = arctg\frac{D}{B} \quad se \quad \frac{D}{B} > 1$$

I vari coefficienti si esprimono come

per $\phi=0$ $d_c = 0.4k$

per $\phi>0$ $d_c = 1 + 0.4k$

$d_q = 1+2tg\phi(1-sin\phi)^2k$

$_\gamma = 1$

Fattori di inclinazione del carico

Indichiamo con *V* e *H* le componenti del carico rispettivamente perpendicolare e parallela alla base e con A_f l'area efficace della fondazione ottenuta come A_f = B'xL' (B' e L' sono legate alle dimensioni effettive della fondazione *B*, *L* e all'eccentricità del carico e_B, e_L dalle relazioni B' = B-2e_B L' = L- 2e_L) e con η l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi (η=0 per fondazione orizzontale).
I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

per $\phi = 0$ $i_c = 1/2(1-\sqrt{[1-\frac{H}{A_f c_a}]})$

per $\phi > 0$ $i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$

$$i_q = (1 - \frac{0.5H}{V + A_f c_a ctg\phi})^5$$

per $\eta = 0$ $i_\gamma = (1 - \frac{0.7H}{V + A_f c_a ctg\phi})^5$

per $\eta > 0$ $i_\gamma = (1 - \frac{(0.7-\eta°/450°)H}{V + A_f c_a ctg\phi})^5$

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

per $\phi=0$ $b_c = \frac{\eta°}{147°}$

per $\phi>0$ $b_c = 1 - \frac{\eta°}{147°}$

$b_q = e^{-2\eta tg\phi}$

$b_\gamma = e^{-2.7\eta tg\phi}$

Fattori di inclinazione del terreno

Indicando con β la pendenza del pendio i fattori *g* si ottengono dalle espressioni seguenti:

per $\phi=0$ $g_c = \frac{\beta°}{147°}$

per $\phi>0$ $g_c = 1 - \frac{\beta°}{147°}$

$g_q = g_\gamma = (1-0.05tg\beta)^5$

Per poter applicare la formula di Hansen devono risultare verificate le seguenti condizioni:

$H < Vtg\delta + A_f c_a$

$\beta <= \phi$

$i_q, i_\gamma > 0$

$\beta + \eta <= 90°$

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a η_g

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare η_g>=1.0
Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro o con i pali di fondazione. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del muro. Il numero di strisce è pari a 50.

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Il coefficiente di sicurezza fornito da Fellenius si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\Sigma_i^n \left(\frac{c_i b_i}{\cos\alpha_i} + [W_i \cos\alpha_i - u_i l_i] \operatorname{tg}\phi_i \right)}{\Sigma_i^n W_i \sin\alpha_i}$$

dove *n* è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i_{esima} rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i_{esima} e c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.
Inoltre u_i ed l_i rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ($l_i = b_i/\cos\alpha_i$).
Quindi, assunto un cerchio di tentativo lo si suddivide in *n* strisce e dalla formula precedente si ricava η. Questo procedimento viene eseguito per il numero di centri prefissato e viene assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.

Normativa

N.T.C. 2008 - Approccio 1

Simbologia adottata

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{Qfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_{c'}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_{γ}	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*	*EQU*	*HYD*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	0.90	0.90
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00	1.10	1.30
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30	1.50	1.50

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*	*M2*	*M1*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1.00	1.25	1.25	1.00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.25	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.40	1.00
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60	1.60	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00	1.00	1.00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*	*EQU*	*HYD*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00	0.90
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.00	1.00	1.00	1.30
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.00	1.00	1.00	1.50

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*	*M2*	*M1*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1.00	1.25	1.25	1.00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.25	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.40	1.00
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60	1.60	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00	1.00	1.00

FONDAZIONE SUPERFICIALE

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica	*Coefficienti parziali*		
	R1	R2	R3
Capacità portante della fondazione	1.00	1.00	1.40
Scorrimento	1.00	1.00	1.10
Resistenza del terreno a valle	1.00	1.00	1.40
Stabilità globale		1.10	

Geometria muro e fondazione

Descrizione	**Muro a gravità in pietrame**
Altezza del paramento	1.75 [m]
Spessore in sommità	1.84 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	3.86 [m]
Inclinazione paramento esterno	30.00 [°]
Inclinazione paramento interno	30.00 [°]
Lunghezza del muro	10.00 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0.00 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0.00 [m]
Lunghezza totale fondazione	3.86 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	0.00 [m]
Spessore magrone	0.00 [m]

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Materiali utilizzati per la struttura

Pietrame

Peso specifico	2100.0 [kg/mc]
Tensione ammissibile a compressione σ_c	10.0 [kg/cmq]
Angolo di attrito interno ϕ_p	35.00 [°]
Resistenza a taglio τ_p	0.2 [kg/cmq]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	5.00	0.00	0.00

Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	0.00	[°]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0.00	[m]

Descrizione terreni

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cmq]
c_a	Adesione terra-muro espressa in [kg/cmq]

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a
Acqua	1000	1000	0.00	0.00	0.000	0.000
Materiale riporto	1800	2000	29.26	19.51	0.140	0.000
Rosso Levanto Alter	2500	2500	31.30	20.87	0.387	0.000

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Stratigrafia

Simbologia adottata

N	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
a	Inclinazione espressa in [°]
Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm^2/cm
Ks	Coefficiente di spinta
Terreno	Terreno dello strato

Nr.	H	a	Kw	Ks	Terreno
1	1.00	0.00	0.00	0.00	Acqua
2	0.75	0.00	0.00	0.00	Materiale riporto
3	3.00	0.00	9.50	0.00	Rosso Levanto Alter

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

F/S Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)
γ Coefficiente di partecipazione della condizione
Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 2 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 5 - Caso A2-M2 (GEO)

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Combinazione n° 6 - Caso EQU (SLU)

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	FAV	0.90	1.00	0.90
Peso proprio terrapieno	FAV	0.90	1.00	0.90
Spinta terreno	SFAV	1.10	1.00	1.10

Combinazione n° 7 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 8 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 9 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 10 - Caso A2-M2 (GEO) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 11 - Caso A2-M2 (GEO) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 12 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 13 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 15 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 16 - Rara (SLE)

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 17 - Frequente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 18 - Quasi Permanente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	γ * Ψ
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00

Impostazioni di analisi

Calcolo della portanza metodo di Hansen

Coefficiente correttivo su $N\gamma$ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1.00
Coefficiente correttivo su $N\gamma$ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1.00

Impostazioni avanzate

Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni
Diagramma correttivo per eccentricità negativa con aliquota di parzializzazione pari a 0.00

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

C Identificativo della combinazione

Tipo Tipo combinazione

Sisma Combinazione sismica

CS_{SCO} Coeff. di sicurezza allo scorrimento

CS_{RIB} Coeff. di sicurezza al ribaltamento

CS_{QLIM} Coeff. di sicurezza a carico limite

CS_{STAB} Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	cs_{sco}	cs_{rib}	cs_{qlim}	cs_{stab}
1	A1-M1 - [1]	--	5.75	--	63.09	--
2	A1-M1 - [1]	--	7.40	--	51.33	--
3	A1-M1 - [1]	--	5.75	--	63.09	--
4	A1-M1 - [1]	--	7.40	--	51.33	--
5	A2-M2 - [1]	--	5.80	--	32.28	--
6	EQU - [1]	--	--	32.96	--	--
7	STAB - [1]	--	--	--	--	8.13
8	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	4.12	--	56.39	--
9	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	4.07	--	58.47	--
10	A2-M2 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	3.08	--	26.74	--
11	A2-M2 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	3.07	--	27.79	--
12	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	16.15	--	--
13	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	22.81	--	--
14	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	6.92
15	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	7.08
16	SLER - [1]	--	8.13	--	67.73	--
17	SLEF - [1]	--	8.13	--	67.73	--
18	SLEQ - [1]	--	8.13	--	67.73	--

Analisi della spinta e verifiche

Sistema di riferimento adottato per le coordinate :
Origine in testa al muro (spigolo di monte)
Ascisse X (espresse in [m]) positive verso monte
Ordinate Y (espresse in [m]) positive verso l'alto
Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da monte verso valle
Le forze verticali sono considerate positive se agenti dall'alto verso il basso

Calcolo riferito ad 1 metro di muro

Tipo di analisi

Calcolo della spinta	metodo di Culmann
Calcolo del carico limite	metodo di Hansen
Calcolo della stabilità globale	metodo di Fellenius
Calcolo della spinta in condizioni di	Spinta attiva

Sisma

Identificazione del sito

Latitudine	44.192647

Longitudine	9.596217
Comune	Bonassola
Provincia	La Spezia
Regione	Liguria
Punti di interpolazione del reticolo	18037 - 18038 - 17816 - 17815

Tipo di opera

Tipo di costruzione	Opera ordinaria
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	II - Normali affollamenti e industrie non pericolose
Vita di riferimento	50 anni

Combinazioni SLU

Accelerazione al suolo a_g	1.13 [m/s^2]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.00
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.20
Coefficiente riduzione (β_m)	0.29
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S)$ = 4.01
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h$ = 2.00

Combinazioni SLE

Accelerazione al suolo a_g	0.46 [m/s^2]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.00
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.20
Coefficiente riduzione (β_m)	0.20
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S)$ = 1.11
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h$ = 0.56

Forma diagramma incremento sismico	Stessa forma diagramma statico
Partecipazione spinta passiva (percento)	0.0
Lunghezza del muro	10.00 [m]
Peso muro	10475.08 [kg]
Baricentro del muro	X=-0.92 Y=-0.98

Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta	X = 1.01 Y = -1.75
Punto superiore superficie di spinta	X = 0.00 Y = 0.00
Altezza della superficie di spinta	1.75 [m]
Inclinazione superficie di spinta(rispetto alla verticale)	30.00 [°]

COMBINAZIONE n° 10

Valore della spinta statica	674.22	[kg]	
Componente orizzontale della spinta statica	569.39	[kg]	
Componente verticale della spinta statica	361.06	[kg]	
Punto d'applicazione della spinta	X = 0.46	[m]	Y = -0.80 [m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	2.38	[°]	
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	55.19	[°]	
Incremento sismico della spinta	131.53	[kg]	

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0.46	[m]	Y = -0.80	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	53.44	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0.00	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0.00	[m]	Y = 0.00	[m]
Inerzia del muro	419.87	[kg]		
Inerzia verticale del muro	209.93	[kg]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0.00	[kg]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0.00	[kg]		

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	1100.33	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	11116.52	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	11116.52	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	1100.33	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.03	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3.86	[m]
Risultante in fondazione	11170.84	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	5.65	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	369.67	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	297263.79	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3.86	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0.3028	[kg/cmq]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0.2731	[kg/cmq]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	N_c = 22.16	N_q = 11.78	N_γ = 7.86
Fattori forma	s_c = 1.00	s_q = 1.00	s_γ = 1.00
Fattori inclinazione	i_c = 0.76	i_q = 0.78	i_γ = 0.70
Fattori profondità	d_c = 1.00	d_q = 1.00	d_γ = 1.00
Fattori inclinazione piano posa	b_c = 1.00	b_q = 1.00	b_γ = 1.00
Fattori inclinazione pendio	g_c = 1.00	g_q = 1.00	g_γ = 1.00

I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

N'_c = 16.73	N'_q = 9.14	N'_γ = 5.49

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	3.08
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	26.74

Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni

Combinazione n° 10

L'ordinata Y(espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro
Le verifiche sono effettuate assumendo una base della sezione B=100 cm

H	altezza della sezione espressa in [cm]
N	sforzo normale [kg]
M	momento flettente [kgm]
T	taglio [kg]
e	eccentricità dello sforzo rispetto al baricentro [cm]
σ_p	tensione di compressione massima nel pietrame in [kg/cmq]
Ms	momento stabilizzante [kgm]
Mr	momento ribaltante [kgm]
Cs	coeff. di sicurezza allo scorrimento
Cr	coeff. di sicurezza al ribaltamento

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Nr.	Y	H	N	M	T	e	σ_p	Ms	Mr	Cs	Cr
1	0.00	184.00	0	0	0	--	0.00	--	--	0.00	--
2	0.09	194.10	349	-2	18	--	0.02	--	--	223.53	--
3	0.17	204.21	720	-7	47	--	0.04	--	--	98.17	--
4	0.26	214.31	1114	-16	85	--	0.05	--	--	59.72	--
5	0.35	224.41	1529	-29	133	--	0.07	--	--	41.88	--
6	0.44	234.52	1967	-45	190	--	0.09	--	--	31.85	--
7	0.52	244.62	2427	-64	258	--	0.11	--	--	25.55	--
8	0.61	254.73	2909	-87	335	--	0.12	--	--	21.26	--
9	0.70	264.83	3413	-112	423	--	0.14	--	--	18.19	--
10	0.79	274.93	3939	-141	520	--	0.15	--	--	15.89	--
11	0.88	285.04	4487	-174	626	--	0.17	--	--	14.12	--
12	0.96	295.14	5057	-209	743	--	0.19	--	--	12.71	--
13	1.05	305.24	5628	-217	821	--	0.20	--	--	12.23	--
14	1.14	315.35	6178	-164	845	--	0.21	--	--	12.59	--
15	1.22	325.45	6744	-108	867	--	0.21	--	--	12.95	--
16	1.31	335.55	7326	-49	891	--	0.22	--	--	13.29	--
17	1.40	345.66	7928	6	918	--	0.23	--	--	13.58	--
18	1.49	355.76	8554	51	952	--	0.24	--	--	13.77	--
19	1.57	365.87	9204	83	994	--	0.26	--	--	13.84	--
20	1.66	375.97	9879	100	1045	--	0.27	--	--	13.82	--

COMBINAZIONE n° 11

Valore della spinta statica	674.22	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	569.39	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	361.06	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0.46	[m]	Y = -0.80	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	2.38	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	55.19	[°]		
Incremento sismico della spinta	85.60	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0.46	[m]	Y = -0.80	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	53.63	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0.00	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0.00	[m]	Y = 0.00	[m]
Inerzia del muro	419.87	[kg]		
Inerzia verticale del muro	-209.93	[kg]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0.00	[kg]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0.00	[kg]		

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	1061.54	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	10672.05	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	10672.05	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	1061.54	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.03	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3.86	[m]
Risultante in fondazione	10724.72	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	5.68	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	367.07	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	296618.03	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3.86	[m]

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Tensione terreno allo spigolo di valle 0.2912 [kg/cmq]
Tensione terreno allo spigolo di monte 0.2616 [kg/cmq]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	N_c = 22.16	N_q = 11.78	N_γ = 7.86
Fattori forma	s_c = 1.00	s_q = 1.00	s_γ = 1.00
Fattori inclinazione	i_c = 0.75	i_q = 0.77	i_γ = 0.70
Fattori profondità	d_c = 1.00	d_q = 1.00	d_γ = 1.00
Fattori inclinazione piano posa	b_c = 1.00	b_q = 1.00	b_γ = 1.00
Fattori inclinazione pendio	g_c = 1.00	g_q = 1.00	g_γ = 1.00

I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

N'_c = 16.71 N'_q = 9.13 N'_γ = 5.48

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento 3.07
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo 27.79

Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni

Combinazione n° 11

L'ordinata Y(espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro
Le verifiche sono effettuate assumendo una base della sezione B=100 cm

H altezza della sezione espressa in [cm]
N sforzo normale [kg]
M momento flettente [kgm]
T taglio [kg]
e eccentricità dello sforzo rispetto al baricentro [cm]
σ_p tensione di compressione massima nel pietrame in [kg/cmq]
Ms momento stabilizzante [kgm]
Mr momento ribaltante [kgm]
Cs coeff. di sicurezza allo scorrimento
Cr coeff. di sicurezza al ribaltamento

Nr.	Y	H	N	M	T	e	σ_p	Ms	Mr	Cs	Cr
1	0.00	184.00	0	0	0	--	0.00	--	--	0.00	--
2	0.09	194.10	349	-2	18	--	0.02	--	--	226.69	--
3	0.17	204.21	720	-7	46	--	0.04	--	--	100.38	--
4	0.26	214.31	1112	-15	83	--	0.05	--	--	61.38	--
5	0.35	224.41	1527	-27	129	--	0.07	--	--	43.21	--
6	0.44	234.52	1963	-41	184	--	0.09	--	--	32.96	--
7	0.52	244.62	2421	-59	249	--	0.10	--	--	26.48	--
8	0.61	254.73	2901	-80	323	--	0.12	--	--	22.08	--
9	0.70	264.83	3403	-104	406	--	0.14	--	--	18.91	--
10	0.79	274.93	3927	-130	499	--	0.15	--	--	16.54	--
11	0.88	285.04	4472	-160	601	--	0.17	--	--	14.70	--
12	0.96	295.14	5039	-192	712	--	0.18	--	--	13.25	--
13	1.05	305.24	5608	-199	787	--	0.20	--	--	12.75	--
14	1.14	315.35	6158	-148	810	--	0.20	--	--	13.11	--
15	1.22	325.45	6723	-94	833	--	0.21	--	--	13.47	--
16	1.31	335.55	7306	-37	856	--	0.22	--	--	13.81	--
17	1.40	345.66	7908	16	883	--	0.23	--	--	14.10	--
18	1.49	355.76	8533	60	917	--	0.24	--	--	14.28	--
19	1.57	365.87	9182	92	958	--	0.26	--	--	14.35	--
20	1.66	375.97	9855	111	1007	--	0.27	--	--	14.32	--

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

COMBINAZIONE n° 12

Valore della spinta statica	674.22	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	569.39	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	361.06	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0.46	[m]	Y = -0.80	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	2.38	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	55.19	[°]		
Incremento sismico della spinta	85.60	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0.46	[m]	Y = -0.80	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	53.63	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0.00	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0.00	[m]	Y = 0.00	[m]
Inerzia del muro	419.87	[kg]		
Inerzia verticale del muro	-209.93	[kg]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0.00	[kg]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0.00	[kg]		

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	1061.54	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	10672.05	[kg]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	1335.73	[kgm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	21569.60	[kgm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	10672.05	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	1061.54	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.03	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3.86	[m]
Risultante in fondazione	10724.72	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	5.68	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	367.07	[kgm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento 16.15

Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni

Combinazione n° 12

L'ordinata Y(espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro
Le verifiche sono effettuate assumendo una base della sezione B=100 cm

H altezza della sezione espressa in [cm]
N sforzo normale [kg]
M momento flettente [kgm]
T taglio [kg]
e eccentricità dello sforzo rispetto al baricentro [cm]
σ_p tensione di compressione massima nel pietrame in [kg/cmq]
Ms momento stabilizzante [kgm]
Mr momento ribaltante [kgm]
Cs coeff. di sicurezza allo scorrimento
Cr coeff. di sicurezza al ribaltamento

Nr.	Y	H	N	M	T	e	σ_p	Ms	Mr	Cs	Cr
1	0.00	184.00	--	--	--	0.00	--	0	0	--	0.00
2	0.09	194.10	--	--	--	0.48	--	341	1	--	468.12
3	0.17	204.21	--	--	--	0.93	--	744	3	--	215.36
4	0.26	214.31	--	--	--	1.35	--	1214	9	--	134.88
5	0.35	224.41	--	--	--	1.74	--	1752	18	--	96.46

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

6	0.44	234.52	--	--	--	2.10	--	2364	32	--	74.39
7	0.52	244.62	--	--	--	2.44	--	3052	51	--	60.27
8	0.61	254.73	--	--	--	2.75	--	3820	76	--	50.55
9	0.70	264.83	--	--	--	3.05	--	4672	107	--	43.50
10	0.79	274.93	--	--	--	3.32	--	5611	147	--	38.19
11	0.88	285.04	--	--	--	3.58	--	6640	195	--	34.06
12	0.96	295.14	--	--	--	3.81	--	7764	252	--	30.77
13	1.05	305.24	--	--	--	3.55	--	8937	318	--	28.13
14	1.14	315.35	--	--	--	2.41	--	10104	388	--	26.07
15	1.22	325.45	--	--	--	1.39	--	11351	459	--	24.71
16	1.31	335.55	--	--	--	0.51	--	12683	533	--	23.78
17	1.40	345.66	--	--	--	0.21	--	14111	609	--	23.17
18	1.49	355.76	--	--	--	0.71	--	15648	686	--	22.80
19	1.57	365.87	--	--	--	1.00	--	17300	766	--	22.59
20	1.66	375.97	--	--	--	1.12	--	19073	848	--	22.48

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 14

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W peso della striscia espresso in [kg]
α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b larghezza della striscia espressa in [m]
u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Metodo di Fellenius
Numero di cerchi analizzati 36
Numero di strisce 25

Cerchio critico
Coordinate del centro X[m]= -2.01 Y[m]= 1.76
Raggio del cerchio R[m]= 4.63
Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -5.04
Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 2.28
Larghezza della striscia dx[m]= 0.29
Coefficiente di sicurezza C= 6.92
Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	**W**	**α(°)**	**Wsinα**	**b/cosα**	**ϕ**	**c**	**u**
1	84.73	63.19	75.62	0.65	0.00	0.00	0.00
2	234.01	56.40	194.92	0.53	1.07	0.00	0.00
3	395.75	50.29	304.44	0.46	24.14	0.11	0.00
4	565.33	44.89	398.99	0.41	24.14	0.11	0.00
5	741.16	39.97	476.08	0.38	25.30	0.24	0.00
6	984.66	35.38	570.08	0.36	25.94	0.31	0.00
7	1186.86	31.04	611.96	0.34	25.94	0.31	0.00
8	1351.37	26.89	611.19	0.33	25.94	0.31	0.00
9	1447.95	22.89	563.19	0.32	25.94	0.31	0.00
10	1512.24	19.00	492.45	0.31	25.94	0.31	0.00
11	1564.99	15.21	410.55	0.30	25.94	0.31	0.00
12	1606.23	11.48	319.69	0.30	25.94	0.31	0.00

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

13	1636.05	7.80	222.06	0.30	25.94	0.31	0.00
14	1654.55	4.15	119.84	0.29	25.94	0.31	0.00
15	1549.56	0.52	14.15	0.29	25.94	0.31	0.00
16	1300.68	-3.11	-70.45	0.29	25.94	0.31	0.00
17	1041.61	-6.75	-122.35	0.29	25.94	0.31	0.00
18	791.30	-10.41	-143.04	0.30	25.94	0.31	0.00
19	714.96	-14.13	-174.50	0.30	25.94	0.31	0.00
20	653.44	-17.90	-200.85	0.31	25.94	0.31	0.00
21	576.14	-21.76	-213.57	0.32	25.94	0.31	0.00
22	481.84	-25.72	-209.12	0.32	25.94	0.31	0.00
23	368.91	-29.82	-183.47	0.34	25.94	0.31	0.00
24	235.06	-34.10	-131.79	0.35	25.94	0.31	0.00
25	77.14	-38.61	-48.14	0.37	25.85	0.30	0.00

ΣW_i= 22756.51 [kg]
$\Sigma W_i \sin\alpha_i$= 3887.93 [kg]
$\Sigma W_i \cos\alpha_i \tan\phi_i$= 10128.62 [kg]
$\Sigma c_i b_i / \cos\alpha_i$= 21527.32 [kg]

Inviluppo sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni

L'ordinata Y(espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro
Le verifiche sono effettuate assumento una base della sezione B=100 cm

H	altezza della sezione espressa in [cm]
N	sforzo normale [kg]
M	momento flettente [kgm]
T	taglio [kg]
e	eccentricità dello sforzo rispetto al baricentro [cm]
σ_p	tensione di compressione massima nel pietrame in [kg/cmq]
Ms	momento stabilizzante [kgm]
Mr	momento ribaltante [kgm]
Cs	coeff. di sicurezza allo scorrimento
Cr	coeff. di sicurezza al ribaltamento

Inviluppo combinazioni SLU

Nr.	Y	H	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0.00	184.00	0	0	0	0	0	0
2	0.09	194.10	349	453	-3	-2	4	18
3	0.17	204.21	719	934	-11	-7	15	47
4	0.26	214.31	1110	1443	-24	-15	34	85
5	0.35	224.41	1522	1979	-42	-27	61	133
6	0.44	234.52	1956	2543	-66	-41	96	190
7	0.52	244.62	2411	3135	-95	-59	138	258
8	0.61	254.73	2887	3754	-129	-80	188	335
9	0.70	264.83	3385	4401	-169	-104	245	423
10	0.79	274.93	3904	5075	-214	-130	310	520
11	0.88	285.04	4444	5777	-264	-160	383	626
12	0.96	295.14	5005	6506	-319	-192	463	743
13	1.05	305.24	5570	7242	-350	-199	511	821
14	1.14	315.35	6120	7956	-314	-148	512	845
15	1.22	325.45	6685	8691	-275	-94	512	867
16	1.31	335.55	7267	9449	-237	-37	512	891
17	1.40	345.66	7869	10231	-205	18	514	918
18	1.49	355.76	8493	11041	-186	80	522	952
19	1.57	365.87	9140	11882	-183	142	537	994
20	1.66	375.97	9809	12753	-198	203	557	1045
21	1.75	386.07	10482	13653	-228	256	583	1103

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Inviluppo combinazioni SLU

Nr.	Y	H	e	σ_p	Ms	Mr	Cs	Cr
1	0.00	184.00	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00
2	0.09	194.10	0.76	0.02	341	1	223.53	463.72
3	0.17	204.21	1.47	0.05	746	4	98.17	212.01
4	0.26	214.31	2.13	0.07	1216	9	59.72	132.20
5	0.35	224.41	2.76	0.09	1757	19	41.88	94.23
6	0.44	234.52	3.35	0.12	2372	33	31.85	72.50
7	0.52	244.62	3.91	0.14	3064	52	25.55	58.62
8	0.61	254.73	4.43	0.16	3837	78	21.26	49.09
9	0.70	264.83	4.93	0.18	4695	111	18.19	42.20
10	0.79	274.93	5.41	0.20	5640	152	15.89	37.01
11	0.88	285.04	5.86	0.22	6678	202	14.12	32.98
12	0.96	295.14	6.28	0.24	7810	262	12.71	29.77
13	1.05	305.24	6.18	0.26	8991	331	12.23	27.19
14	1.14	315.35	5.05	0.27	10159	403	12.59	25.18
15	1.22	325.45	4.06	0.28	11408	478	12.95	23.85
16	1.31	335.55	3.23	0.29	12743	555	13.29	22.95
17	1.40	345.66	2.59	0.31	14173	634	13.58	22.36
18	1.49	355.76	2.35	0.32	15713	714	13.77	22.00
19	1.57	365.87	2.32	0.33	17371	797	13.84	21.80
20	1.66	375.97	2.44	0.35	19150	882	13.82	21.71

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo
Il sottoscritto , in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta
L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.
Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:
- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale
- Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 14/01/2008.
La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	MAX - Analisi e Calcolo Muri di Sostegno
Versione	10.20
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	Idro.Geo.Ingegneria S.r.l.
Licenza	AIU5055W7

Affidabilità dei codici di calcolo
Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati
La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione
Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati
I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

Comune di Bonassola Prot. n. 6910 del 23-10-2017 in partenza

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Luogo e data

_____

Il progettista
( )

_____