

REGIONE MOLISE



COMUNE DI ISERNIA



RICOSTRUZIONE DI UN TRATTO DI MURA URBICHE DI VIA OCCIDENTALE NELL'AMBITO DELL'INTERVENTO GENERALE DI VALORIZZAZIONE DELLE EMERGENZE ARCHEOLOGICHE DELLA CATTEDRALE DI ISERNIA

PROGETTO ESECUTIVO

SECONDO INDICAZIONI DELLA SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGICA DEL MOLISE
(Nota Prot. 0006406-P del 10/07/2019)

Progettazione:

Ing. Gianluca MORIA
Arch. Franco DI SALVO

Consulenza Archeologica:

Dott. Archeologo. Francesco GIANCOLA

Consulenza Geologica:

Dott. Geol. Aldo SUCCI

Coordinamento della Sicurezza:

Ing. Gianluca MORIA
Arch. Franco DI SALVO

Il Responsabile del Procedimento Unico:

Ing. Roberto Potena

Titolo Elaborato:

TABULATO DI CALCOLO OPERE GEOTECNICHE

TAVOLA:

6.3

Scala Disegno:

DATA :

AGOSTO 2019

Relazione di calcolo

Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

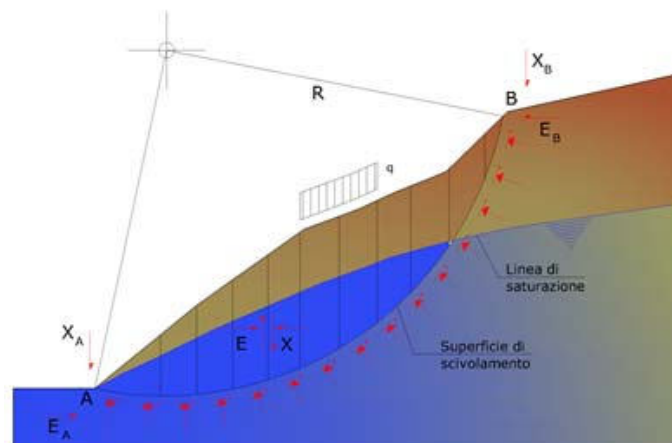
Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in concii considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei concii.



Metodo dei concii

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di concii. Se il numero dei concii è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;

- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- (n-1) forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- (n-1) forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- (n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F.

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n;
- equazioni relative al criterio di rottura n.

Totale numero di equazioni $4n$.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

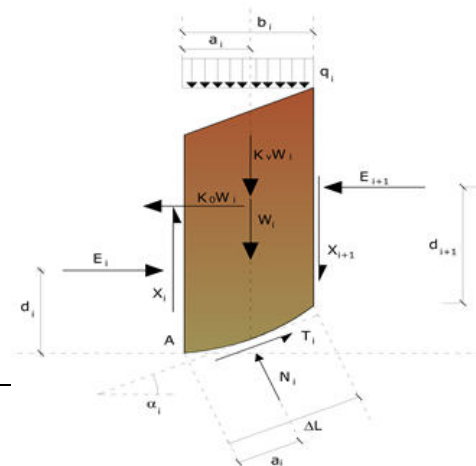
Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni.

Metodo di Fellenius (1927)

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

- n valori delle forze normali N_i ;
- n valori delle forze da taglio T_i ;



- 1 fattore di sicurezza.

Incognite (2n+1).

Le equazioni a disposizione sono:

- n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;
- n equazioni relative al criterio di rottura;
- equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \varphi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

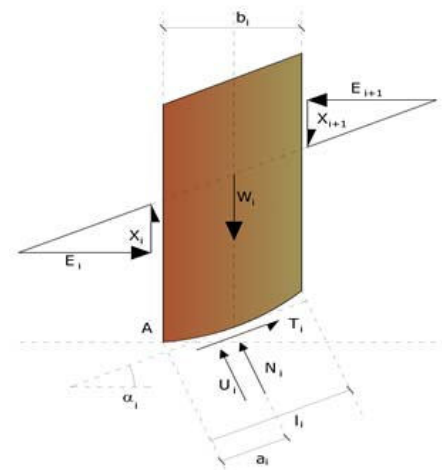
Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$



I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

$$F_{sm} = F_{sf}$$

Metodo di Morgenstern e Price (1965)

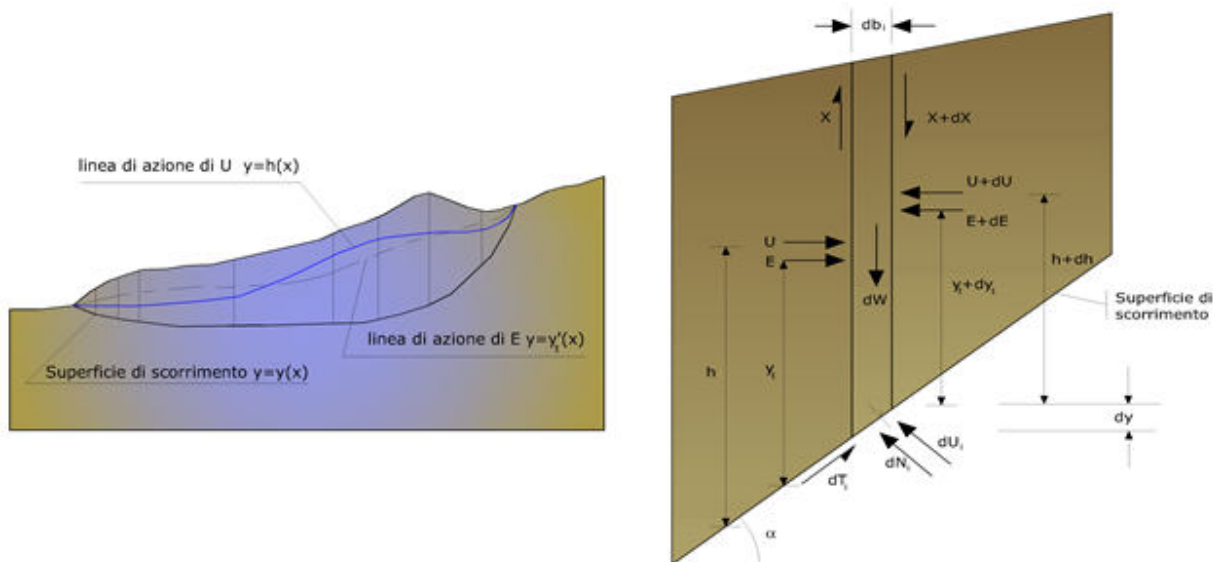
Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo $X = \lambda f(x)E$, dove λ è un fattore di scala e $f(x)$, funzione della posizione di E e di X , definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione $f(x)$ è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E , X , il coefficiente di sicurezza F_s , il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU .

Si ottiene la cosiddetta “**equazione delle forze**”:

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \varphi' \left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$

$$= \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$



Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Morgenster e Price e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Una seconda equazione, detta “**equazione dei momenti**”, viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria della base:

$$X = \frac{d(E_\gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

.

Valutazione dell'azione sismica

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$
$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- **F_H** e **F_V** rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- **W** peso concio;
- **K_x** coefficiente sismico orizzontale;
- **K_y** coefficiente sismico verticale.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

.

.

Ancoraggi

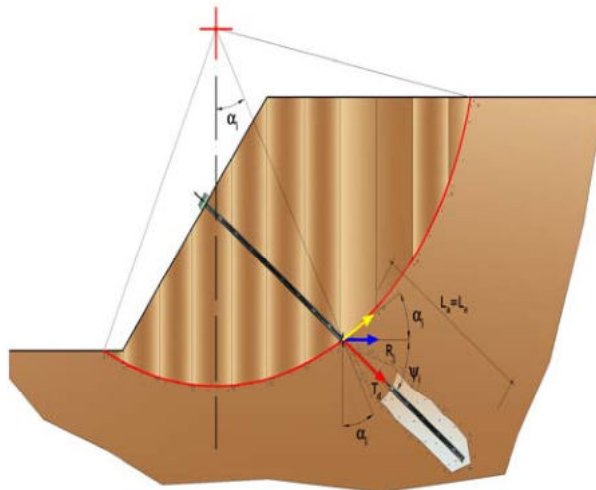
Gli ancoraggi, tiranti o chiodi, sono degli elementi strutturali in grado di sostenere forze di trazione in virtù di un'adeguata connessione al terreno.

Gli elementi caratterizzanti un tirante sono:

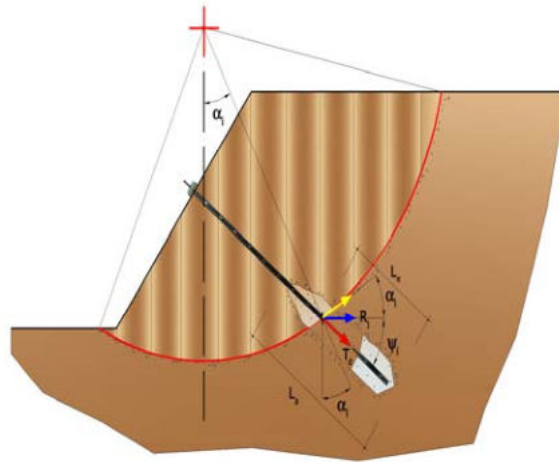
- **testata:** indica l'insieme degli elementi che hanno la funzione di trasmettere alla struttura ancorata la forza di trazione del tirante;
- **fondazione:** indica la parte del tirante che realizza la connessione con il terreno, trasmettendo al terreno stesso la forza di trazione del tirante.

Il tratto compreso tra la testata e la fondazione prende il nome di parte libera, mentre la fondazione (o bulbo) viene realizzata iniettando nel terreno, per un tratto terminale, tramite valvole a perdere, la malta, in genere cementizia. L'anima dell'ancoraggio è costituita da un'armatura, realizzata con barre, fili o trefoli.

Il tirante interviene nella stabilità in misura maggiore o minore efficacia a seconda se sarà totalmente o parzialmente (caso in cui è intercettato dalla superficie di scorrimento) ancorato alla parte stabile del terreno.



Bulbo completamente ancorato



Bulbo parzialmente ancorato

Le relazioni che esprimono la misura di sicurezza lungo una ipotetica superficie di scorrimento si modificheranno in presenza di ancoraggi (tirante attivo, passivo e chiodi) nel modo seguente:

- per i tiranti di *tipo attivo*, la loro resistenza si detrae dalle azioni (denominatore);

$$F_s = \frac{R_d}{E_d - \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}$$

- per tiranti di *tipo passivo* e per *i chiodi*, il loro contributo si somma alle resistenze (numeratore)

$$F_s = \frac{R_d + \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}{E_d}$$

Con R_j si indica la resistenza dell'ancoraggio e viene calcolata dalla seguente espressione:

$$R_j = T_d \cdot \cos \Psi_i \cdot \left(\frac{1}{i} \right) \cdot \left(\frac{L_e}{L_a} \right)$$

dove:

T_d tiro esercizio;

Ψ_i inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale;

i interasse;
Le lunghezza efficace;
La lunghezza d'ancoraggio.

I due indici (i, j) riportati in sommatoria rappresentano rispettivamente l'i-esimo concio e il j-esimo ancoraggio intercettato dalla superficie di scorrimento dell'i-esimo concio.

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Zona	Isernia
Lat./Long.	41,587102/14,224507
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	14,76 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	58,13 m
Ascissa vertice destro superiore xs	40,9 m
Ordinata vertice destro superiore ys	71,55 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie

Classe d'uso: Classe II

Vita nominale: 50,0 [anni]

Vita di riferimento: 50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

S.L.	TR	ag	F0	TC*
Stato limite	Tempo ritorno [anni]	[m/s ²]	[-]	[sec]
S.L.O.	30,0	0,71	2,38	0,28
S.L.D.	50,0	0,9	2,37	0,29
S.L.V.	475,0	2,59	2,34	0,36
S.L.C.	975,0	3,43	2,37	0,38

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Classe II

S.L.	amax	beta	kh	kv
Stato limite	[m/s ²]	[-]	[-]	[sec]
S.L.O.	0,852	1,0	0,0869	0,0434
S.L.D.	1,08	0,47	0,0518	0,0259
S.L.V.	2,9857	0,38	0,1157	0,0579
S.L.C.	3,6646	1,0	0,3737	0,1869

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,116

Coefficiente azione sismica verticale 0,058

Vertici profilo

Nr	X	y
----	---	---

	(m)	(m)
1	10,0	49,6
2	30,07	49,6
3	30,07	51,6
4	32,0	51,6
5	34,5	54,1
6	36,5	54,1
7	39,0	57,0
8	50,0	57,0

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0

Favorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1,25

Coesione efficace 1,25

Coesione non drenata 1,4

Riduzione parametri geotecnici terreno Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.12	0	28	1900	2100	Unità A	

Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m³)
1	30,07	49,6	0,3	0,3	2	0,5	0,8	2200
2	0	0	0,3	0,3	2	0,5	0,8	2200

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm²)
1	30,16	51,62	32,06	51,61656	0,015
2	34,55	54,27	36,55	54,27	0,015
3	39,19	57,15	49,19	57,15	0,015

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1,16
Ascissa centro superficie	30,44 m
Ordinata centro superficie	64,84 m
Raggio superficie	15,39 m

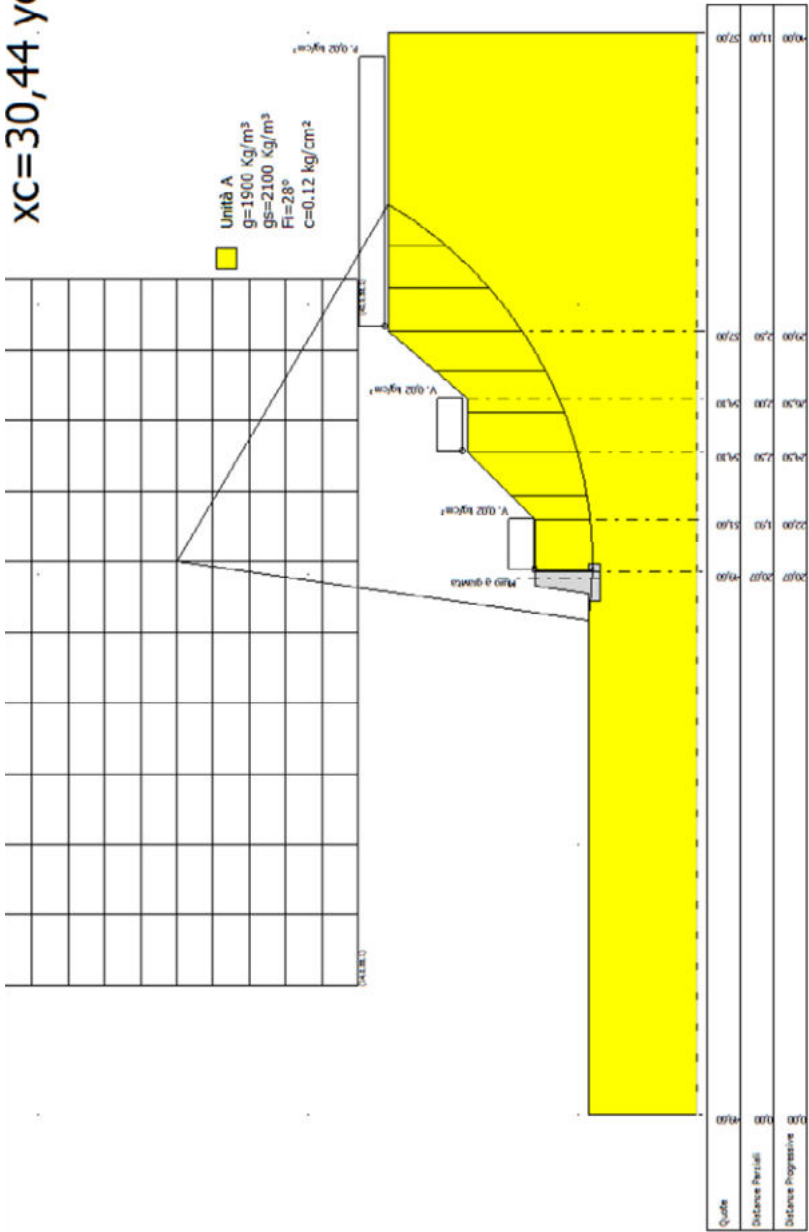
xc = 30,443 yc = 64,841 Rc = 15,393 Fs=1,158

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,86	-4,7	1,87	4460,71	517,44	258,72	0,1	23,0	0,0	4743,9	3291,6
2	1,88	2,3	1,88	7903,39	916,79	458,4	0,1	23,0	0,0	7732,3	4397,9
3	0,89	7,5	0,9	4186,15	485,59	242,8	0,1	23,0	0,0	3934,4	2191,4
4	1,61	12,2	1,65	10695,96	1240,73	620,37	0,1	23,0	0,0	9863,5	4989,5
5	1,48	18,2	1,55	11113,06	1289,12	644,56	0,1	23,0	0,0	10059,9	4985,4

SLOPE

6	1,54	24,2	1,69	10602,3	1229,87	614,93	0,1	23,0	0,0	9435,0	4869,8
7	1,48	30,6	1,72	12833,19	1488,65	744,33	0,1	23,0	0,0	11554,1	5672,5
8	1,6	37,5	2,02	13557,09	1572,62	786,31	0,1	23,0	0,0	12327,5	6207,4
9	1,54	45,4	2,2	9009,06	1045,05	522,53	0,1	23,0	0,0	8001,5	4762,2
10	1,54	54,4	2,65	3664,71	425,11	212,55	0,1	23,0	0,0	2130,1	2982,1

XC=30,44 YC=64,84



Il muro di sostegno esistente in materiale lapideo a gravità è stata verificata agli stati limite, accertando che la condizione [6.2.1] sia soddisfatta per ogni stato limite considerato, in conformità della normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica di cui al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 gennaio 2018 pubblicato nel Supplemento Ordinario della G.U. 20.2.2018, n. 42:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- scorrimento sul piano di posa;
- collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
- ribaltamento;
- stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;

SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno è stata effettuata, analogamente a quanto previsto al § 6.8, secondo l'Approccio 1, con la Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

Le rimanenti verifiche sono state effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I.

I coefficienti parziali di combinazione per le azioni/resistenze, fondazioni e pali sono riportati nelle immagini di seguito allegate.

Coefficienti parziali e di combinazione

NORMATIVA:

☐ D.M. 1988 + D.M. 1996 Tens. Amm ☐ N.T.C. 2008 - Approccio 2

☐ D.M. 1988 + D.M. 1996 Stato Limite ☒ N.T.C. 2018

☐ N.T.C. 2008 - Approccio 1

Azioni/Resistenze | Fondazione (N.T.C.) | Pali (N.T.C.) | Tiranti

Coeficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

Carichi	Effetto		HYD	Combinazioni statiche			Combinazioni sismiche		
				EQU	A1	A2	EQU	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,10	1,30	1,30	1,00	1,00	1,00	
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,50	1,50	1,30	1,00	1,00	

Coeficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro		Combinazioni statiche		Combinazioni sismiche	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan(\phi')}$	1,00	1,25	1,00	1,00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25	1,00	1,00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40	1,00	1,00
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1,00	1,00	1,00	1,00

Imposta coefficienti | Accetta | Annulla | Help

Normativa di riferimento e coefficienti utilizzati

Opzioni sisma

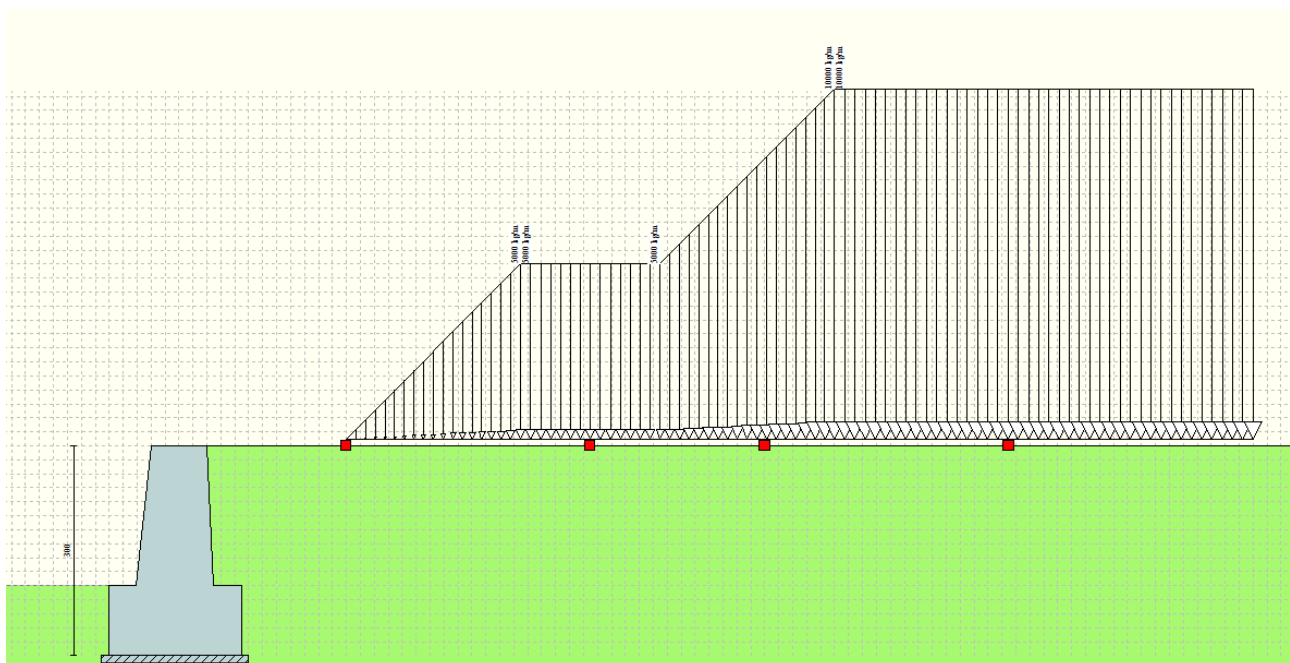
D.M. 1996

Coefficiente di intensità sismica [%]

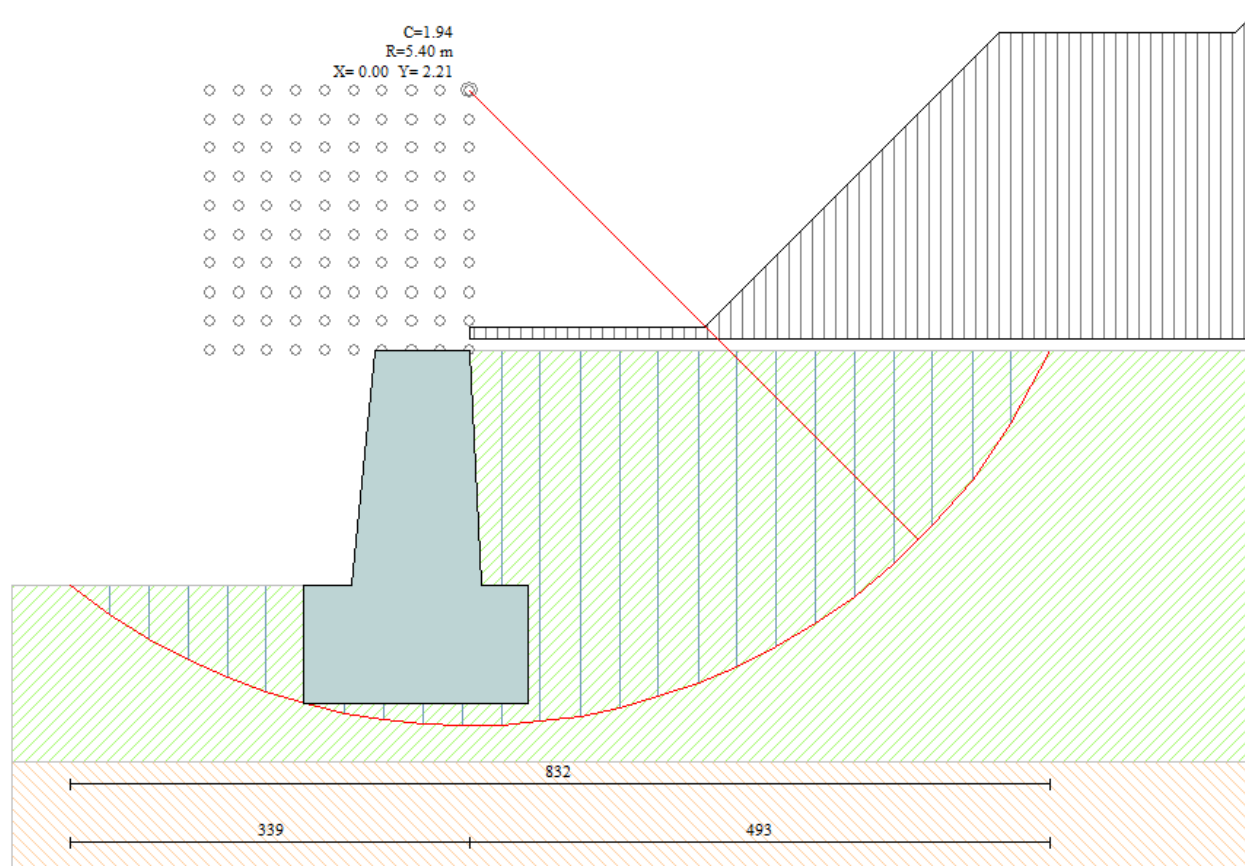
N.T.C. 2008 - NTC 2018

	SLU	SLE
Accelerazione al suolo a_g [m/s ²]	2,568	0,896
Accelerazione al suolo a_g [% di g]	0,26	0,09
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2,351	2,375
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante T_c^*	0,362	0,293
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico S_s	Tipo B <input type="text" value="1,154"/>	<input type="text" value="1,200"/>
Coefficiente di riduzione (β_m)	C <input type="text" value="0,310"/>	<input type="text" value="0,180"/>
Coefficiente amplificazione topografica S_T	T1 <input type="text" value="1,00"/>	
$K_h = a_g/g * S_s * S_t * \beta_m$		
Coeff. di intensità sismica orizzontale K_h [%]	9,36	1,97
Intensità sismica Verticale/Orizzontale	<input type="text" value="0,50"/>	
Forma diagramma incremento sismico <input checked="" type="radio"/> Rettangolare <input type="radio"/> Stessa forma diagramma statico		
<< Importa parametri sismici >>		Dettagli >>
<input type="button" value="Accetta"/> <input type="button" value="Annulla"/> <input type="button" value="Help"/>		

Azione sismica considerata



Distribuzione dei carichi sul profilo



Stabilità globale combinazione 6, coefficiente di sicurezza minimo pari a 1,94

Dettagli coefficienti di sicurezza globali e spinte

Comb.	Tipo comb.	Sisma	FS (ribalt)	FS (scorr)	FS (qult)	FS (stab)	Spinta[kg]	Incr. sism.[kg]
1	A1-M1 - [1]	--	--	2,88	8,91	--	1441,61	0,00
2	EQU - [1]	--	20,49	--	--	--	1441,61	0,00
3	STAB - [1]	--	--	--	--	1,98	1733,71	0,00
4	A1-M1 - [2]	--	--	2,68	8,78	--	1570,11	0,00
5	EQU - [2]	--	17,94	--	--	--	1570,11	0,00
6	STAB - [2]	--	--	--	--	1,94	1864,58	0,00
7	A1-M1 - [3]	SismaH + SismaV positivo	--	1,70	8,59	--	622,52	933,87
8	A1-M1 - [3]	SismaH + SismaV negativo	--	1,78	9,60	--	622,52	652,08
9	EQU - [3]	SismaH + SismaV positivo	2,86	--	--	--	622,52	1660,80
10	EQU - [3]	SismaH + SismaV negativo	2,57	--	--	--	622,52	1221,30
11	STAB - [3]	SismaH + SismaV positivo	--	--	--	2,02	622,52	933,87
12	STAB - [3]	SismaH + SismaV negativo	--	--	--	2,07	622,52	652,08
13	A1-M1 - [4]	SismaH + SismaV positivo	--	1,70	8,59	--	622,52	933,87
14	SLEQ - [1]	--	--	6,58	8,88	--	622,52	0,00
15	SLEF - [1]	--	--	6,47	8,86	--	634,11	0,00
16	SLER - [1]	--	--	6,03	8,77	--	683,82	0,00

Quadro sintetico dei coefficienti di sicurezza

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.
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)

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 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 valori 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.

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 $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$ 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

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

Terreno a permeabilità elevata

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

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

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

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

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

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 può impostare $\eta_r \geq 1.0$.

Deve quindi essere verificata la seguente disuguaglianza

$$\frac{M_s}{M_r} \geq \eta_r$$

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 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 risulta 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 $\eta_s \geq 1.0$.

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

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_f la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \tan \delta_f + c_a B_f$$

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 per cento.

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:

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_q \geq 1.0$.

Terzaghi ha proposto la seguente espressione per il calcolo della capacità portante di una fondazione superficiale.

$$q_u = c N_{cs} + q N_q + 0.5 B \gamma N_{\gamma s}$$

La simbologia adottata è la seguente:

c	coesione del terreno in fondazione;
ϕ	angolo di attrito del terreno in fondazione;
γ	peso di volume del terreno in fondazione;
B	larghezza della fondazione;
D	profondità del piano di posa;
q	pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I fattori di capacità portante sono espressi dalle seguenti relazioni:

$$N_q = \frac{e^{2(0.75\pi - \phi/2)\text{tg}(\phi)}}{2\cos^2(45 + \phi/2)}$$

$$N_c = (N_q - 1)\text{ctg}\phi$$

$$N_\gamma = \frac{\text{tg}\phi}{2} \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\phi} - 1 \right)$$

I fattori di forma s_c e s_γ che compaiono nella espressione di q_u dipendono dalla forma della fondazione. In particolare valgono 1 per fondazioni nastriformi o rettangolari allungate e valgono rispettivamente 1.3 e 0.8 per fondazioni quadrate.

termine $K_{p\gamma}$ che compare nell'espressione di N_γ non ha un'espressione analitica. Pertanto si assume per N_γ l'espressione proposta da Meyerof

$$N_\gamma = (N_q - 1)\text{tg}(1.4*\phi)$$

Verifica alla stabilità globale

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

Eseguito il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_g \geq 1.0$

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.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \text{tg}\phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin\alpha_i}$$

dove il termine m è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\text{tg}\phi_i \text{tg}\alpha_i}{\eta} \right) \cos\alpha_i$$

In questa espressione 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} , c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di η . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di m ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Normativa

N.T.C. 2018

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:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>EQU</i>	<i>HYD</i>
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00	1,00	0,90
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00	1,30	1,10
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30	1,50	1,50

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>		<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M2</i>	<i>M1</i>
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:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>EQU</i>	<i>HYD</i>
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00	1,00	0,90
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00	1,00	1,10
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:

<i>Parametri</i>		<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M2</i>	<i>M1</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,00	1,00	1,00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,00	1,00	1,00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,00	1,00	1,00
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,00	1,00	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

	<i>Coefficienti parziali</i>		
	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	2,00 [m]
Spessore in sommità	0,80 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,12 [m]
Inclinazione paramento esterno	6,00 [°]
Inclinazione paramento interno	3,00 [°]
Lunghezza del muro	15,00 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0,40 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0,40 [m]
Lunghezza totale fondazione	1,92 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [°]
Spessore fondazione	1,00 [m]
Spessore magrone	0,10 [m]

Materiali utilizzati per la struttura

Pietrame

Peso specifico	2200,0 [kg/mc]
Tensione ammissibile a compressione σ_c	30,0 [kg/cm ²]
Angolo di attrito interno ϕ_p	45,00 [°]
Resistenza a taglio τ_p	0,1 [kg/cm ²]

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	2,00	0,00	0,00
2	5,50	0,00	0,00
3	8,00	0,00	0,00
4	11,50	0,00	0,00
5	20,00	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/cm ²]
c_a	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm ²]

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a
Terreno 1	1800	2000	23.00	15.33	0,120	0,060
Terreno 2	2000	2100	30.00	20.00	0,000	0,000

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	3,50	0,00	2,20	0,00	Terreno 1
2	10,00	0,00	0,00	0,00	Terreno 2

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

X	Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
F_x	Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kg]
F_y	Componente verticale del carico concentrato espressa in [kg]
M	Momento espresso in [kgm]
X_i	Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
X_f	Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
Q_i	Intensità del carico per $x=X_i$ espressa in [kg/m]
Q_f	Intensità del carico per $x=X_f$ espressa in [kg/m]
D/C	Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

Condizione n° 1 (Condizione 1)

D	Profilo	$X_i=0,00$	$X_f=9,00$	$Q_i=150,00$	$Q_f=150,00$
---	---------	------------	------------	--------------	--------------

Condizione n° 2 (Condizione 2)

D	Profilo	$X_i=2,00$	$X_f=4,50$	$Q_i=0,00$	$Q_f=5000,00$
D	Profilo	$X_i=4,50$	$X_f=6,50$	$Q_i=5000,00$	$Q_f=5000,00$
D	Profilo	$X_i=6,50$	$X_f=9,00$	$Q_i=5000,00$	$Q_f=10000,00$
D	Profilo	$X_i=9,00$	$X_f=15,00$	$Q_i=10000,00$	$Q_f=10000,00$

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	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1,30	1,00	1,30

Combinazione n° 2 - Caso EQU (SLU)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1,30	1,00	1,30

Combinazione n° 3 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1,30	1,00	1,30
Condizione 1	SFAV	1,50	1,00	1,50

Combinazione n° 5 - Caso EQU (SLU)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1,30	1,00	1,30
Condizione 1	SFAV	1,50	1,00	1,50

Combinazione n° 6 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1,00	1,00	1,00

Condizione 1	SFAV	1.30	1.00	1.30
--------------	------	------	------	------

Combinazione n° 7 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1.00	1.00	1.00

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

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 9 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 10 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1.00	1.00	1.00

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

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 12 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 13 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 - Quasi Permanente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 15 - Frequente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1.00	1.00	1.00
Condizione 1	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 16 - Rara (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
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
Condizione 2	SFAV	1.00	1.00	1.00
Condizione 1	SFAV	1.00	1.00	1.00

Impostazioni di analisi

Calcolo della portanza metodo di Terzaghi

Coefficiente correttivo su N_y per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1,00

Coefficiente correttivo su N_y per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1,00

Impostazioni avanzate

Diagramma correttivo per eccentricità negativa con aliquota di parzializzazione pari a 0.00

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

<i>C</i>	Identificativo della combinazione
<i>Tipo</i>	Tipo combinazione
<i>Sisma</i>	Combinazione sismica
<i>CS_{sco}</i>	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
<i>CS_{rib}</i>	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
<i>CS_{qlim}</i>	Coeff. di sicurezza a carico limite
<i>CS_{stab}</i>	Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	CS _{sco}	CS _{rib}	CS _{qlim}	CS _{stab}
1	A1-M1 - [1]	--	2,88	--	8,91	--
2	EQU - [1]	--	--	20,49	--	--
3	STAB - [1]	--	--	--	--	1,98
4	A1-M1 - [2]	--	2,68	--	8,78	--
5	EQU - [2]	--	--	17,94	--	--
6	STAB - [2]	--	--	--	--	1,94
7	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	1,70	--	8,59	--
8	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	1,78	--	9,60	--
9	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2,86	--	--
10	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2,57	--	--
11	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	2,02
12	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	2,07
13	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	1,70	--	8,59	--
14	SLEQ - [1]	--	6,58	--	8,88	--
15	SLEF - [1]	--	6,47	--	8,86	--
16	SLER - [1]	--	6,03	--	8,77	--

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
Calcolo del carico limite
Calcolo della stabilità globale
Calcolo della spinta in condizioni di

metodo di Culmann
metodo di Terzaghi
metodo di Bishop
Spinta attiva

Sisma

Combinazioni SLU

Accelerazione al suolo a_g	2.57 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.15
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	0.31
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (per cento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 9.36$
Coefficiente di intensità sismica verticale (per cento)	$k_v=0.50 * k_h = 4.68$

Combinazioni SLE

Accelerazione al suolo a_g	0.90 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	0.18
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (per cento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 1.97$
Coefficiente di intensità sismica verticale (per cento)	$k_v=0.50 * k_h = 0.99$

Forma diagramma incremento sismico

Rettangolare

Partecipazione spinta passiva (percento)

0,0

Lunghezza del muro

15,00 [m]

Peso muro

8426,11 [kg]

Baricentro del muro

X=-0,44 Y=-1,78

Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta

X = 0,50 Y = -3,00

Punto superiore superficie di spinta

X = 0,50 Y = 0,00

Altezza della superficie di spinta

3,00 [m]

Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale)

0,00 [°]

COMBINAZIONE n° 1**Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole**

Valore della spinta statica

1441,61 [kg]

Componente orizzontale della spinta statica

1390,29 [kg]

Componente verticale della spinta statica

381,21 [kg]

Punto d'applicazione della spinta

X = 0,50 Y = -2,59 [m]

Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie

15,33 [°]

Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche

46,00 [°]

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte

1628,67 [kg]

Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte

X = 0,28 Y = -0,96 [m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale

1390,29 [kg]

Risultante dei carichi applicati in dir. verticale

10435,98 [kg]

Sforzo normale sul piano di posa della fondazione

10435,98 [kg]

Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione

1390,29 [kg]

Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione

-0,10 [m]

Lunghezza fondazione reagente

1,92 [m]

Risultante in fondazione

10528,18 [kg]

Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)

7,59 [°]

Momento rispetto al baricentro della fondazione

-1090,75 [kgm]

Carico ultimo della fondazione

93026,09 [kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente

1,92 [m]

Tensione terreno allo spigolo di valle

0,3665 [kg/cm²]

Tensione terreno allo spigolo di monte

0,7234 [kg/cm²]Fattori per il calcolo della capacità portante**Coeff. capacità portante** $N_c = 21.75$ $N_q = 10.23$ $N_\gamma = 5.81$ **Fattori forma** $s_c = 1,00$ $s_q = 1,00$ $s_\gamma = 1,00$ I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio. $N'_c = 21.75$ $N'_q = 10.23$ $N'_\gamma = 5.81$ COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento

2.88

Coefficiente di sicurezza a carico ultimo

8.91

Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioniCombinazione n° 1

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/cm²]

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	80,00	0	0	0	--	0,00	--	--	0,00	--
2	0,10	81,58	178	0	0	--	0,02	--	--	99,90	--
3	0,20	83,15	359	-1	0	--	0,04	--	--	99,90	--
4	0,30	84,73	544	-2	0	--	0,07	--	--	99,90	--
5	0,40	86,30	732	-4	0	--	0,09	--	--	99,90	--
6	0,50	87,88	923	-6	0	--	0,11	--	--	99,90	--
7	0,60	89,45	1118	-9	0	--	0,13	--	--	99,90	--
8	0,70	91,03	1317	-12	0	--	0,15	--	--	99,90	--
9	0,80	92,60	1519	-16	0	--	0,17	--	--	99,90	--
10	0,90	94,18	1724	-20	0	--	0,20	--	--	99,90	--
11	1,00	95,75	1933	-25	0	--	0,22	--	--	99,90	--
12	1,10	97,33	2145	-30	0	--	0,24	--	--	99,90	--
13	1,20	98,90	2361	-36	0	--	0,26	--	--	99,90	--
14	1,30	100,48	2580	-43	0	--	0,28	--	--	99,90	--
15	1,40	102,05	2803	-50	0	--	0,30	--	--	20849,69	--
16	1,50	103,63	3029	-58	3	--	0,32	--	--	1330,24	--
17	1,60	105,20	3258	-65	13	--	0,35	--	--	329,90	--
18	1,70	106,78	3491	-72	32	--	0,36	--	--	142,31	--
19	1,80	108,35	3728	-77	60	--	0,38	--	--	80,16	--
20	1,90	109,93	3968	-79	97	--	0,40	--	--	52,22	--
21	2,00	111,50	4211	-78	142	--	0,42	--	--	37,60	--

COMBINAZIONE n° 2

Valore della spinta statica	1441,61	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	1390,29	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	381,21	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,50	[m]	Y = -2,59	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	15,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	46,00	[°]		

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	1628,67	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,28	[m]	Y = -0,96	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	1390,29	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	10435,98	[kg]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	568,59	[kgm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	11651,92	[kgm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	10435,98	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	1390,29	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,10	[m]
Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Risultante in fondazione	10528,18	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	7,59	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-1090,75	[kgm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	20.49
--	-------

Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni**Combinazione n° 2**

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	80,00	--	--	--	0,00	--	0	0	--	0,00
2	0,10	81,58	--	--	--	0,13	--	73	0	--	99,90
3	0,20	83,15	--	--	--	0,26	--	150	0	--	99,90
4	0,30	84,73	--	--	--	0,39	--	232	0	--	99,90
5	0,40	86,30	--	--	--	0,52	--	320	0	--	99,90
6	0,50	87,88	--	--	--	0,65	--	412	0	--	99,90
7	0,60	89,45	--	--	--	0,78	--	509	0	--	99,90

8	0,70	91,03	--	--	--	0,91	--	611	0	--	99,90
9	0,80	92,60	--	--	--	1,04	--	719	0	--	99,90
10	0,90	94,18	--	--	--	1,16	--	832	0	--	99,90
11	1,00	95,75	--	--	--	1,29	--	950	0	--	99,90
12	1,10	97,33	--	--	--	1,41	--	1074	0	--	99,90
13	1,20	98,90	--	--	--	1,54	--	1204	0	--	99,90
14	1,30	100,48	--	--	--	1,66	--	1339	0	--	99,90
15	1,40	102,05	--	--	--	1,78	--	1480	0	--	99,90
16	1,50	103,63	--	--	--	1,90	--	1628	0	--	13452,33
17	1,60	105,20	--	--	--	2,00	--	1784	1	--	2089,15
18	1,70	106,78	--	--	--	2,06	--	1949	3	--	642,52
19	1,80	108,35	--	--	--	2,07	--	2124	8	--	280,88
20	1,90	109,93	--	--	--	2,00	--	2308	15	--	150,46
21	2,00	111,50	--	--	--	1,86	--	2501	27	--	91,85

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 3

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]
 C_{tn}, C_{tt} contributo tiranti espresso in [kg]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= 0,00 Y[m]= 2,21

Raggio del cerchio R[m]= 5,40

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -3,39

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 4,93

Larghezza della striscia dx[m]= 0,33

Coefficiente di sicurezza C= 1.98

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W \sin \alpha$	$b / \cos \alpha$	ϕ	c	u	C _{tn}	C _{tt}
1	1848,71	61.60	1626,15	0,70	18.76	0,10	0,00	---	---
2	2122,11	55.34	1745,43	0,59	18.76	0,10	0,00	---	---
3	2171,08	49.50	1651,01	0,51	18.76	0,10	0,00	---	---
4	2163,60	44.31	1511,40	0,47	18.76	0,10	0,00	---	---
5	2121,70	39.55	1350,95	0,43	18.76	0,10	0,00	---	---
6	2052,52	35.10	1180,07	0,41	18.76	0,10	0,00	---	---
7	1960,61	30.88	1006,13	0,39	18.76	0,10	0,00	---	---
8	1849,09	26.83	834,72	0,37	18.76	0,10	0,00	---	---
9	1724,36	22.93	671,95	0,36	18.76	0,10	0,00	---	---
10	1729,40	19.14	567,15	0,35	18.76	0,10	0,00	---	---
11	1791,56	15.44	476,95	0,35	18.76	0,10	0,00	---	---
12	1839,93	11.80	376,26	0,34	18.76	0,10	0,00	---	---
13	1875,15	8.21	267,72	0,34	18.76	0,10	0,00	---	---
14	1991,29	4.65	161,40	0,33	18.76	0,10	0,00	---	---
15	2132,48	1.11	41,23	0,33	18.76	0,10	0,00	---	---
16	2304,82	-2.43	-97,69	0,33	18.76	0,10	0,00	---	---
17	2290,15	-5.98	-238,41	0,33	18.76	0,10	0,00	---	---
18	1578,12	-9.55	-261,69	0,34	18.76	0,10	0,00	---	---
19	758,28	-13.15	-172,54	0,34	18.76	0,10	0,00	---	---
20	578,34	-16.81	-167,30	0,35	18.76	0,10	0,00	---	---
21	504,18	-20.55	-176,97	0,36	18.76	0,10	0,00	---	---
22	421,62	-24.38	-174,02	0,37	18.76	0,10	0,00	---	---
23	322,68	-28.33	-153,11	0,38	18.76	0,10	0,00	---	---
24	205,58	-32.43	-110,24	0,39	18.76	0,10	0,00	---	---
25	67,83	-36.73	-40,56	0,42	18.76	0,10	0,00	---	---

$\Sigma W_i = 38405,17$ [kg]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 11875,99$ [kg]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 13041,62$ [kg]

$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 2.03$

COMBINAZIONE n° 4

Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica	1570,11	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	1514,22	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	415,19	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,50	[m]	Y = -2,56	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	15,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	46,25	[°]		

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	1742,25	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,28	[m]	Y = -0,96	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	1514,22	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	10583,55	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	10583,55	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	1514,22	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,10	[m]
Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Risultante in fondazione	10691,32	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	8,14	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-1111,11	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	92975,21	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,3709	[kg/cm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,7344	[kg/cm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 21.75$	$N_q = 10.23$	$N_\gamma = 5.81$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 21.75$	$N'_q = 10.23$	$N'_\gamma = 5.81$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	2.68
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	8.78

Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni**Combinazione n° 4**

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/cm ²]
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	80,00	0	0	0	--	0,00	--	--	0,00	--
2	0,10	81,58	178	0	0	--	0,02	--	--	99,90	--
3	0,20	83,15	359	-1	0	--	0,04	--	--	99,90	--
4	0,30	84,73	544	-2	0	--	0,07	--	--	99,90	--
5	0,40	86,30	732	-4	0	--	0,09	--	--	99,90	--
6	0,50	87,88	923	-6	0	--	0,11	--	--	99,90	--
7	0,60	89,45	1118	-9	0	--	0,13	--	--	99,90	--
8	0,70	91,03	1317	-12	0	--	0,15	--	--	99,90	--
9	0,80	92,60	1519	-16	0	--	0,17	--	--	99,90	--
10	0,90	94,18	1724	-20	0	--	0,20	--	--	99,90	--
11	1,00	95,75	1933	-25	0	--	0,22	--	--	99,90	--
12	1,10	97,33	2145	-30	0	--	0,24	--	--	99,90	--
13	1,20	98,90	2361	-36	0	--	0,26	--	--	99,90	--
14	1,30	100,48	2580	-43	0	--	0,28	--	--	54947,14	--
15	1,40	102,05	2803	-50	3	--	0,30	--	--	1411,57	--
16	1,50	103,63	3029	-57	13	--	0,32	--	--	324,55	--
17	1,60	105,20	3258	-63	31	--	0,34	--	--	137,95	--
18	1,70	106,78	3491	-68	59	--	0,36	--	--	77,30	--
19	1,80	108,35	3728	-70	96	--	0,38	--	--	50,25	--
20	1,90	109,93	3968	-68	142	--	0,39	--	--	35,80	--
21	2,00	111,50	4211	-62	195	--	0,41	--	--	27,33	--

COMBINAZIONE n° 5

Valore della spinta statica	1570,11	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	1514,22	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	415,19	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,50	[m]	Y = -2,56	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	15,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	46,25	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	1742,25	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,28	[m]	Y = -0,96	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	1514,22	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	10583,55	[kg]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	663,72	[kgm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	11908,70	[kgm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	10583,55	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	1514,22	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,10	[m]
Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Risultante in fondazione	10691,32	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	8,14	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-1111,11	[kgm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	17.94
--	-------

Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni

Combinazione n° 5

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/cm ²]
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	80,00	--	--	--	0,00	--	0	0	--	0,00
2	0,10	81,58	--	--	--	0,13	--	73	0	--	99,90
3	0,20	83,15	--	--	--	0,26	--	150	0	--	99,90
4	0,30	84,73	--	--	--	0,39	--	232	0	--	99,90
5	0,40	86,30	--	--	--	0,52	--	320	0	--	99,90
6	0,50	87,88	--	--	--	0,65	--	412	0	--	99,90
7	0,60	89,45	--	--	--	0,78	--	509	0	--	99,90
8	0,70	91,03	--	--	--	0,91	--	611	0	--	99,90
9	0,80	92,60	--	--	--	1,04	--	719	0	--	99,90
10	0,90	94,18	--	--	--	1,16	--	832	0	--	99,90
11	1,00	95,75	--	--	--	1,29	--	950	0	--	99,90
12	1,10	97,33	--	--	--	1,41	--	1074	0	--	99,90
13	1,20	98,90	--	--	--	1,54	--	1204	0	--	99,90
14	1,30	100,48	--	--	--	1,66	--	1339	0	--	99,90
15	1,40	102,05	--	--	--	1,78	--	1481	0	--	14997,31
16	1,50	103,63	--	--	--	1,88	--	1631	1	--	2067,02
17	1,60	105,20	--	--	--	1,94	--	1790	3	--	616,71
18	1,70	106,78	--	--	--	1,94	--	1958	7	--	266,84
19	1,80	108,35	--	--	--	1,87	--	2136	15	--	142,39
20	1,90	109,93	--	--	--	1,71	--	2323	27	--	86,72
21	2,00	111,50	--	--	--	1,47	--	2519	44	--	57,83

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 6

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]
Ctn, Ctt	contributo tiranti espresso in [kg]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= 0,00 Y[m]= 2,21

Raggio del cerchio R[m]= 5,40

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -3,39

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 4,93

Larghezza della striscia dx[m]= 0,33

Coefficiente di sicurezza C= 1.94

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	Wsin α	b/cos α	ϕ	c	u	Ctn	Ctt
1	1913,62	61.60	1683,25	0,70	18.76	0,10	0,00	---	---
2	2187,01	55.34	1798,82	0,59	18.76	0,10	0,00	---	---
3	2235,98	49.50	1700,37	0,51	18.76	0,10	0,00	---	---
4	2228,51	44.31	1556,74	0,47	18.76	0,10	0,00	---	---
5	2186,61	39.55	1392,28	0,43	18.76	0,10	0,00	---	---
6	2117,43	35.10	1217,39	0,41	18.76	0,10	0,00	---	---
7	2025,52	30.88	1039,44	0,39	18.76	0,10	0,00	---	---
8	1914,00	26.83	864,02	0,37	18.76	0,10	0,00	---	---
9	1789,26	22.93	697,24	0,36	18.76	0,10	0,00	---	---
10	1794,31	19.14	588,44	0,35	18.76	0,10	0,00	---	---
11	1856,47	15.44	494,23	0,35	18.76	0,10	0,00	---	---
12	1904,84	11.80	389,53	0,34	18.76	0,10	0,00	---	---
13	1940,06	8.21	276,99	0,34	18.76	0,10	0,00	---	---
14	2056,20	4.65	166,66	0,33	18.76	0,10	0,00	---	---
15	2185,27	1.11	42,25	0,33	18.76	0,10	0,00	---	---
16	2304,82	-2.43	-97,69	0,33	18.76	0,10	0,00	---	---
17	2290,15	-5.98	-238,41	0,33	18.76	0,10	0,00	---	---
18	1578,12	-9.55	-261,69	0,34	18.76	0,10	0,00	---	---
19	758,28	-13.15	-172,54	0,34	18.76	0,10	0,00	---	---
20	578,34	-16.81	-167,30	0,35	18.76	0,10	0,00	---	---
21	504,18	-20.55	-176,97	0,36	18.76	0,10	0,00	---	---
22	421,62	-24.38	-174,02	0,37	18.76	0,10	0,00	---	---
23	322,68	-28.33	-153,11	0,38	18.76	0,10	0,00	---	---
24	205,58	-32.43	-110,24	0,39	18.76	0,10	0,00	---	---
25	67,83	-36.73	-40,56	0,42	18.76	0,10	0,00	---	---

$\Sigma W_i = 39366,67$ [kg]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 12315,11$ [kg]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 13368,13$ [kg]

$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 2.03$

COMBINAZIONE n° 7

Valore della spinta statica	622,52	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	600,36	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	164,61	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,50	[m]	Y = -2,71	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	15,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,25	[°]		
Incremento sismico della spinta	933,87	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,50	[m]	Y = -1,50	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	40,12	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	1628,67	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,28	[m]	Y = -0,96	[m]
Inerzia del muro	788,91	[kg]		
Inerzia verticale del muro	394,46	[kg]		

Inerzia del terrapieno fondazione di monte	152,49	[kg]
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	76,24	[kg]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	2442,38	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	10937,03	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	10937,03	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	2442,38	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,10	[m]
Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Risultante in fondazione	11206,42	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	12,59	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	1048,51	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	93969,51	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,7427	[kg/cm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,3996	[kg/cm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 21.75$	$N_q = 10.23$	$N_\gamma = 5.81$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 21.75$	$N'_q = 10.23$	$N'_\gamma = 5.81$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.70
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	8.59

Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni

Combinazione n° 7

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/cm ²]
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	80,00	0	0	0	--	0,00	--	--	0,00	--
2	0,10	81,58	178	1	20	--	0,02	--	--	49,67	--
3	0,20	83,15	359	3	40	--	0,05	--	--	29,52	--
4	0,30	84,73	544	7	61	--	0,07	--	--	22,81	--
5	0,40	86,30	732	12	82	--	0,09	--	--	19,46	--
6	0,50	87,88	923	19	103	--	0,12	--	--	17,45	--
7	0,60	89,45	1118	28	125	--	0,15	--	--	16,12	--
8	0,70	91,03	1317	38	147	--	0,17	--	--	15,17	--
9	0,80	92,60	1519	51	169	--	0,20	--	--	14,46	--
10	0,90	94,18	1724	64	192	--	0,23	--	--	13,91	--
11	1,00	95,75	1933	80	215	--	0,25	--	--	13,47	--
12	1,10	97,33	2145	97	238	--	0,28	--	--	13,11	--
13	1,20	98,90	2361	116	261	--	0,31	--	--	12,82	--
14	1,30	100,48	2580	137	285	--	0,34	--	--	12,57	--
15	1,40	102,05	2803	159	309	--	0,37	--	--	12,36	--
16	1,50	103,63	3029	184	334	--	0,39	--	--	12,17	--
17	1,60	105,20	3258	210	359	--	0,42	--	--	12,01	--
18	1,70	106,78	3491	238	384	--	0,45	--	--	11,87	--
19	1,80	108,35	3728	268	410	--	0,48	--	--	11,75	--
20	1,90	109,93	3968	300	436	--	0,51	--	--	11,61	--
21	2,00	111,50	4211	335	467	--	0,54	--	--	11,41	--

COMBINAZIONE n° 8

Valore della spinta statica	622,52	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	600,36	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	164,61	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,50	[m]	Y = -2,71	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	15,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,25	[°]		
Incremento sismico della spinta	652,08	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,50	[m]	Y = -1,50	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	40,31	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	1628,67	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,28	[m]	Y = -0,96	[m]
Inerzia del muro	788,91	[kg]		
Inerzia verticale del muro	-394,46	[kg]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	152,49	[kg]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	-76,24	[kg]		

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	2170,63	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	9921,12	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	9921,12	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	2170,63	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,08	[m]
Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Risultante in fondazione	10155,80	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	12,34	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	833,41	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	95263,40	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,6544	[kg/cm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,3817	[kg/cm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 21.75$	$N_q = 10.23$	$N_\gamma = 5.81$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 21.75$	$N'_q = 10.23$	$N'_\gamma = 5.81$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.78
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	9.60

Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni

Combinazione n° 8

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/cm ²]
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	80,00	0	0	0	--	0,00	--	--	0,00	--
2	0,10	81,58	178	1	18	--	0,02	--	--	55,58	--
3	0,20	83,15	359	3	36	--	0,05	--	--	33,00	--
4	0,30	84,73	544	6	55	--	0,07	--	--	25,48	--
5	0,40	86,30	732	11	73	--	0,09	--	--	21,71	--
6	0,50	87,88	923	17	93	--	0,12	--	--	19,46	--

7	0,60	89,45	1118	24	112	--	0,14	--	--	17,96	--
8	0,70	91,03	1317	33	132	--	0,17	--	--	16,88	--
9	0,80	92,60	1519	44	152	--	0,19	--	--	16,08	--
10	0,90	94,18	1724	56	173	--	0,22	--	--	15,45	--
11	1,00	95,75	1933	69	193	--	0,25	--	--	14,95	--
12	1,10	97,33	2145	84	214	--	0,27	--	--	14,54	--
13	1,20	98,90	2361	101	236	--	0,30	--	--	14,20	--
14	1,30	100,48	2580	119	258	--	0,33	--	--	13,92	--
15	1,40	102,05	2803	138	280	--	0,35	--	--	13,67	--
16	1,50	103,63	3029	160	302	--	0,38	--	--	13,46	--
17	1,60	105,20	3258	183	325	--	0,41	--	--	13,27	--
18	1,70	106,78	3491	207	348	--	0,44	--	--	13,11	--
19	1,80	108,35	3728	234	371	--	0,46	--	--	12,96	--
20	1,90	109,93	3968	262	396	--	0,49	--	--	12,80	--
21	2,00	111,50	4211	292	424	--	0,52	--	--	12,55	--

COMBINAZIONE n° 9

Valore della spinta statica	622,52	[kg]			
Componente orizzontale della spinta statica	600,36	[kg]			
Componente verticale della spinta statica	164,61	[kg]			
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,50	[m]	Y = -2,71	[m]	
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	15,33	[°]			
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,25	[°]			
Incremento sismico della spinta	1660,80	[kg]			
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,50	[m]	Y = -1,50	[m]	
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	36,44	[°]			
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	1628,67	[kg]			
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,28	[m]	Y = -0,96	[m]	
Inerzia del muro	1183,37	[kg]			
Inerzia verticale del muro	591,68	[kg]			
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	228,73	[kg]			
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	114,37	[kg]			

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	3614,14	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	11364,61	[kg]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	4486,78	[kgm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	12845,10	[kgm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	11364,61	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	3614,14	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,22	[m]
Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Risultante in fondazione	11925,45	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	17,64	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	2523,43	[kgm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.86
--	------

Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni**Combinazione n° 9**

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	80,00	--	--	--	0,00	--	0	0	--	0,00
2	0,10	81,58	--	--	--	0,74	--	74	2	--	47,82
3	0,20	83,15	--	--	--	1,48	--	154	6	--	24,55
4	0,30	84,73	--	--	--	2,21	--	238	14	--	16,79

5	0,40	86,30	--	--	--	2,93	--	327	25	--	12,92
6	0,50	87,88	--	--	--	3,65	--	421	40	--	10,59
7	0,60	89,45	--	--	--	4,36	--	520	57	--	9,04
8	0,70	91,03	--	--	--	5,06	--	624	79	--	7,94
9	0,80	92,60	--	--	--	5,76	--	734	103	--	7,11
10	0,90	94,18	--	--	--	6,45	--	849	131	--	6,47
11	1,00	95,75	--	--	--	7,14	--	969	163	--	5,95
12	1,10	97,33	--	--	--	7,82	--	1096	198	--	5,53
13	1,20	98,90	--	--	--	8,50	--	1227	237	--	5,18
14	1,30	100,48	--	--	--	9,17	--	1365	279	--	4,89
15	1,40	102,05	--	--	--	9,83	--	1509	326	--	4,63
16	1,50	103,63	--	--	--	10,49	--	1658	376	--	4,41
17	1,60	105,20	--	--	--	11,15	--	1813	429	--	4,22
18	1,70	106,78	--	--	--	11,80	--	1975	487	--	4,05
19	1,80	108,35	--	--	--	12,45	--	2143	549	--	3,91
20	1,90	109,93	--	--	--	13,09	--	2317	614	--	3,77
21	2,00	111,50	--	--	--	13,74	--	2499	684	--	3,65

COMBINAZIONE n° 10

Valore della spinta statica	622,52	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	600,36	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	164,61	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,50	[m]	Y = -2,71	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	15,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,25	[°]		
Incremento sismico della spinta	1221,30	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,50	[m]	Y = -1,50	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	36,25	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	1628,67	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,28	[m]	Y = -0,96	[m]
Inerzia del muro	1183,37	[kg]		
Inerzia verticale del muro	-591,68	[kg]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	228,73	[kg]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	-114,37	[kg]		

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	3190,28	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	9836,29	[kg]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	4617,93	[kgm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	11855,60	[kgm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	9836,29	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	3190,28	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,22	[m]
Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Risultante in fondazione	10340,72	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	17,97	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	2180,70	[kgm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.57
--	------

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/cm ²]
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	80,00	--	--	--	0,00	--	0	0	--	0,00
2	0,10	81,58	--	--	--	0,63	--	73	1	--	53,99

3	0,20	83,15	--	--	--	1,26	--	151	5	--	27,70
4	0,30	84,73	--	--	--	1,88	--	234	12	--	18,94
5	0,40	86,30	--	--	--	2,50	--	322	22	--	14,56
6	0,50	87,88	--	--	--	3,11	--	415	35	--	11,93
7	0,60	89,45	--	--	--	3,72	--	513	50	--	10,18
8	0,70	91,03	--	--	--	4,33	--	616	69	--	8,93
9	0,80	92,60	--	--	--	4,93	--	724	91	--	8,00
10	0,90	94,18	--	--	--	5,52	--	838	115	--	7,27
11	1,00	95,75	--	--	--	6,12	--	957	143	--	6,69
12	1,10	97,33	--	--	--	6,71	--	1082	174	--	6,21
13	1,20	98,90	--	--	--	7,29	--	1212	208	--	5,82
14	1,30	100,48	--	--	--	7,87	--	1349	246	--	5,48
15	1,40	102,05	--	--	--	8,45	--	1490	287	--	5,20
16	1,50	103,63	--	--	--	9,03	--	1638	331	--	4,95
17	1,60	105,20	--	--	--	9,60	--	1792	379	--	4,73
18	1,70	106,78	--	--	--	10,17	--	1952	430	--	4,54
19	1,80	108,35	--	--	--	10,73	--	2118	485	--	4,37
20	1,90	109,93	--	--	--	11,30	--	2291	543	--	4,22
21	2,00	111,50	--	--	--	11,86	--	2471	605	--	4,08

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 11

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]
Ctn, Ctt	contributo tiranti espresso in [kg]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= 0,00 Y[m]= 2,21

Raggio del cerchio R[m]= 5,40

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -3,39

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 4,93

Larghezza della striscia dx[m]= 0,33

Coefficiente di sicurezza C= 2.02

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	Wsin α	b/cos α	ϕ	c	u	Ctn	Ctt
1	1848,71	61.60	1626,15	0,70	23.00	0,12	0,00	---	---
2	2122,11	55.34	1745,43	0,59	23.00	0,12	0,00	---	---
3	2171,08	49.50	1651,01	0,51	23.00	0,12	0,00	---	---
4	2163,60	44.31	1511,40	0,47	23.00	0,12	0,00	---	---
5	2121,70	39.55	1350,95	0,43	23.00	0,12	0,00	---	---
6	2052,52	35.10	1180,07	0,41	23.00	0,12	0,00	---	---
7	1960,61	30.88	1006,13	0,39	23.00	0,12	0,00	---	---
8	1849,09	26.83	834,72	0,37	23.00	0,12	0,00	---	---
9	1724,36	22.93	671,95	0,36	23.00	0,12	0,00	---	---
10	1729,40	19.14	567,15	0,35	23.00	0,12	0,00	---	---
11	1791,56	15.44	476,95	0,35	23.00	0,12	0,00	---	---
12	1839,93	11.80	376,26	0,34	23.00	0,12	0,00	---	---
13	1875,15	8.21	267,72	0,34	23.00	0,12	0,00	---	---
14	1991,29	4.65	161,40	0,33	23.00	0,12	0,00	---	---
15	2132,48	1.11	41,23	0,33	23.00	0,12	0,00	---	---
16	2304,82	-2.43	-97,69	0,33	23.00	0,12	0,00	---	---
17	2290,15	-5.98	-238,41	0,33	23.00	0,12	0,00	---	---
18	1578,12	-9.55	-261,69	0,34	23.00	0,12	0,00	---	---
19	758,28	-13.15	-172,54	0,34	23.00	0,12	0,00	---	---
20	578,34	-16.81	-167,30	0,35	23.00	0,12	0,00	---	---
21	504,18	-20.55	-176,97	0,36	23.00	0,12	0,00	---	---
22	421,62	-24.38	-174,02	0,37	23.00	0,12	0,00	---	---
23	322,68	-28.33	-153,11	0,38	23.00	0,12	0,00	---	---
24	205,58	-32.43	-110,24	0,39	23.00	0,12	0,00	---	---
25	67,83	-36.73	-40,56	0,42	23.00	0,12	0,00	---	---

$\Sigma W_i = 38405,17$ [kg]
 $\Sigma W_i \sin \alpha_i = 11875,99$ [kg]
 $\Sigma W_i \tan \phi_i = 16302,03$ [kg]
 $\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 2.54$

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 12

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]
Ctn, Ctt contributo tiranti espresso in [kg]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= 0,00 Y[m]= 2,21

Raggio del cerchio R[m]= 5,40

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -3,39

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 4,93

Larghezza della striscia dx[m]= 0,33

Coefficiente di sicurezza C= 2.07

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	α (°)	Wsin α	b/cos α	ϕ	c	u	Ctn	Ctt
1	1848,71	61.60	1626,15	0,70	23.00	0,12	0,00	---	---
2	2122,11	55.34	1745,43	0,59	23.00	0,12	0,00	---	---
3	2171,08	49.50	1651,01	0,51	23.00	0,12	0,00	---	---
4	2163,60	44.31	1511,40	0,47	23.00	0,12	0,00	---	---
5	2121,70	39.55	1350,95	0,43	23.00	0,12	0,00	---	---
6	2052,52	35.10	1180,07	0,41	23.00	0,12	0,00	---	---
7	1960,61	30.88	1006,13	0,39	23.00	0,12	0,00	---	---
8	1849,09	26.83	834,72	0,37	23.00	0,12	0,00	---	---
9	1724,36	22.93	671,95	0,36	23.00	0,12	0,00	---	---
10	1729,40	19.14	567,15	0,35	23.00	0,12	0,00	---	---
11	1791,56	15.44	476,95	0,35	23.00	0,12	0,00	---	---
12	1839,93	11.80	376,26	0,34	23.00	0,12	0,00	---	---
13	1875,15	8.21	267,72	0,34	23.00	0,12	0,00	---	---
14	1991,29	4.65	161,40	0,33	23.00	0,12	0,00	---	---
15	2132,48	1.11	41,23	0,33	23.00	0,12	0,00	---	---
16	2304,82	-2.43	-97,69	0,33	23.00	0,12	0,00	---	---
17	2290,15	-5.98	-238,41	0,33	23.00	0,12	0,00	---	---
18	1578,12	-9.55	-261,69	0,34	23.00	0,12	0,00	---	---
19	758,28	-13.15	-172,54	0,34	23.00	0,12	0,00	---	---
20	578,34	-16.81	-167,30	0,35	23.00	0,12	0,00	---	---
21	504,18	-20.55	-176,97	0,36	23.00	0,12	0,00	---	---
22	421,62	-24.38	-174,02	0,37	23.00	0,12	0,00	---	---
23	322,68	-28.33	-153,11	0,38	23.00	0,12	0,00	---	---
24	205,58	-32.43	-110,24	0,39	23.00	0,12	0,00	---	---
25	67,83	-36.73	-40,56	0,42	23.00	0,12	0,00	---	---

$\Sigma W_i = 38405,17$ [kg]
 $\Sigma W_i \sin \alpha_i = 11875,99$ [kg]
 $\Sigma W_i \tan \phi_i = 16302,03$ [kg]
 $\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 2.54$

COMBINAZIONE n° 13

Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica	622,52	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	600,36	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	164,61	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,50	[m]	Y = -2,71	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	15,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,25	[°]		

Incremento sismico della spinta	933,87	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,50	[m]	Y = -1,50	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	40,12	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	1628,67	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,28	[m]	Y = -0,96	[m]
Inerzia del muro	788,91	[kg]		
Inerzia verticale del muro	394,46	[kg]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	152,49	[kg]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	76,24	[kg]		

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	2442,38	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	10937,03	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	10937,03	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	2442,38	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,10	[m]
Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Risultante in fondazione	11206,42	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	12,59	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	1048,51	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	93969,51	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,7427	[kg/cm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,3996	[kg/cm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 21.75$	$N_q = 10.23$	$N_\gamma = 5.81$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 21.75$	$N'_q = 10.23$	$N'_\gamma = 5.81$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.70
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	8.59

Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni

Combinazione n° 13

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/cm ²]
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	80,00	0	0	0	--	0,00	--	--	0,00	--
2	0,10	81,58	178	1	20	--	0,02	--	--	49,67	--
3	0,20	83,15	359	3	40	--	0,05	--	--	29,52	--
4	0,30	84,73	544	7	61	--	0,07	--	--	22,81	--
5	0,40	86,30	732	12	82	--	0,09	--	--	19,46	--
6	0,50	87,88	923	19	103	--	0,12	--	--	17,45	--
7	0,60	89,45	1118	28	125	--	0,15	--	--	16,12	--
8	0,70	91,03	1317	38	147	--	0,17	--	--	15,17	--
9	0,80	92,60	1519	51	169	--	0,20	--	--	14,46	--
10	0,90	94,18	1724	64	192	--	0,23	--	--	13,91	--
11	1,00	95,75	1933	80	215	--	0,25	--	--	13,47	--
12	1,10	97,33	2145	97	238	--	0,28	--	--	13,11	--
13	1,20	98,90	2361	116	261	--	0,31	--	--	12,82	--
14	1,30	100,48	2580	137	285	--	0,34	--	--	12,57	--
15	1,40	102,05	2803	159	309	--	0,37	--	--	12,36	--
16	1,50	103,63	3029	184	334	--	0,39	--	--	12,17	--

17	1,60	105,20	3258	210	359	--	0,42	--	--	12,01	--
18	1,70	106,78	3491	238	384	--	0,45	--	--	11,87	--
19	1,80	108,35	3728	268	410	--	0,48	--	--	11,75	--
20	1,90	109,93	3968	300	436	--	0,51	--	--	11,61	--
21	2,00	111,50	4211	335	467	--	0,54	--	--	11,41	--

COMBINAZIONE n° 14

Valore della spinta statica	622,52	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	600,36	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	164,61	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,50	[m]	Y = -2,71	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	15,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,25	[°]		

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	1628,67	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,28	[m]	Y = -0,96	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	600,36	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	10219,39	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	10219,39	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	600,36	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,13	[m]
Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Risultante in fondazione	10237,01	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	3,36	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-1280,76	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	90756,79	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,3241	[kg/cm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,7432	[kg/cm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 21.75$	$N_q = 10.23$	$N_\gamma = 5.81$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 21.75$	$N'_q = 10.23$	$N'_\gamma = 5.81$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	6.58
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	8.88

COMBINAZIONE n° 15

Valore della spinta statica	634,11	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	611,54	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	167,68	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,50	[m]	Y = -2,71	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	15,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,25	[°]		

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	1643,81	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,28	[m]	Y = -0,96	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	611,54	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	10237,60	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	10237,60	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	611,54	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,13	[m]
Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Risultante in fondazione	10255,85	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	3,42	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-1289,24	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	90690,80	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,3237	[kg/cm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,7455	[kg/cm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 21.75$	$N_q = 10.23$	$N_\gamma = 5.81$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 21.75$	$N'_q = 10.23$	$N'_\gamma = 5.81$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	6.47
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	8.86

COMBINAZIONE n° 16

Valore della spinta statica	683,82	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	659,48	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	180,83	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	$X = 0,50$	[m]	$Y = -2,69$	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	15,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,37	[°]		

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	1704,39	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	$X = 0,28$	[m]	$Y = -0,96$	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	659,48	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	10311,32	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	10311,32	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	659,48	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,13	[m]
Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Risultante in fondazione	10332,39	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	3,66	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-1320,65	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	90456,69	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1,92	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,3224	[kg/cm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,7545	[kg/cm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 21.75$	$N_q = 10.23$	$N_\gamma = 5.81$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 21.75$	$N'_q = 10.23$	$N'_\gamma = 5.81$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	6.03
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	8.77

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (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 17/01/2018.

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	14.00
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	ing. VORIA GIANLUCA
Licenza	AIU20283C

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.

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

Isernia 16/08/2019

Il progettista
(Ing. Gianluca Voria)
