PROVINCIA DI MATERA

CONSOLIDAMENTO E MESSA IN SICUREZZA DELLA SP 95 MONTALBANO JONICO E DELLA SP 73 SCANZANO MARE

PROGETTO ESECUTIVO

Committente:

PROVINCIA DI MATERA

Progettazione:

Ing. Nicola Montesano

Studio in via Med. D'Oro Sinisi n. 34
75025 Policoro (MT)

Cell. 339 5385472
Pec: nicola.montesano2@ingpec.eu

Elaborato:

Prog-95-04

Scala: //

Titolo:

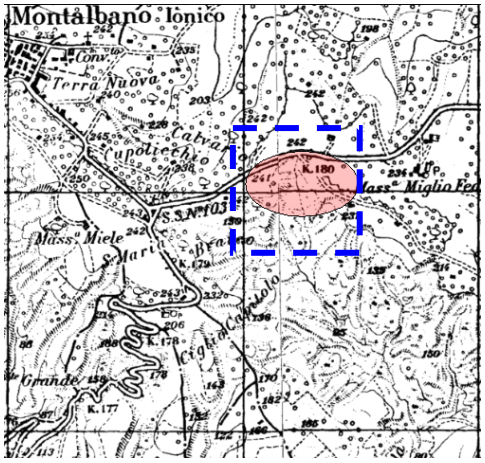
Progetto interventi su SP95:

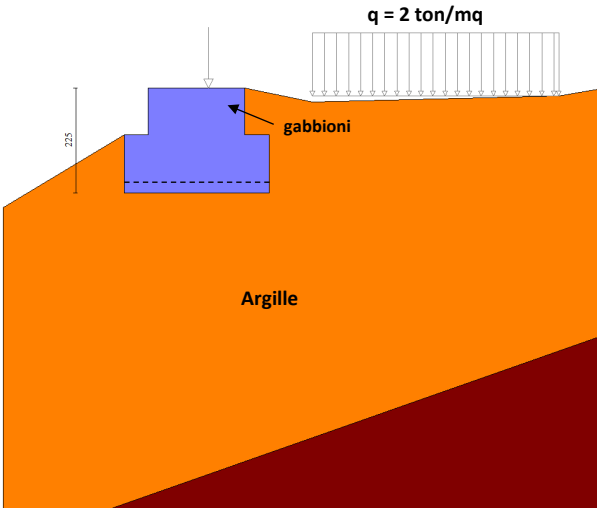
RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

Emissione:	00	Data:	Agosto 2021	Codice:	//
Revisione:	01	Data:	Marzo 2022	Codice:	//

Relazione di calcolo

La presente relazione è redatta allo scopo di illustrare il modello numerico, il metodo di analisi, ed i criteri di verifica adottati per la progettazione di un' **opera di sostegno in gabbioni** da realizzare immediatamente a valle della scarpata della **s.p.95** ubicata nel Comune di Montalbano Jonico (MT) (v. immagine in basso) nella parte topografica di valle della carreggiata stradale. Le verifiche geotecniche e strutturali dell'opera di cui in oggetto sono state condotte nel rispetto delle attuali Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 Gennaio 2018 (**NTC2018**). La classe d'uso considerata è la IIIª .
La natura del dissesto, la sua origine ed estensione è ampiamente descritta nella relazione geologica in allegato a cui si rimanda per maggiori approfondimenti.





(a) (b)

(a) Planimetria generale area oggetto di intervento (b) vista schematica intervento

Descrizione generale dell'intervento

I gabbioni da realizzare avranno uno sviluppo longitudinale di 35 m circa e saranno realizzati con materiale drenante inserito all'interno di reti metalliche, da disporre lungo due file verticali ciascuna di altezza 1.0 m (altezza totale opera 2.0 m). La prima fila di gabbioni (alla base) avrà larghezza pari a 3.0 m, mentre la seconda fila (in sommità) presenterà una rastremazione di 0.50 m per lato, e verrà disposta centralmente rispetto alla prima fila. La fondazione dei gabbioni verrà realizzata mediante una piastra in c.a.. In testa alla seconda fila di gabbioni è prevista la realizzazione di un cordolo in c.a. ad L, modellato nel presente lavoro come carico concentrato in testa alla seconda fila di gabbioni pari a 1050 kg (per metro lineare).

Materiali utilizzati:
fondazione → cls:C25/30; acciaio barre: B450C
gabbioni → pietrame: 90/180

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici in allegato.

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)

- Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018

Richiami teorici

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

Se il muro è in calcestruzzo armato: Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.
Se il muro è a gravità: 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 falda

Nel caso in cui a monte del muro sia presente la falda il diagramma delle pressioni sul muro risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

dove γ_{sat} è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e γ_w è il peso specifico dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

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

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta \qquad \beta' = \beta + \theta$$

dove θ = arctg(k_h/(1±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

$$\theta = \arctan\left(\frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w}\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \arctan\left(\frac{\gamma}{\gamma_{sat} - \gamma_w}\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

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

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

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

Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante M_r) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante M_s) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto M_s/M_r sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_r.
Deve quindi essere verificata la seguente diseguaglianza:

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

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 sisulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s

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

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

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

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

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normaledella 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:

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

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

$$q_u = cN_c s_c + qN_q + 0.5B\gamma N_{\gamma E} s_\gamma$$

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:

Fattori di capacità portante	$N_c = (N_q - 1)\cot g\,\varphi$	$N_q = \frac{a^2}{2\cos^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)}$ dove $e^{\left(0.75\pi - \frac{\varphi}{2}\right)\tan\varphi}$	$N_\gamma = \frac{\tan\varphi}{2}\left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\varphi} - 1\right)$	
Fattori di forma	$s_c = 1$ $s_c = 1.3$		$s_\gamma = 1$ $s_\gamma = 0.8$	per fondazioni nastriformi per fondazioni quadrate

Il 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 Meyerhof

$$N_\gamma = \left(N_q - 1\right)\tan\left(1.4\varphi\right)$$

$$N_{\gamma E} = N_\gamma e_{\gamma k} e_{\gamma i}$$

dove:
$e_{\gamma k}$ è un coeff. correttivo che tiene conto dell'effetto cinematico
$e_{\gamma i}$ è un coeff. correttivo che tiene conto dell'effetto inerziale

$e_{\gamma k} = \left(1 - \frac{K_{hk}}{\tan\varphi}\right)^{0.45}$	$e_{\gamma i} = \left(1 - 0.7\frac{K_{hi}}{\tan\varphi}\right)^{0.50}$

K_{hk} è il valore del coeff. di accelerazione sismica orizzontale del terreno
K_{hi} è il valore del coeff. di accelerazione sismica orizzontale della struttura

Riduzione per eccentricità del carico

Nel caso in cui il carico al piano di posa della fondazione risulta eccentrico, Bowles propone di moltiplicare la capacità portante ultima) per i termini B' ed L' (area ridotta della fondazione) al posto di B ed L
dove:

$$B' = B - 2.0\, e_x \qquad L' = L - 2.0\, e_y$$

essendo e_x ed e_y le eccentricità del carico.
La portanza espressa nell'unità di misura delle forze diventa:

$$P_u = q_u B' L'$$

Riduzione per effetto piastra

Per valori elevati di B (dimensione minore della fondazione), Bowles propone di utilizzare un fattore correttivo r_γ del solo termine sul peso di volume (0.5 B γ N_γ) quando B supera i 2 m.

$$r_\gamma = 1.0 + 0.25 \log \frac{B}{2.0}$$

Il termine sul peso di volume diventa:

$$0.5 B \gamma N_\gamma r_\gamma$$

Verifica alla stabilità globale

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

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.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 25.

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

$$\eta = \frac{\sum_{i=0}^{n} \left[\frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + (W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \tan \varphi_i \right]}{\sum_{i=0}^{n} W_i \sin \alpha_i}$$

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

Dati

Materiali

Simbologia adottata
n° Indice materiale
Descr Descrizione del materiale
Calcestruzzo armato
C Classe di resistenza del cls
A Classe di resistenza dell'acciaio
γ Peso specifico, espresso in [kg/mc]
R_{ck} Resistenza caratteristica a compressione, espressa in [kg/cmq]
E Modulo elastico, espresso in [kg/cmq]
ν Coeff. di Poisson
n Coeff. di omogenizzazione acciaio/cls
ntc Coeff. di omogenizzazione cls teso/compresso
Pietrame
γ Peso di volume, espresso in [kg/mc]
σ_{cp} Tensione di compressione, espresso in [kg/cmq]
ϕ Angolo di attrito interno, espresso in [°]
τ_p Resistenza a taglio, espressa in [kg/cmq]

Calcestruzzo armato

n°	Descr	C	A	γ	R_{ck}	E	ν	n	ntc
				[kg/mc]	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*			
1	Muro	C25/30	B450C	2500.00	305.91	320666	0.30	15.00	0.50

Acciai

Descr	f_{yk}	f_{uk}
	[kg/cmq]	*[kg/cmq]*
B450C	4588.00	5506.00

Pietrame

n°	Descr	γ	σ_{cp}	ϕ	τ_p
		[kg/mc]	*[kg/cmq]*	*[°]*	*[kg/cmq]*
4	Pietrame	2000.00	30.00	45.00	0.00

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata
(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
	[m]	*[m]*	*[°]*
1	0.00	0.00	0.000
2	1.40	-0.30	-12.095
3	6.50	-0.17	1.460
4	30.00	4.00	10.062

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 32.000 [°]

Geometria muro

Geometria paramento e fondazione

Lunghezza muro	35.00	[m]

Paramento

Materiale	Pietrame	
Altezza paramento	2.00	[m]
Altezza paramento libero	1.00	[m]

Geometria gradoni

Simbologia adottata

n°	indice gradone (a partire dall'alto)
Bs, Bi	Base superiore ed inferiore del gradone, espressa in [m]
H	altezza del gradone, espressa in [m]
Ae, Ai	inclinazione esterna ed interna del gradone espressa in [°]

n°	X	Bs	Bi	H	Ae	Ai
	[m]	*[m]*	*[m]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*
1	0.00	2.00	2.00	1.00	0.00	0.00
2	0.50	3.00	3.00	1.00	0.00	0.00

Fondazione

Materiale	Muro	
Lunghezza mensola di valle	0.00	[m]
Lunghezza mensola di monte	0.00	[m]
Lunghezza totale	3.00	[m]
Inclinazione piano di posa	0.00	[°]
Spessore	0.25	[m]
Spessore magrone	0.00	[m]

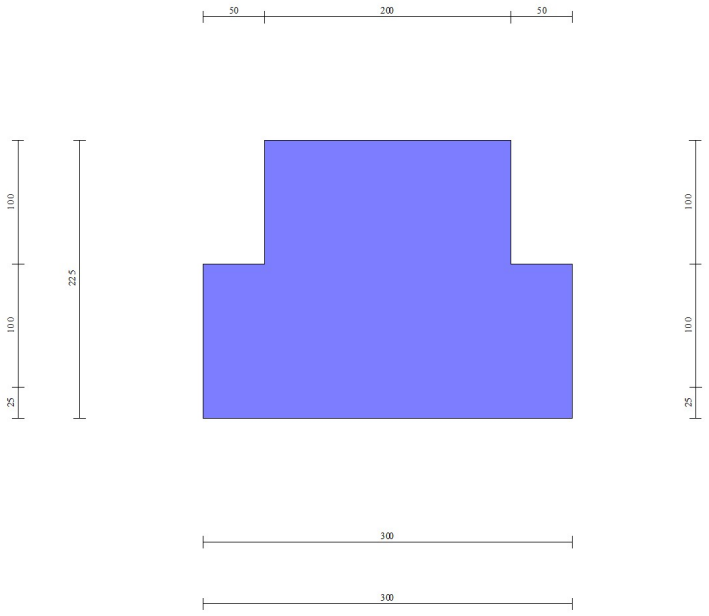


Fig. 1 - Sezione quotata del muro

Descrizione terreni

Parametri di resistenza

Simbologia adottata

n°	Indice del terreno
Descr	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cmq]
c_a	Adesione terra-muro espressa in [kg/cmq]
Per calcolo portanza con il metodo di Bustamante-Doix	
Cesp	Coeff. di espansione laterale (solo per il metodo di Bustamante-Doix)
τ_l	Tensione tangenziale limite, espressa in [kg/cmq]

n°	Descr	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	c	ca	Cesp	τ_l	
		[kg/mc]	*[kg/mc]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*		*[kg/cmq]*	
1	Sabbie con trovanti centi e decimetrici parzialmente consolidati	1850.00	1850.00	26.000	17.330	0.00	0.00	---	---	
2		1850.00	1850.00	28.000	18.667	0.00	0.00	---	---	
3	Terreno drenante	2000.00	2000.00	30.000	20.000	0.00	0.00	---	---	

Stratigrafia

Simbologia adottata

n° Indice dello strato
H Spessore dello strato espresso in [m]
α Inclinazione espressa in [°]
Terreno Terreno dello strato
Kwn, Kwt Costante di Winkler normale e tangenziale alla superficie espressa in Kg/cm²/cm
Per calcolo pali (solo se presenti)
Kw Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm²/cm
Ks Coefficiente di spinta
Cesp Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix)

Per calcolo della spinta con coeff. di spinta definiti (usati solo se attiva l'opzione 'Usa coeff. di spinta da strato')
Kst_{sta}, Kst_{sis} Coeff. di spinta statico e sismico

n°	H	α	Terreno	Kwn	Kwt	Kw	Ks	Cesp	Kst_{sta}	Kst_{sis}
	[m]	[°]		[Kg/cm³]	[Kg/cm³]	[Kg/cm³]				
1	8.00	20.000	Sabbie con trovanti centi e decimetrici parzialmente consolidati strato di alterazione	3.000	1.000	---	---	---	---	---
2	25.00	0.000	Sabbie con trovanti centi e decimetrici parzialmente consolidati	0.000	0.000	---	---	---	---	---

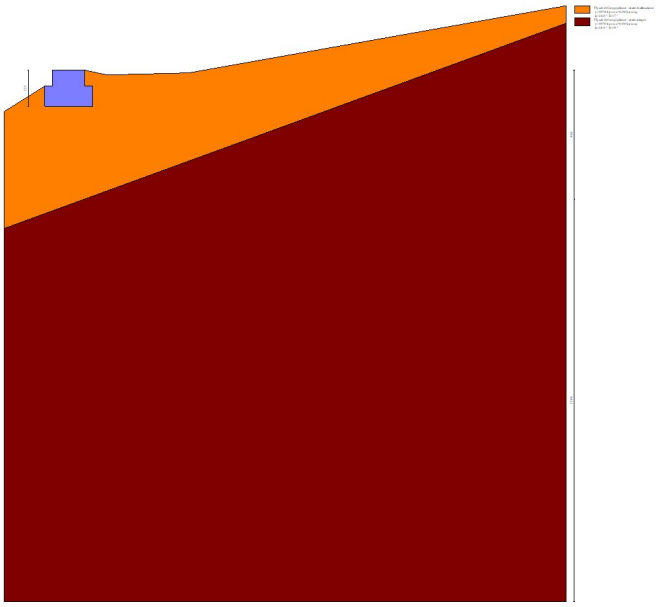


Fig. 2 - Stratigrafia

Condizioni di carico

Simbologia adottata

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]
Q_f	Intensità del carico per $x=X_f$ espressa in [kg]

Condizione n° 1 (traffico) - VARIABILE TF

Coeff. di combinazione $\Psi_0=0.75$ - $\Psi_1=0.75$ - $\Psi_2=0.00$

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	*[kg]*	*[kg]*	*[kgm]*	*[m]*	*[m]*	*[kg]*	*[kg]*
1	Distribuito					1.40	6.50	2000.00	2000.00

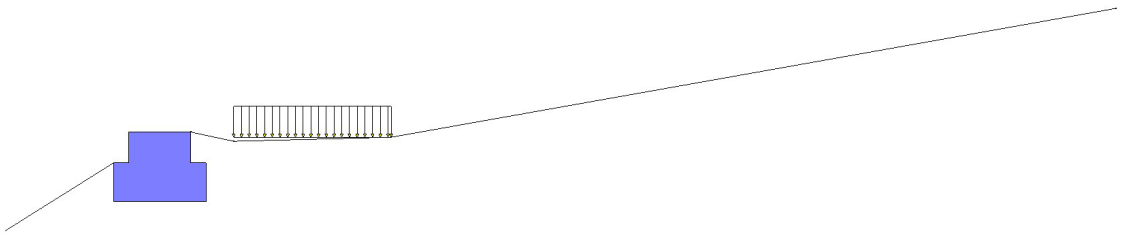


Fig. 3 - Carichi sul terreno

Condizione n° 2 (cordolo) - PERMANENTE

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	*[kg]*	*[kg]*	*[kgm]*	*[m]*	*[m]*	*[kg]*	*[kg]*
1	Concentrato	Paramento	-0.75; 0.00	0.00	1050.00	0.00				

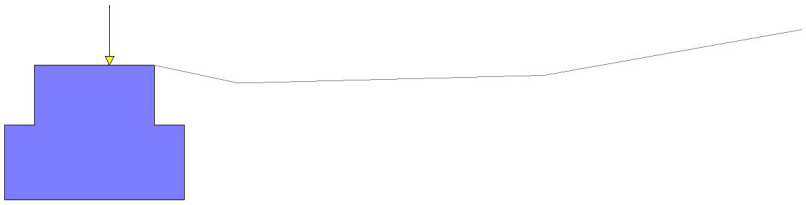


Fig. 4 - Carichi sul muro (cordolo in c.a.)

Normativa

Normativa usata: **Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 (D.M. 17.01.2018) + Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7**

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

Carichi	Effetto		Combinazioni statiche					Combinazioni sismiche		
			HYD	UPL	EQU	A1	A2	EQU	A1	A2
Permanenti strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G1,fav}$	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G1,sfav}$	1.00	1.10	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti non strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G2,fav}$	0.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00
Permanenti non strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G2,sfav}$	1.00	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevoli	$\gamma_{Q,fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevoli	$\gamma_{Q,sfav}$	1.00	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevoli	$\gamma_{QT,fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevoli	$\gamma_{QT,sfav}$	1.00	1.50	1.35	1.35	1.15	1.00	1.00	1.00

Coeff. 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 nell'unita di volume	γ_{γ}	1.00	1.00	1.00	1.00

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

Verifica	Combinazioni statiche			Combinazioni sismiche		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Capacità portante	--	--	1.40	--	--	1.20
Scorrimento	--	--	1.10	--	--	1.00
Resistenza terreno a valle	--	--	1.40	--	--	1.20
Ribaltameno	--	--	1.15	--	--	1.00
Stabilità fronte di scavo	--	1.10	--	--	1.20	--

Descrizione combinazioni di carico

Con riferimento alle azioni elementari prima determinate, si sono considerate le seguenti combinazioni di carico:
- Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} Q_{k2} + \gamma_{Q3} Q_{k3} + ...$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \Psi_{0,2} Q_{k2} + \Psi_{0,3} Q_{k3} + ...$$

- Combinazione frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + \Psi_{1,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + ...$$

- Combinazione quasi permanente, impiegata per gli effetti di lungo periodo:

$$G_1 + G_2 + \Psi_{2,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + ...$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + \Psi_{2,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + ...$$

I valori dei coeff. $\Psi_{0,j}$, $\Psi_{1,j}$, $\Psi_{2,j}$ sono definiti nelle singole condizioni variabili.par I valori dei coeff. γ_G e γ_Q, sono definiti nella tabella normativa.

In particolare si sono considerate le seguenti combinazioni:

Simbologia adottata
γ Coefficiente di partecipazione della condizione
Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
cordolo	1.30	--	Sfavorevole
traffico	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
traffico	1.00	1.00	Sfavorevole
cordolo	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
traffico	1.00	1.00	Sfavorevole
cordolo	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
cordolo	1.00	--	Sfavorevole
traffico	1.15	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - GEO (A2-M2-R2) H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
traffico	1.00	1.00	Sfavorevole
cordolo	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
traffico	1.00	1.00	Sfavorevole
cordolo	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 7 - EQU (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
cordolo	1.30	--	Sfavorevole
traffico	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 8 - EQU (A1-M1-R3) H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
traffico	1.00	1.00	Sfavorevole
cordolo	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 9 - EQU (A1-M1-R3) H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
traffico	1.00	1.00	Sfavorevole
cordolo	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 10 - SLER

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
cordolo	1.00	--	Sfavorevole
traffico	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 11 - SLEF

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
cordolo	1.00	--	Sfavorevole
traffico	1.00	0.75	Sfavorevole

Combinazione n° 12 - SLEQ

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
cordolo	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 13 - SLEQ H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
cordolo	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 14 - SLEQ H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
cordolo	1.00	--	Sfavorevole

Dati sismici

Comune	Montalbano Jonico
Provincia	Matera
Regione	Basilicata
Latitudine	40.288222
Longitudine	16.577642
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	III
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	50 anni

	Simbolo	U.M.		SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a_g	[m/s²]		1.334	0.563
Accelerazione al suolo	a_g/g	[%]		0.136	0.057
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0			2.536	2.408
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*			0.415	0.317
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		B	1.200	1.200
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200	

Stato limite ...	Coeff. di riduzione β_m	kh	kv
Ultimo	0.380	7.441	3.721
Ultimo - Ribaltamento	0.570	11.162	5.581
Esercizio	0.470	3.881	1.940

Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma del diagramma statico**

Opzioni di calcolo

Spinta
Metodo di calcolo della spinta Culmann
Tipo di spinta Spinta attiva
Terreno a bassa permeabilità NO
Superficie di spinta limitata NO

Capacità portante
Metodo di calcolo della portanza Cascone
Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati) Ponderata
Criterio di riduzione per eccentricità della portanza Bowles
Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento) Nessuna
Larghezza fondazione nel terzo termine della formula del carico limite ($0.5B\gamma N_\gamma$) Larghezza ridotta (B')
Fattori di forma e inclinazione del carico Solo i fattori di inclinazione
Se la fondazione ha larghezza superiore a 2.0 m viene applicato il fattore di riduzione per comportamento a piastra
Stabilità globale
Metodo di calcolo della stabilità globale Fellenius

Altro
Partecipazione spinta passiva terreno antistante 0.00
Partecipazione resistenza passiva dente di fondazione 50.00
Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni SI
Considera terreno sulla fondazione di valle NO
Considera spinta e peso acqua fondazione di valle NO
Sezioni verifica muri a gravità Tutte
Richiesto controllo eccentricità verifiche muro a gravità in cls
Spostamenti
Modello a blocchi
Non è stato richiesto il calcolo degli spostamenti
Spostamento limite 3.00 [cm]

Cedimenti
Non è stato richiesto il calcolo dei cedimenti

Specifiche per le verifiche nelle combinazioni allo Stato Limite Ultimo (SLU)

	SLU	Eccezionale
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a compressione	1.50	1.00
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15	1.00
Fattore di riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85	0.85
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00	1.00

Specifiche per le verifiche nelle combinazioni allo Stato Limite di Esercizio (SLE)
Paramento e fondazione muro

Verifiche strutturali nelle combinazioni SLD NO

Condizioni ambientali Ordinarie
Armatura ad aderenza migliorata SI

Verifica a fessurazione
Sensibilità armatura Poco sensibile
Metodo di calcolo aperture delle fessure NTC 2018 - CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.

Valori limite aperture delle fessure:
w_1=0.20
w_2=0.30
w_3=0.40

Verifica delle tensioni
Valori limite delle tensioni nei materiali:

Combinazione	Calcestruzzo	Acciaio
Rara	0.60 f_{ck}	0.80 f_{yk}
Frequente	1.00 f_{ck}	1.00 f_{yk}
Quasi permanente	0.45 f_{ck}	1.00 f_{yk}

Risultati

Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
A	Tipo azione
I	Inclinazione della spinta, espressa in [°]
V	Valore dell'azione, espressa in [kg]
C_X, C_Y	Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kg]
P_X, P_Y	Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V	I	C_X	C_Y	P_X	P_Y
		[kg]	*[°]*	*[kg]*	*[kg]*	*[m]*	*[m]*
1	Spinta statica	2531	17.33	2416	754	0.50	-1.61
	Peso/Inerzia muro			0	11875/0	-1.00	-1.26
	Peso/Inerzia terrapieno			0	875/0	0.25	-0.53
	Risultante forze sul muro			0	1365	--	--
2	Spinta statica	1921	17.33	1834	572	0.50	-1.61
	Incremento di spinta sismica		484	462	144	0.50	-1.54
	Peso/Inerzia muro			884	11875/442	-1.00	-1.26
	Peso/Inerzia terrapieno			65	875/33	0.25	-0.53
	Risultante forze sul muro			78	1050	--	--

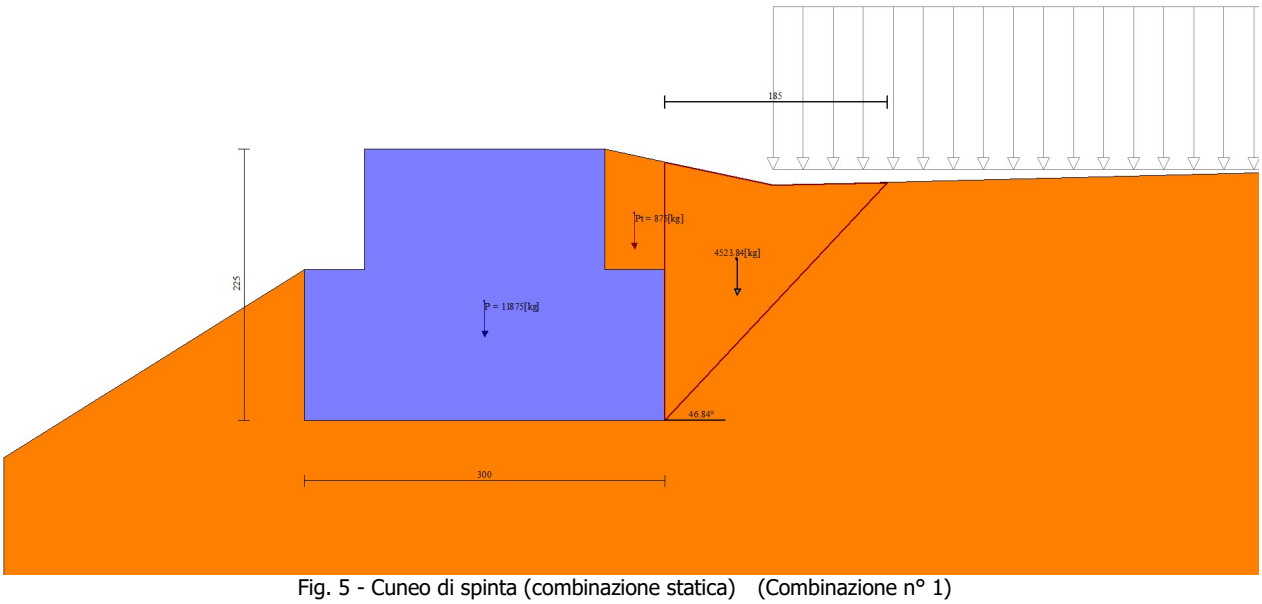


Fig. 5 - Cuneo di spinta (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

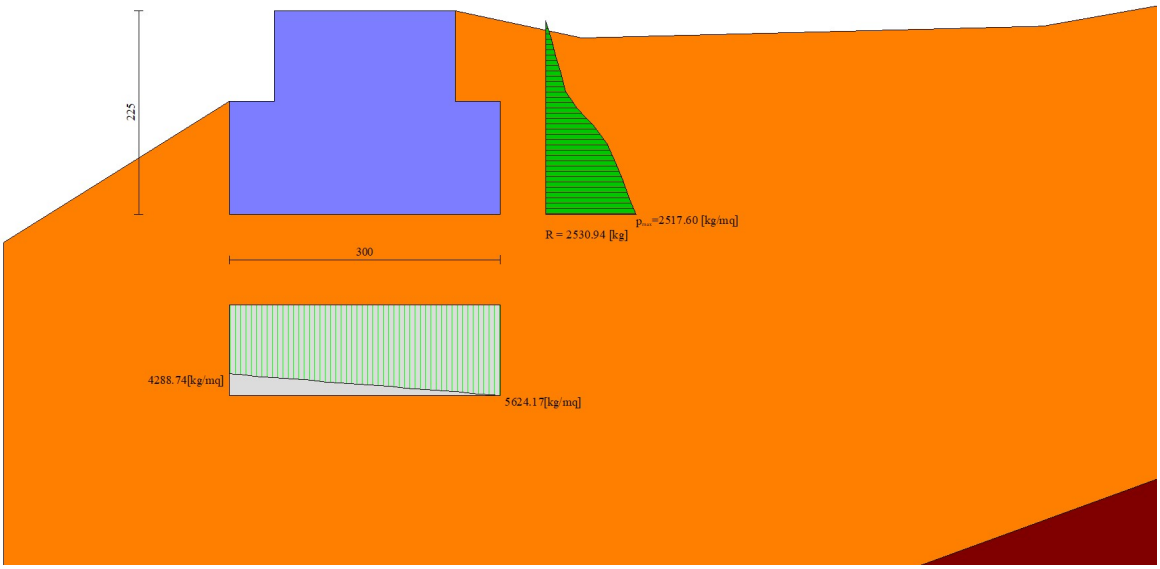


Fig. 6 - Diagramma delle pressioni (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

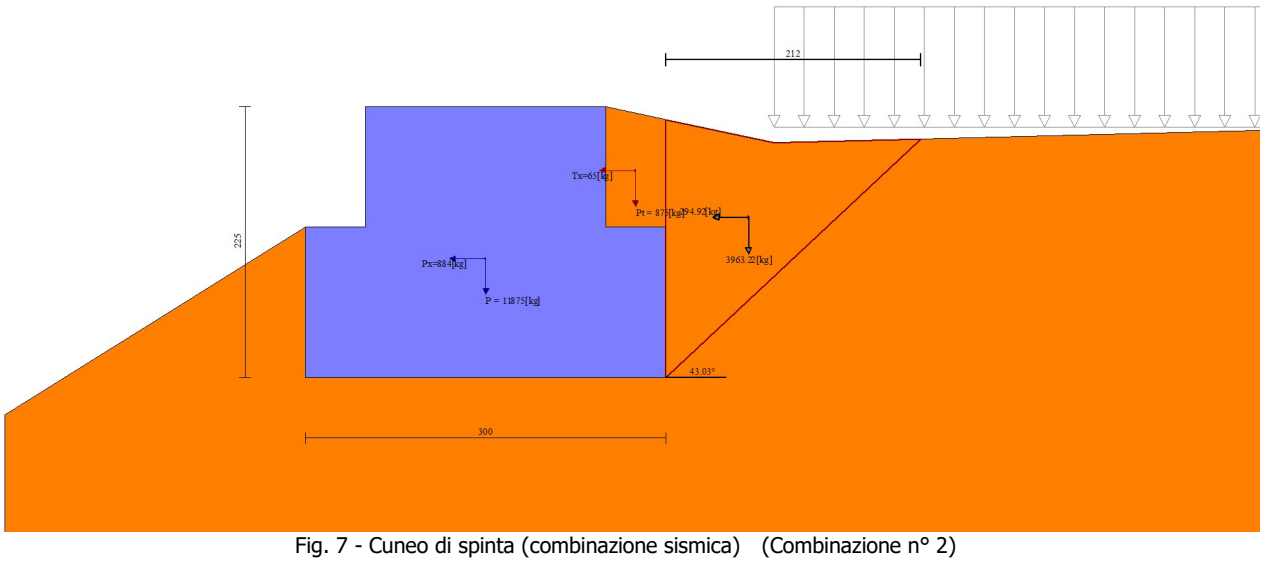


Fig. 7 - Cuneo di spinta (combinazione sismica) (Combinazione n° 2)

Fig. 8 - Diagramma delle pressioni (combinazione sismica) (Combinazione n° 2)

Verifiche geotecniche

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
S	Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)
FS_{SCO}	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
FS_{RIB}	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
FS_{QLIM}	Coeff. di sicurezza a carico limite
FS_{STAB}	Coeff. di sicurezza a stabilità globale
FS_{HYD}	Coeff. di sicurezza a sifonamento
FS_{UPL}	Coeff. di sicurezza a sollevamento

Cmb	Sismica	FS_{SCO}	FS_{RIB}	FS_{QLIM}	FS_{STAB}	FS_{HYD}	FS_{UPL}
1 - STR (A1-M1-R3)		1.920		10.110			
2 - STR (A1-M1-R3)	H + V	1.408		10.073			
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.370		10.765			
4 - GEO (A2-M2-R2)					1.203		
5 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				1.309		
6 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				1.294		
7 - EQU (A1-M1-R3)			15.983				
8 - EQU (A1-M1-R3)	H + V		7.432				
9 - EQU (A1-M1-R3)	H - V		5.475				

Verifica a scorrimento fondazione

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Rsa	Resistenza allo scorrimento per attrito, espresso in [kg]
Rpt	Resistenza passiva terreno antistante, espresso in [kg]
Rps	Resistenza passiva sperone, espresso in [kg]
Rp	Resistenza a carichi orizzontali pali (solo per fondazione mista), espresso in [kg]
Rt	Resistenza a carichi orizzontali tiranti (solo se presenti), espresso in [kg]
R	Resistenza allo scorrimento (somma di Rsa+Rpt+Rps+Rp), espresso in [kg]
T	Carico parallelo al piano di posa, espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto R/T)

n°	Rsa	Rpt	Rps	Rp	Rt	R	T	FS
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	
1 - STR (A1-M1-R3)	4640	0	0	--	--	4640	2416	1.920
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	4369	0	0	--	--	4369	3189	1.370

Verifica a carico limite

Simbologia adottata

n° Indice combinazione
N Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kg]
Qu carico limite del terreno, espresso in [kg]
Qd Portanza di progetto, espresso in [kg]
FS Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limie e carico agente al piano di posa)

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	
1 - STR (A1-M1-R3)	14869	150325	107375	10.110
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	14991	151006	125838	10.073

Dettagli calcolo portanza

Simbologia adottata

n° Indice combinazione
Nc, Nq, N_γ Fattori di capacità portante
ic, iq, i_γ Fattori di inclinazione del carico
dc, dq, d_γ Fattori di profondità del piano di posa
gc, gq, g_γ Fattori di inclinazione del profilo topografico
bc, bq, b_γ Fattori di inclinazione del piano di posa
sc, sq, s_γ Fattori di forma della fondazione
pc, pq, p_γ Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
Re Fattore di riduzione capacità portante per eccentricità secondo Meyerhof
Ir, Irc Indici di rigidezza per punzonamento secondo Vesic
r_γ Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia $0.5B_\gamma N_\gamma$ viene moltiplicato per questo fattore
D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
γ Peso di volume del terreno medio, espresso in [kg/mc]
ϕ Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
c Coesione del terreno medio, espresso in [kg/cmq]
Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Cascone).

n°	Nc Nq N_γ	ic iq i_γ	dc dq d_γ	gc gq g_γ	bc bq b_γ	sc sq s_γ	pc pq p_γ	Ir	Irc	Re	r_γ
1	27.085 14.210 9.740	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	1.300 1.000 0.800	-- -- --	--	--	--	0.956
2	27.085 14.210 9.740	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	1.300 1.000 0.800	-- -- --	--	--	--	0.956

n°	D	B'	H	γ	ϕ	c
	[m]	*[m]*	*[m]*	*[°]*	*[kg/mc]*	*[kg/cmq]*
1	1.25	2.86	0.73	1850	26.00	0.00
2	1.25	2.97	0.73	1850	26.00	0.00

Verifica a ribaltamento

Simbologia adottata

n° Indice combinazione
Ms Momento stabilizzante, espresso in [kgm]
Mr Momento ribaltante, espresso in [kgm]
FS Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)
La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms	Mr	FS
	[kgm]	*[kgm]*	
7 - EQU (A1-M1-R3)	24866	1556	15.983
9 - EQU (A1-M1-R3) H - V	24268	4432	5.475

Verifica stabilità globale muro + terreno

Simbologia adottata

Ic Indice/Tipo combinazione
C Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
R Raggio, espresso in [m]
FS Fattore di sicurezza

Ic	C	R	FS
	[m]	*[m]*	
4 - GEO (A2-M2-R2)	-2.29; 2.29	5.35	1.203
6 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-2.29; 2.29	5.35	1.294

Dettagli strisce verifiche stabilità

Simbologia adottata

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]
Qy	carico sulla 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]
Tx; Ty	Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kg/cmq]

Combinazione n° 4 - GEO (A2-M2-R2)

n°	W	Qy	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kg]	*[kg]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg]*
1	118	663	2.40 - 0.29	57.396	21.315	0.00	0.000	
2	336	663	0.29	53.033	21.315	0.00	0.000	
3	520	663	0.29	48.148	21.315	0.00	0.000	
4	680	321	0.29	43.696	21.315	0.00	0.000	
5	846	0	0.29	39.556	21.315	0.00	0.000	
6	997	0	0.29	35.652	21.315	0.00	0.000	
7	1155	0	0.29	31.930	21.315	0.00	0.000	
8	1310	0	0.29	28.355	21.315	0.00	0.000	
9	1441	0	0.29	24.897	21.315	0.00	0.000	
10	1524	0	0.29	21.533	21.315	0.00	0.000	
11	1579	1050	0.29	18.246	21.315	0.00	0.000	
12	1625	0	0.29	15.021	21.315	0.00	0.000	
13	1662	0	0.29	11.843	21.315	0.00	0.000	
14	1690	0	0.29	8.702	21.315	0.00	0.000	
15	1709	0	0.29	5.588	21.315	0.00	0.000	
16	1306	0	0.29	2.490	21.315	0.00	0.000	
17	1146	0	0.29	-0.601	21.315	0.00	0.000	
18	12	0	0.29	-3.693	21.315	0.00	0.000	
19	930	0	0.29	-6.797	21.315	0.00	0.000	
20	811	0	0.29	-9.920	21.315	0.00	0.000	
21	684	0	0.29	-13.074	21.315	0.00	0.000	
22	548	0	0.29	-16.269	21.315	0.00	0.000	
23	402	0	0.29	-19.517	21.315	0.00	0.000	
24	246	0	0.29	-22.832	21.315	0.00	0.000	
25	80	0	-4.80 - 0.29	-24.516	21.315	0.00	0.000	

Combinazione n° 6 - GEO (A2-M2-R2) H - V

n°	W	Qy	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kg]	*[kg]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg]*
1	118	576	2.40 - 0.29	57.396	26.000	0.00	0.000	
2	336	576	0.29	53.033	26.000	0.00	0.000	
3	520	576	0.29	48.148	26.000	0.00	0.000	
4	680	279	0.29	43.696	26.000	0.00	0.000	
5	846	0	0.29	39.556	26.000	0.00	0.000	
6	997	0	0.29	35.652	26.000	0.00	0.000	
7	1155	0	0.29	31.930	26.000	0.00	0.000	
8	1310	0	0.29	28.355	26.000	0.00	0.000	
9	1441	0	0.29	24.897	26.000	0.00	0.000	
10	1524	0	0.29	21.533	26.000	0.00	0.000	
11	1579	1050	0.29	18.246	26.000	0.00	0.000	
12	1625	0	0.29	15.021	26.000	0.00	0.000	
13	1662	0	0.29	11.843	26.000	0.00	0.000	
14	1690	0	0.29	8.702	26.000	0.00	0.000	
15	1709	0	0.29	5.588	26.000	0.00	0.000	
16	1306	0	0.29	2.490	26.000	0.00	0.000	
17	1146	0	0.29	-0.601	26.000	0.00	0.000	
18	12	0	0.29	-3.693	26.000	0.00	0.000	
19	930	0	0.29	-6.797	26.000	0.00	0.000	
20	811	0	0.29	-9.920	26.000	0.00	0.000	
21	684	0	0.29	-13.074	26.000	0.00	0.000	
22	548	0	0.29	-16.269	26.000	0.00	0.000	
23	402	0	0.29	-19.517	26.000	0.00	0.000	
24	246	0	0.29	-22.832	26.000	0.00	0.000	
25	80	0	-4.80 - 0.29	-24.516	26.000	0.00	0.000	

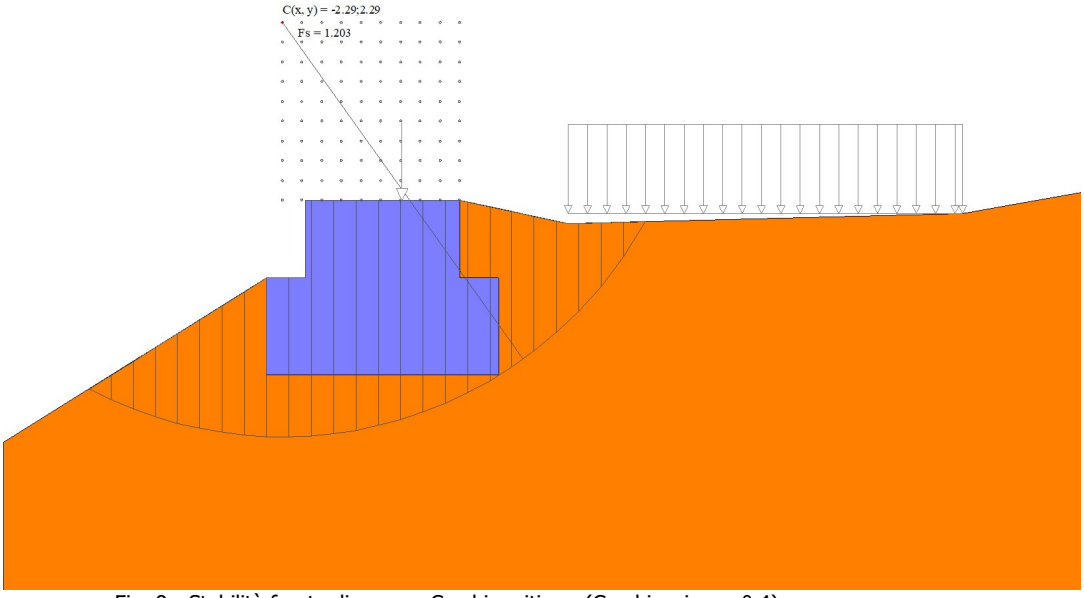


Fig. 9 - Stabilità fronte di scavo - Cerchio critico (Combinazione n° 4)

Verifiche strutturali

Paramento in pietrame

Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
As	area sezione reagente espresso in [cmq]
e	eccentricità espresso in [cm]
σ	tensione espressa in [kg/cmq]
Rt	resistenza ai carichi orizzontali espressa in [kg]
Et	Azione orizzontale espressa in [kg]
FSsco	fattore di sicurezza allo scorrimento (Rt/Et)
Ms	momento stabilizzante espresso in [kgm]
Mr	momento ribaltante espresso in [kgm]
FSrib	fattore di sicurezza a ribaltamento (Ms/Mr)

n°	Y	As	e	σ	Rt	Et	FSsco	Ms	Mr	FSrib
	[m]	*[cmq]*	*[cm]*	*[kg/cmq]*	*[kg]*	*[kg]*		*[kgm]*	*[kgm]*	
22	-2.00	30000	-9.73	0.51	3931.21	3487.82	1.127	20398.27	2697.06	7.563

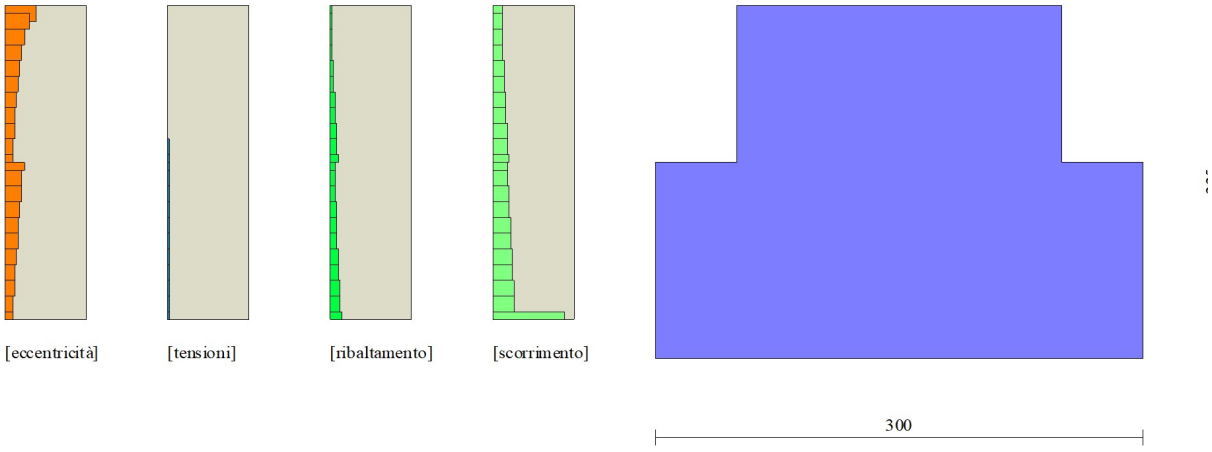


Fig. 10 - Verifiche paramento pietrame (Inviluppo)

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 D.M. 17/07/2018.
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	15.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casali del Manco - loc. Casole Bruzio (CS)
Licenza	AIU4256T7

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.

Indice

Relazione di calcolo 1
Normative di riferimento 2
Richiami teorici 3
Calcolo della spinta sul muro 3
Valori caratteristici e valori di calcolo 3
Metodo di Culmann 3
Spinta in presenza di falda 3
Spinta in presenza di sisma 3
Verifica a ribaltamento 4
Verifica a scorrimento 4
Verifica al carico limite 5
Riduzione per eccentricità del carico 5
Riduzione per effetto piastra 6
Verifica alla stabilità globale 6
Dati 7
Materiali 7
Calcestruzzo armato 7
Acciai 7
Pietrame 7
Geometria profilo terreno a monte del muro 7
Geometria muro 7
Geometria paramento e fondazione 7
Geometria gradoni 8
Descrizione terreni 8
Stratigrafia 9
Condizioni di carico 10
Normativa 10
Descrizione combinazioni di carico 11
Dati sismici 13
Opzioni di calcolo 14
Risultati 15
Spinta e forze 15
Verifiche geotecniche 17
Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati 17
Verifica a scorrimento fondazione 17

Verifica a carico limite 18
Dettagli calcolo portanza 18
Verifica a ribaltamento 18
Verifica stabilità globale muro + terreno 18
Dettagli strisce verifiche stabilità 19
Verifiche strutturali 20
Paramento in pietrame 20
Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2) 21