COMUNE DI BRIONE

PROVINCIA DI BRESCIA

RELAZIONE DI CALCOLO E SULLE OPERE DI FONDAZIONE

LAVORO: CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE MEDIANTE CHIODATURA DEL MURO DI SOSTEGNO DELLA SCUOLA ELEMENTARE "MONTINI MONTANO"

COMMITTENTE: Comune di Brione

N° COMMESSA: 3302
SULZANO, Aprile 2019

IL TECNICO

VERS	DATA	REDAZ.	CONTR.	DESCRIZIONE REVISIONE
V1	30/04/2019	R.M.	B.C.	PRIMA EMISSIONE

Sommario

1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E METODO DI CALCOLO 5
2 CLASSIFICAZIONE SISMICA 5
3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO 5
4 MATERIALI PRINCIPALI DA UTILIZZARE 6
5 DESCRIZIONE DELLE OPERE 7
6 VERIFICHE OPERE DI CONSOLIDAMENTO 8
6.1 METODO DI CALCOLO 8
6.2 STIMA VALORE DI ATTRITO BULBO-TERRENO 9
6.3 VERIFICA MURATURA 10
6.4 VERIFICA DEI CHIODI DEL PARAMENTO 12
ALLEGATI 14

www.ingegneriabettoni.it - info@ingegneriabettoni.com - carlo.bettoni@ingpec.eu - tel. 030/985192
Ing. Carlo Bettoni Ordine Ingegneri BS n° 2761 C.F. BTTCRL69C28B157X P.I. 03367940172 25058 SULZANO (BS) Via Chiesa 13

1 PREMESSA

Su incarico del Comune di Brione (BS) sono stati eseguiti il dimensionamento e le verifiche delle opere di consolidamento previste in un tratto di muro esistente in via Montini nel Comune di Brione (BS). Il muro esistente è realizzato in cemento armato e ha uno spessore di circa 0.35 m e di altezza massima di circa 2.80 m.

Allegati alla relazione di calcolo:

- Elaborazione dati e risultati con il programma MAX 15.0 dell'AZTEC INFORMATICA;
- Tavola grafica dettagliata delle opere previste.

Figura 1: ortofoto della zona di interesse (da Google Hearth)

Figura 2: foto in loco della zona di interesse

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E METODO DI CALCOLO

La seguente relazione di calcolo è stata eseguita in ottemperanza alle seguenti disposizioni legislative.

- LEGGE 5 novembre 1971, n. 1086

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

- LEGGE 2 febbraio 1974, n.64

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

- CIRCOLARE 2 Febbraio 2009

Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

- N.T.C. 2018 del D.M. 17 gennaio 2018

"Norme Tecniche per le costruzioni".

In accordo alla normativa vigente, le opere in oggetto sono state dimensionate e verificate secondo il ***metodo agli stati limite.***

3 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Per la classificazione sismica del territorio, conformemente al dettato delle NTC2018, si fa riferimento ad una griglia di nodi geografici di ordinate spettrali note, sulla base delle quali viene determinata la sismicità del sito. Per le verifiche sismiche si considera una struttura oggetto d'intervento di **classe II** e con una vita nominale di **50 anni** ed e si assumono i seguenti parametri:

Verifica	**Stato limite**	**T_R** (anni)	**a_g** (g)	**F_0** (-)	**T^*_c** (s)
SLD	"Danno"	50	0.053	2.408	0.231
SLV	"Salvaguardia vita"	475	0.141	2.426	0.278

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

Per verificare i parametri geotecnici del terreno si fa riferimento alla relazione geologica redatta dal Dott. Geol. Luigi Larocchi, dalla quale di seguito si riportano le stratigrafie:

Unità litotecnica A	Riporto in sabbia e ghiaia con ciottoli	
Comportamento granulare	N°SPT medio	10
	Spessore medio (m)	1,2

Dr (densità relativa)	41	%
φ_k (angolo di attrito efficace)	33,9	°
E_{50} (modulo elastico)	85	kg/cmq
M (modulo edometrico)	265	kg/cmq
γ_k (peso di volume)	1,81	t/mc

Unità litotecnica B	Limo sabbioso-argilloso	
Comportamento coesivo	N°SPT medio	4
	Spessore (m)	3,8

Cu (coesione non drenata)	0,10	kg/cmq
E_{50} (modulo elastico)	38	kg/cmq
M (modulo edometrico)	40	kg/cmq
γ_k (peso di volume)	1,59	t/mc

Unità litotecnica C	Substrato roccioso	
Comportamento granulare	N°SPT medio	40
	Spessore (m)	10

Dr (densità relativa)	82	%
φ_k (angolo di attrito efficace)	40,5	°
E_{50} (modulo elastico)	390	kg/cmq
M (modulo edometrico)	505	kg/cmq
γ_k (peso di volume)	2,19	t/mc

Categoria sottosuolo *B*

Categoria topografica *T2*

Se durante gli scavi e/o perforazioni si riscontrassero sostanziali variazioni sulla stratigrafia e sulle caratteristiche del terreno sarà compito della DLL valutare se le ipotesi di calcolo sono ancora valide ed intervenire di conseguenza.

5 MATERIALI PRINCIPALI DA UTILIZZARE

Nell'esecuzione delle opere è previsto l'impiego dei seguenti materiali:

- **Chiodi:**
  - *Caratteristiche geometriche:*

    diametro di perforazione 51÷76 mm

    diametro medio reso 80÷100 mm

lunghezza chiodi paramento	10÷12 m
inclinazione chiodi paramento	30°

- *Armatura paramento:*
  Barre autoperforanti tipo SIRIVE R32P in S460 con le seguenti caratteristiche:

diametro	32 mm
spessore	8.5 mm
area	5.30 cm^2
carico a rottura per barra	34000 kg
limite di snervamento per barra	25300 kg
f_{yd} per barra	22000 kg

- *Resistenza iniezione assimilabile a C25/30 (ex Rck 300)*

- **Piastre a stella in acciaio S235 (ex Fe 360):**
  - *Caratteristiche geometriche:*

lato	200 mm
spessore minimo	20-25 mm

- **Fori di drenaggio** ϕ 80-100 mm;
- **Acqua:** potabile e priva di sali (solfuri o cloruri)
- **Cemento:** tipo Portland 325 secondo normativa vigente
- **Inerti:** ben miscelati e lavati, cioè privi di argilla e limo (di cava o di fiume)
  Sabbia lavata secondo normativa vigente
  Ghiaietto lavato secondo normativa vigente

6 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Il muro esistente è realizzato in cemento armato e ha uno spessore di circa 0.35 m.
Sono previsti chiodi di lunghezza tale da garantire un ancoraggio minimo nel terreno di migliori caratteristiche in modo da contrastare eventuali spostamenti orizzontali. I chiodi hanno una lunghezza di 10 m e 12 m e sono distribuiti a quinconce su 2 file con interasse orizzontale medio dei chiodi di circa 2.0 m. L'inclinazione dei chiodi è di 30° sul piano orizzontale.
Il sistema adottato prevede l'inserimento di tubi di acciaio S 460 del diametro di 32 mm, muniti di punta a perdere del diametro di 76 mm. L'iniezione avviene in avanzamento e per aumentare le dimensioni del bulbo di ancoraggio, giunti alla fine della perforazione viene parzialmente estratta la barra continuando ad iniettare per riempire completamente il foro appena eseguito; subito dopo si procede nuovamente con l'inserimento della barra facendo così "sbulbare" l'iniezione in eccesso.

L'adozione di questi chiodi (tiranti passivi) contribuisce alla stabilità dell'opera in quanto essi costituiscono una sorta di sistema di sicurezza: infatti finché la muratura esistente è in grado di garantire da sola la stabilità, i chiodi non entrano in funzione. Qualora si verificasse il superamento della situazione di equilibrio limite, la quota di spinta eccedente sarebbe assorbita dalla chiodatura.
Sono previsti anche fori di drenaggio e la pulizia di quelli esistenti per abbassare la spinta idrostatica a tergo del paramento murario.
E' stato considerato un carico generale variabile a tergo del paramento murario pari a 300 kg/m^2.

7 VERIFICHE OPERE DI CONSOLIDAMENTO

7.1 Metodo di calcolo

I dati relativi alla struttura, al terreno ed ai sovraccarichi sono stati inseriti in un programma di calcolo i cui risultati sono riportati negli allegati.
La ***verifica di stabilità globale*** del complesso opera di sostegno-terreno è stata effettuata secondo l'Approccio 1 con la combinazione 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 considerando un γ_R per la stabilità globale pari a 1.2 (tab. 6.8.I per opere di materiali sciolti e fronti di scavo).
Le ***verifiche strutturali*** del muro di sostegno in calcestruzzo sono state eseguite con il metodo degli stati limite secondo l'approccio 2 che prevede le combinazioni A1+M1+R3 tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nella Tabella 6.5.I

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

Coefficienti parziali per le azioni (rif. tab. 6.2.I NTC 2018)

		Statici		Sismici	
Parametri		**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
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60	1.00	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (rif. tab. 6.2.II NTC 2018)

Verifica	Simbolo	Coefficiente parziale
	γ_R	**(R3)**
Capacità portante della fondazione	γ_R	1.4
Scorrimento	γ_R	1.1
Ribaltamento	γ_R	1.15
Resistenza del terreno a valle	γ_R	1.4

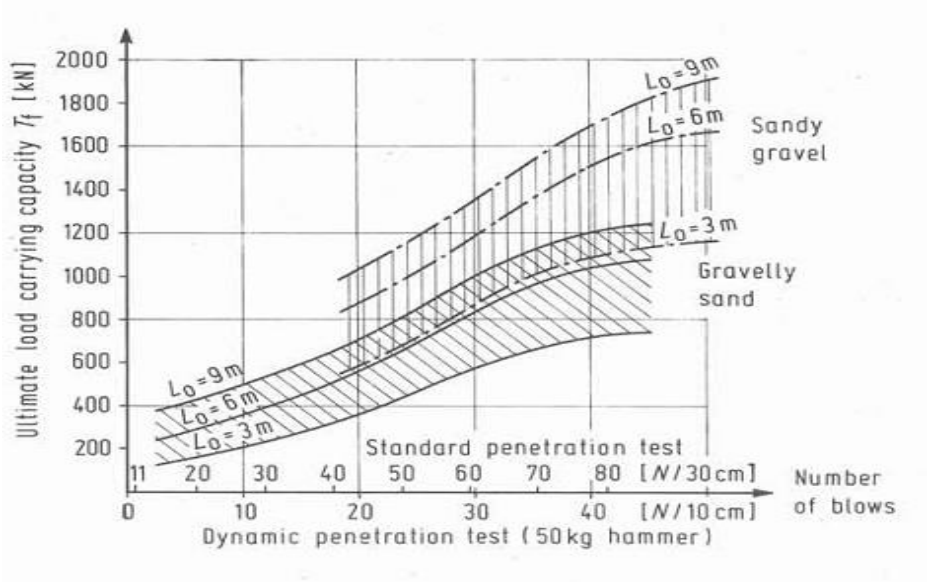
Coefficienti parziali γ_R da applicare nelle verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno (Tab. 6.5.I NTC 2018)

Il calcolo del muro di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:
- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento (contrastato dai chiodi di ancoraggio)
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno, carico limite
- Verifica della stabilità complessiva.

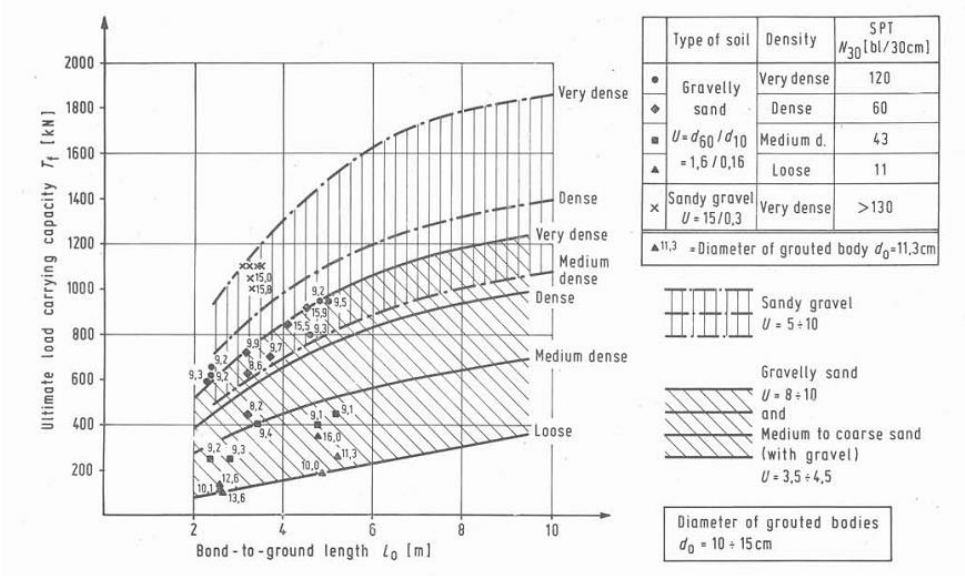
7.2 Stima valore di attrito bulbo-terreno

Un parametro di progetto fondamentale è il valore di attrito limite dell'interfaccia tra il bulbo di ancoraggio dei chiodi ed il terreno stesso. Una stima dell'attrito si può ricavare dai diagrammi di Ostermayer e Scheele (1974 e 1977) che per terreni di natura incoerente fornisce valori di circa 2÷3 kg/cm^2 mentre per terreni a grana fine fornisce valori di circa 0.5÷1.0 kg/cm^2.

Nel nostro caso i chiodi di ancoraggio hanno una lunghezza tale da inserirsi per almeno 3÷4 m nel substrato roccioso di migliori proprietà. Si può assumere a favore di sicurezza un valore medio di attrito di 1.0 kg/cm^2.



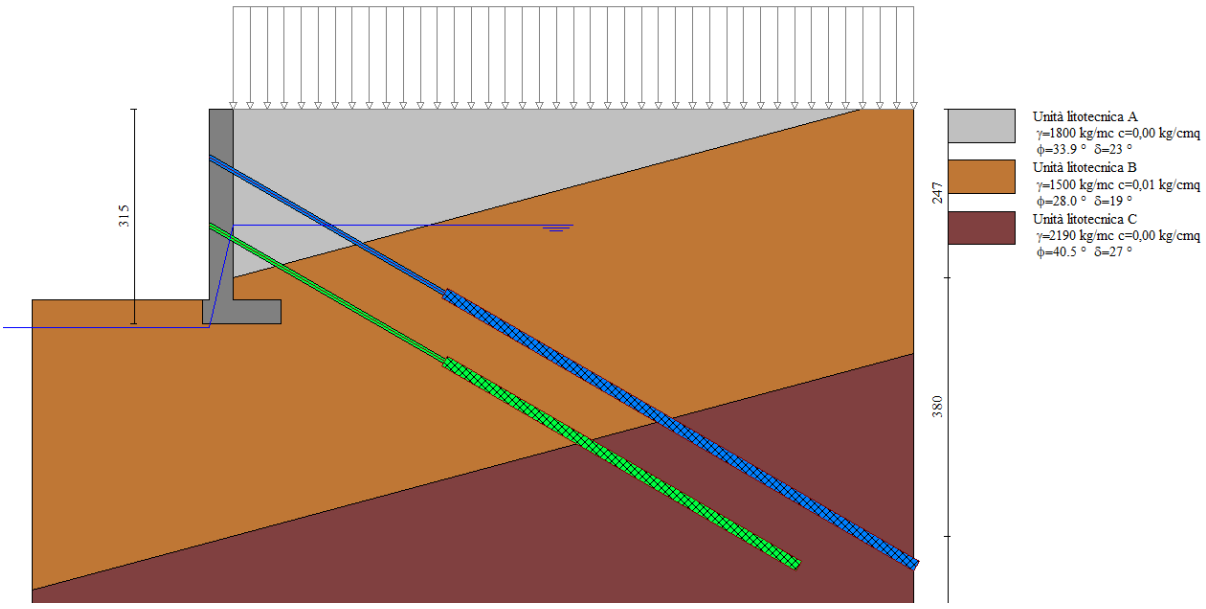
Resistenza limite sfilamento (Ostermayer e Scheele)



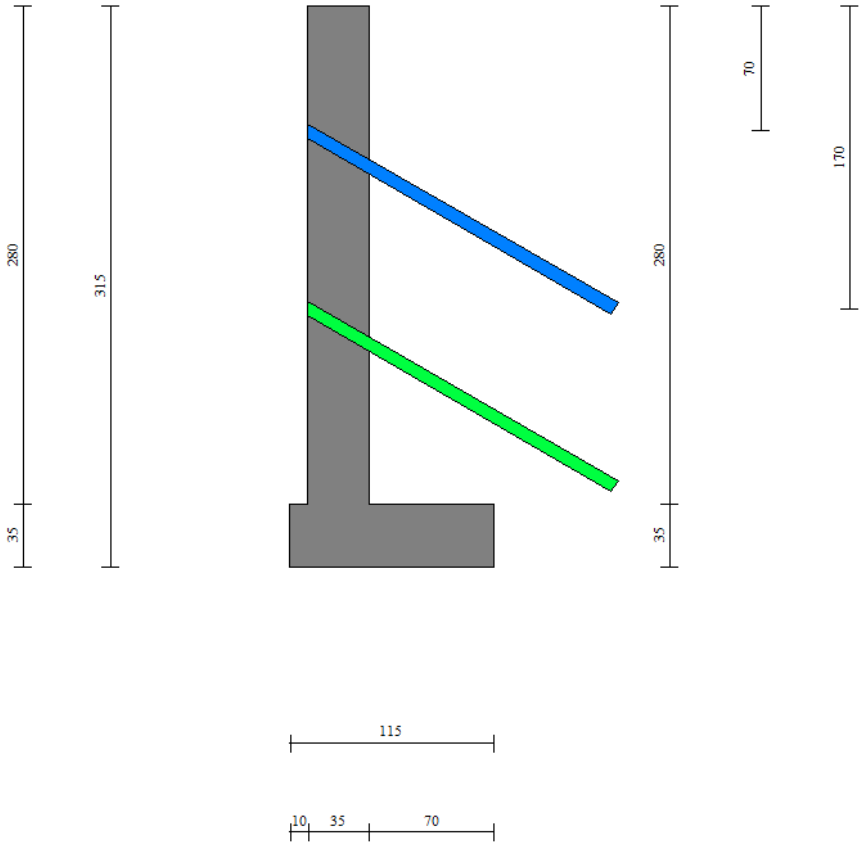
Resistenza limite sfilamento (Ostermayer e Scheele)

7.3 Verifica muro

Si esegue la verifica con uno spessore del muro esistente di 35 cm e con 2 file di chiodi di ancoraggio. Per quanto riguarda la stima delle dimensioni della fondazione, non direttamente rilevata, si è svolta una back-analysis, individuando cioè una geometria che, con i dati geotcenici dei terreni di monte, fosse compatibile con lo stato di equilibrio limite presente attualmente. Si è cioè effettuata la verifica al ribaltamento del muro nelle condizioni attuali (ovvero senza tiranti), in condizione limite, ovvero senza coefficienti di sicurezza. La lunghezza di fondazione di monte tale per cui il momento stabilizzante è pressappoco coincidente con quello ribaltante è pari a 70 cm.



Sezione di calcolo



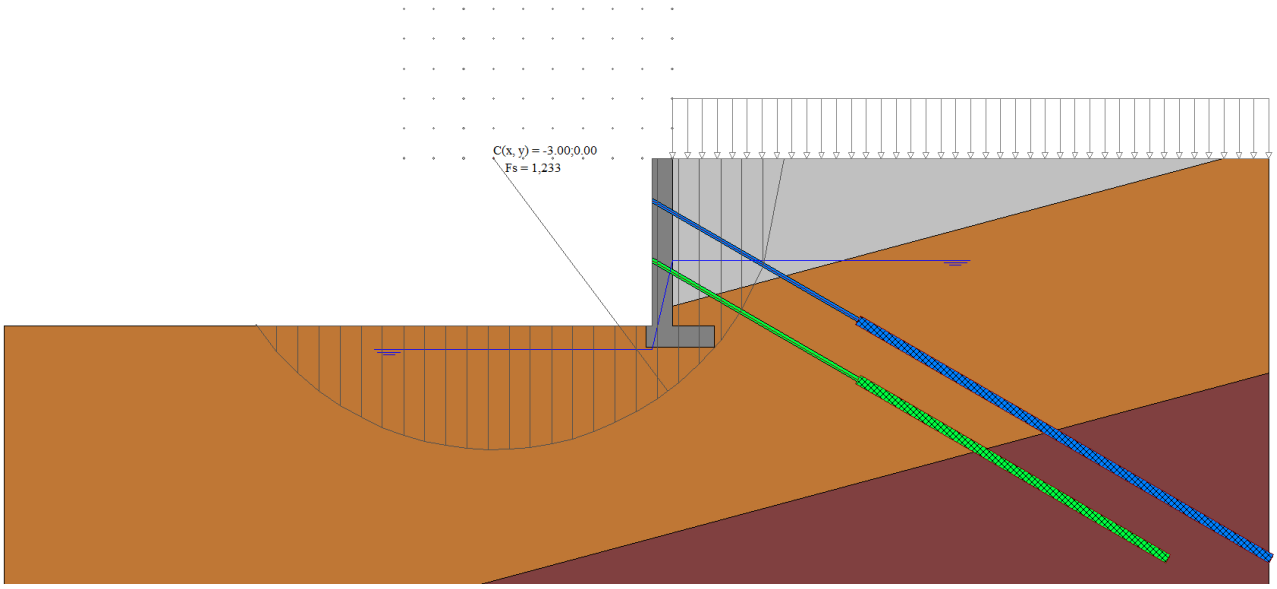
Particolare sezione di calcolo

Di seguito si riportano i risultati per le combinazioni di carico.

Sintesi FS verifiche globali

n°	Combinazione	Sismica	FSsco	FSqlim	FSrib	FSstab	FShyd	FSupl
1	STR A1-M1-R3		1,954	1,647	--	--	--	--
2	STR A1-M1-R3	H + V	1,579	1,524	--	--	--	--
3	STR A1-M1-R3	H - V	1,632	1,705	--	--	--	--
4	STR A1-M1-R3		2,076	1,405	--	--	--	--
5	STR A1-M1-R3		2,017	1,512	--	--	--	--
6	STR A1-M1-R3		2,013	1,520	--	--	--	--
7	GEO A2-M2-R2		--	--	--	1,446	--	--
8	GEO A2-M2-R2	H + V	--	--	--	1,367	--	--
9	GEO A2-M2-R2	H - V	--	--	--	1,233	--	--
10	EQU		--	--	1,667	--	--	--
11	EQU	H + V	--	--	1,561	--	--	--
12	EQU	H - V	--	--	1,500	--	--	--
13	HYD		--	--	--	--	100,000	--
14	UPL		--	--	--	--	--	9,908

Dai risultati sopra esposti ne consegue che le verifiche sono tutte soddisfatte.



Verifica di stabilità globale

7.4 Verifica dei chiodi del paramento

Il massimo tiro sui chiodi è di 4007 kg in condizioni statiche SLU, di 6939 kg in condizioni sismiche SLV, di circa 2913 kg in condizioni SLE senza sisma e 4296 kg in condizioni SLE con sisma.

La barra in acciaio tipo Sirive R32P è in grado di resistere a 22000 kg per cui è verificata.

Le lunghezze esecutive dei chiodi sono maggiori di quelle previste dal programma di calcolo per cui sono verificate.

Di seguito la tabella riassuntiva dei calcoli per ciascuna combinazione di carico Ic. Il fattore di sicurezza è sempre largamente superiore all'unità.

Verifica di resistenza allo sfilamento

Simbologia adottata

R1 Resistenza allo sfilamento del tirante dal terreno, espressa in [kg]
R2 Resistenza di aderenza malta-armatura, espresso in [kg]
R3 Resistenza malta, espresso in [kg]
R Resistenza (minimo tra R1, R2 e R3), espresso in [kg]
N Tiro in esercizio sul tirante, espresso in [kg]
FS Fattore di sicurezza (rapporto R/N)

It	S	Ic	R1	R2	R3	R	N	FS
	[m]		*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	
1 [P]	0,70	1	9849	74393	233122	9849	3715	2.651
		2	9849	74393	233122	9849	6807	1.447
		3	9849	74393	233122	9849	5864	1.680
		4	9849	74393	233122	9849	3828	2.573
		5	9849	74393	233122	9849	3766	2.615
		6	9849	74393	233122	9849	3812	2.584
		10	9849	74393	233122	9849	4007	2.458

It	S	Ic	R1	R2	R3	R	N	FS
	[m]		*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	
		11	9849	74393	233122	9849	6939	1.419
		12	9849	74393	233122	9849	6063	1.624
		13	11819	74393	233122	11819	2913	4.058
		14	11819	74393	233122	11819	2913	4.058
		15	11819	74393	233122	11819	2913	4.058
		16	11819	74393	233122	11819	4296	2.751
		17	11819	74393	233122	11819	3923	3.012
2 [P]	1,70	1	7417	55795	174841	7417	2539	2.922
		2	7417	55795	174841	7417	2761	2.686
		3	7417	55795	174841	7417	3142	2.360
		4	7417	55795	174841	7417	1824	4.067
		5	7417	55795	174841	7417	1954	3.796
		6	7417	55795	174841	7417	2337	3.174
		10	7417	55795	174841	7417	1946	3.812
		11	7417	55795	174841	7417	2494	2.974
		12	7417	55795	174841	7417	2739	2.708
		13	8900	55795	174841	8900	1369	6.503
		14	8900	55795	174841	8900	1369	6.503
		15	8900	55795	174841	8900	1369	6.503
		16	8900	55795	174841	8900	1858	4.790
		17	8900	55795	174841	8900	1984	4.487

Sulzano, Aprile 2019

Il tecnico

ALLEGATI

ELABORAZIONE DATI E RISULTATI MURO CON CHIODI

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 permanenti 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 lasciati inalterati i carichi.

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 $\theta = \text{arctg}(k_h/(1 \pm k_v))$ essendo k_h il coefficiente sismico orizzontale e k_v il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di k_h.

In presenza di falda a monte, θ assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

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

Terreno a permeabilità elevata

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

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

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

dove il coefficiente *A* vale

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

In presenza di falda a monte, nel coefficiente *A* si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di θ.

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente *A* viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

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

dove *W* è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

Verifica a ribaltamento

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

Eseguendo il calcolo mediante gli eurocodici si puo impostare $\eta_r >= 1.0$.

Deve quindi essere verificata la seguente diseguaglianza

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

Il momento ribaltante M_r è dato dalla componente orizzontale della spinta *S*, dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è 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 η_s>=1.0

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

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta *N* la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

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

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 percento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f, diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Verifica al carico limite

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

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

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare η_q>=1.0

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

$$q_u = cN_cs_c + qN_q + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma$$

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:

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

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

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

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.

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 Meyerof $N_\gamma = (N_q - 1)tg(1.4*\phi)$

Verifica alla stabilità globale

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

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare η_g>=1.0

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

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:

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

dove il termine *m* è espresso da

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

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 fino a quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

SEZIONE DI CALCOLO

Geometria muro e fondazione

Altezza del muro	3,15 [m]
Spessore muro	0,35 [m]
Lunghezza del muro	43,70 [m]

Fondazione

Spessore fondazione	0,35 [m]

Descrizione tiranti di ancoraggio

Numero di file di tiranti 2

Tiranti passivi (tubolari)

	MEDIO	MINIMO
Angolo d'attrito tirante-terreno (°)	28.00	28.00
Aderenza tirante-terreno kg/cmq	1,0	1,0
Coefficiente di espansione laterale	1.10	

Tipologie tiranti

Simbologia adottata

Descr	Descrizione tipologia
Imat	Indice materiale
D	Diametro di perforazione, espresso in [mm]
Cesp	Coeff. di espansione laterale
Tipo armatura	Attivo, Passivo tondini o Passivo tubolare

Caratteristiche:
- per tiranti attivi: numero trefoli e area trefolo espresso in [cmq]
- per tiranti passivi con tondini: numero tondini e diametro tondino espresso in [mm]
- per tiranti passivi con tubolare: diametro e spessore tubolare, espressi in [mm]

Descr	Imat	D	Cesp	Tipo armatura	Caratteristiche
		[cm]			
Tirante passivo tubolare L 12 m	2	7,60	1.100	Passivo tubolare	32,00 [mm] 8,50 [mm]
Tirante passivo tubolare L 10 m	2	7,60	1.100	Passivo tubolare	32,00 [mm] 8,50 [mm]

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della fila
Dest	Destinazione del tirante (Fondazione, Paramento)
S	ordinata della fila misurata dalla testa del muro (se il tirante è posizionato sul paramento), ascissa della fila misurata dal tacco della fondazione (se il tirante è posizionato sulla fondazione) espressa in [m]
I	Interasse tra i tiranti della filla espressa in [m]

F Franco della fila espressa in [m]
ALL allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
Nt numero di tiranti della fila
α inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
T tiro iniziale espresso in [kg]. Solo per i tiranti attivi
Lt, Lf Lunghezza totale e di fondazione espressa in [m]. Definiti solo nel caso di Verifica.

n°	Tipologia	Dest	S	I	F	ALL	Nt	α	T	Lt	Lf
			[m]	*[m]*	*[m]*			*[°]*	*[kg]*	*[m]*	*[m]*
1	Tirante passivo tubolare L 12 m	Paramento	0,70	2,00	0,00	Centrati	21	30.00	--	12,00	8,00
2	Tirante passivo tubolare L 10 m	Paramento	1,70	2,00	0,00	Sfalsati	22	30.00	--	10,00	6,00

Materiali utilizzati per la struttura

Malta utilizzata per i tiranti

Resistenza caratteristica a compressione R_{ck} 300 [kg/cmq]

Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0} 6,0 [kg/cmq]

Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1} 18,3 [kg/cmq]

Acciaio utilizzato per i tiranti

Tipo S460

Tensione ammissibile σ_{fa} 2400 [kg/cmq]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)
N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	10,00	0,00	0,00

Falda

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	-5,00	-3,20	0.000
2	-0,35	-3,20	0.000
3	0,00	-1,70	76.866
4	5,00	-1,70	0.000

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]
τl Tensione tangenziale limite, espressa in [kg/cmq]

n°	Descr	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	c	ca	τl
		[kg/mc]	*[kg/mc]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*
1	Unità litotecnica B	1500,00	1700,00	28.000 28.000 28.000	18.667 18.667 18.667	0,01 0,01 0,01	0,01 0,01 0,01	1,00 1,00 1,00
2	Unità litotecnica A	1800,00	2000,00	33.900 33.900 33.900	22.600 22.600 22.600	0,00 0,00 0,00	0,00 0,00 0,00	1,00 1,00 1,00
3	Unità litotecnica C	2190,00	2390,00	40.500 40.500 40.500	27.000 27.000 27.000	0,00 0,00 0,00	0,00 0,00 0,00	1,00 1,00 1,00

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 (Condizione 1) - VARIABILE
Coeff. di combinazione Ψ_0=1.00 - Ψ_1=1.00 - Ψ_2=1.00

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	*[kg]*	*[kg]*	*[kgm]*	*[m]*	*[m]*	*[kg]*	*[kg]*
1	Distribuito					0,00	10,00	300,00	300,00

Normativa

Normativa usata: **Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 (D.M. 17.01.2018)**

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

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
Stabilità fronte di scavo	--	1.10	--	--	1.20	--

Coeff. parziali γ_R per la resistenza di ancoraggi

		R3
Laterale	γ_{Ra}	1.20

Coefficienti di riduzione ζ per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti
Numero di verticali indagate 1
ζ_3=1.80ζ_4=1.80
Verifica opera esistente

Livello di conoscenza per strutture esistenti LC1 - Livello di conoscenza basso
Fattore di confidenza 1.35

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
Condizione 1	1.50	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
Condizione 1	1.00	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
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - STR A1-M1-R3

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - STR A1-M1-R3

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - STR A1-M1-R3

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 7 - GEO A2-M2-R2

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.30	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 8 - 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
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 9 - 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
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 10 - EQU

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 11 - EQU H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 12 - EQU H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 13 - SLER

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 14 - SLEF

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 15 - SLEQ

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 16 - SLEQ H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 17 - SLEQ H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 18 - HYD

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 19 - UPL

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.50	1.00	Sfavorevole

Dati sismici

Comune	Brione
Provincia	Brescia
Regione	Lombardia
Latitudine	45.643203
Longitudine	10.149529
Indice punti di interpolazione	11608 - 11609 - 11387 - 11386
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	II
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	50 anni

	Simbolo	U.M.		SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a_g	[m/s^2]		1.380	0.518
Accelerazione al suolo	a_g/g	[%]		0.141	0.053
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0			2.426	2.408
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*			0.278	0.231
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		A	1.000	1.000
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200	
Coeff. di riduzione	β_m			1.000	1.000
Coeff. di riduzione verifica a ribaltamento	β_m			0.000	0.000
Coeff. di intensità sismica orizzontale	k_h	[%]		16.878	6.332
Coeff. di intensità sismica verticale	k_v=0.50 k_h	[%]		8.439	3.166

Forma diagramma incremento sismico Rettangolare

Risultati per combinazione

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	4898	20,97	4574	1753	0,70	-1,91
	Peso/Inerzia muro			0	3456/0	-0,09	-1,86
	Peso/Inerzia terrapieno			0	3908/0	0,35	-1,40
	Spinta falda da monte			1367		0,70	-2,67
	Sottostinta della falda				979	0,35	-3,15
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				110	-0,40	-3,15
	Resistenza tiranti			-7333	4233	-0,35	-1,14
2	Spinta statica	3701	20,98	3455	1325	0,70	-1,91
	Incremento di spinta sismica		1965	1835	704	0,70	-1,57
	Peso/Inerzia muro			583	3456/292	-0,09	-1,86
	Peso/Inerzia terrapieno			642	3803/321	0,35	-1,40
	Spinta falda da monte			1051		0,70	-2,67
	Sottostinta della falda				753	0,35	-3,15
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				110	-0,40	-3,15
	Resistenza tiranti			-7333	4233	-0,35	-1,14
3	Spinta statica	3701	20,99	3455	1326	0,70	-1,91
	Incremento di spinta sismica		1382	1291	495	0,70	-1,57
	Peso/Inerzia muro			583	3456/-292	-0,09	-1,86
	Peso/Inerzia terrapieno			642	3803/-321	0,35	-1,40
	Spinta falda da monte			1051		0,70	-2,67
	Sottostinta della falda				753	0,35	-3,15
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				110	-0,40	-3,15
	Resistenza tiranti			-7333	4233	-0,35	-1,14
4	Spinta statica	4898	20,97	4574	1753	0,70	-1,91
	Peso/Inerzia muro			0	4493/0	-0,09	-1,86
	Peso/Inerzia terrapieno			0	4986/0	0,35	-1,40
	Spinta falda da monte			1367		0,70	-2,67
	Sottostinta della falda				979	0,35	-3,15
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				143	-0,40	-3,15
	Resistenza tiranti			-7333	4233	-0,35	-1,14
5	Spinta statica	4898	20,97	4574	1753	0,70	-1,91
	Peso/Inerzia muro			0	3456/0	-0,09	-1,86
	Peso/Inerzia terrapieno			0	4986/0	0,35	-1,40
	Spinta falda da monte			1367		0,70	-2,67
	Sottostinta della falda				979	0,35	-3,15
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				143	-0,40	-3,15
	Resistenza tiranti			-7333	4233	-0,35	-1,14
6	Spinta statica	4898	20,97	4574	1753	0,70	-1,91
	Peso/Inerzia muro			0	4493/0	-0,09	-1,86
	Peso/Inerzia terrapieno			0	3908/0	0,35	-1,40

Ic	A	V	I	C_X	C_Y	P_X	P_Y
		[kg]	*[°]*	*[kg]*	*[kg]*	*[m]*	*[m]*
	Spinta falda da monte			1367		0,70	-2,67
	Sottostinta della falda				979	0,35	-3,15
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				110	-0,40	-3,15
	Resistenza tiranti			-7333	4233	-0,35	-1,14
13	Spinta statica	3701	20,98	3456	1325	0,70	-1,91
	Peso/Inerzia muro			0	3456/0	-0,09	-1,86
	Peso/Inerzia terrapieno			0	3803/0	0,35	-1,40
	Spinta falda da monte			1051		0,70	-2,67
	Sottostinta della falda				753	0,35	-3,15
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				110	-0,40	-3,15
	Resistenza tiranti			-8799	5080	-0,35	-1,14
14	Spinta statica	3701	20,98	3456	1325	0,70	-1,91
	Peso/Inerzia muro			0	3456/0	-0,09	-1,86
	Peso/Inerzia terrapieno			0	3803/0	0,35	-1,40
	Spinta falda da monte			1051		0,70	-2,67
	Sottostinta della falda				753	0,35	-3,15
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				110	-0,40	-3,15
	Resistenza tiranti			-8799	5080	-0,35	-1,14
15	Spinta statica	3701	20,98	3456	1325	0,70	-1,91
	Peso/Inerzia muro			0	3456/0	-0,09	-1,86
	Peso/Inerzia terrapieno			0	3803/0	0,35	-1,40
	Spinta falda da monte			1051		0,70	-2,67
	Sottostinta della falda				753	0,35	-3,15
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				110	-0,40	-3,15
	Resistenza tiranti			-8799	5080	-0,35	-1,14

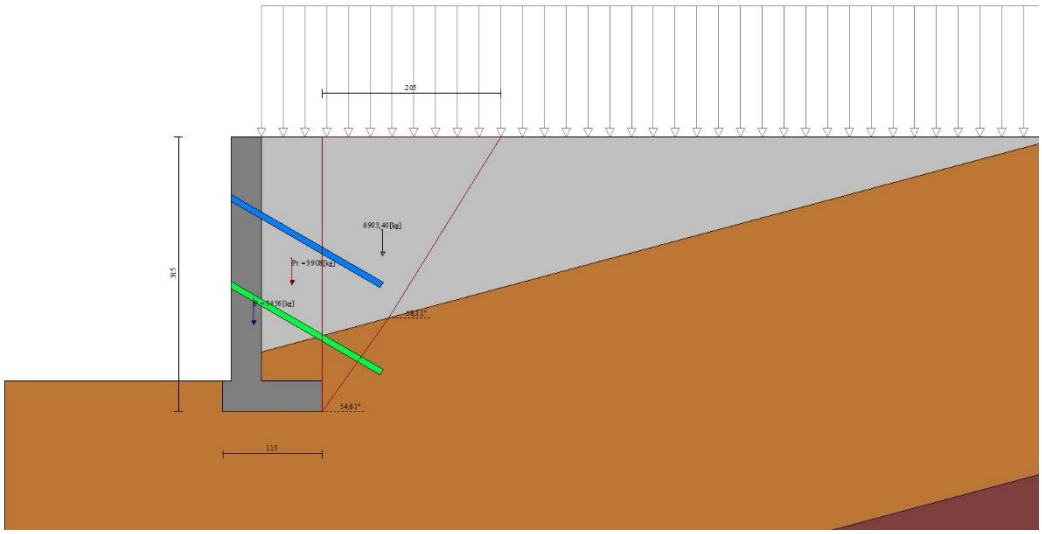


Fig. 4 - Cuneo di spinta (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

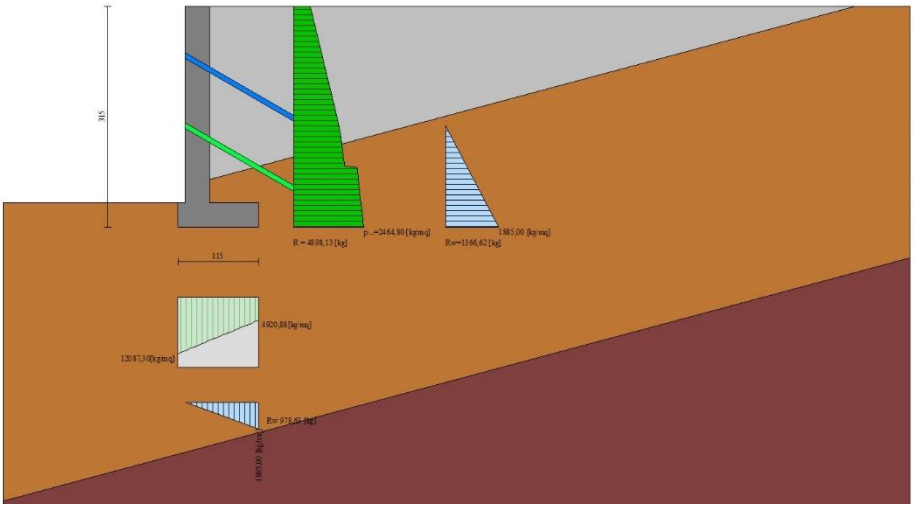


Fig. 5 - Diagramma delle pressioni (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

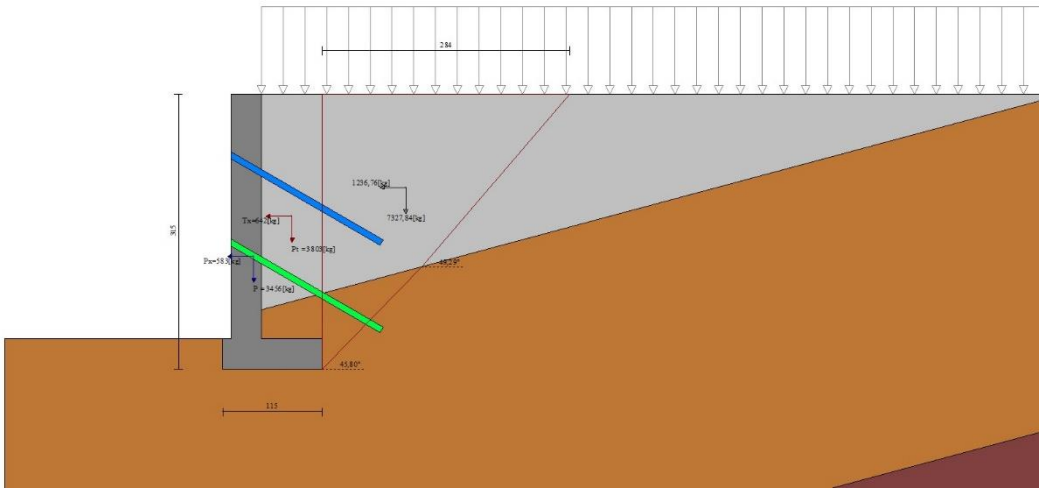


Fig. 6 - Cuneo di spinta (combinazione sismica) (Combinazione n° 2)

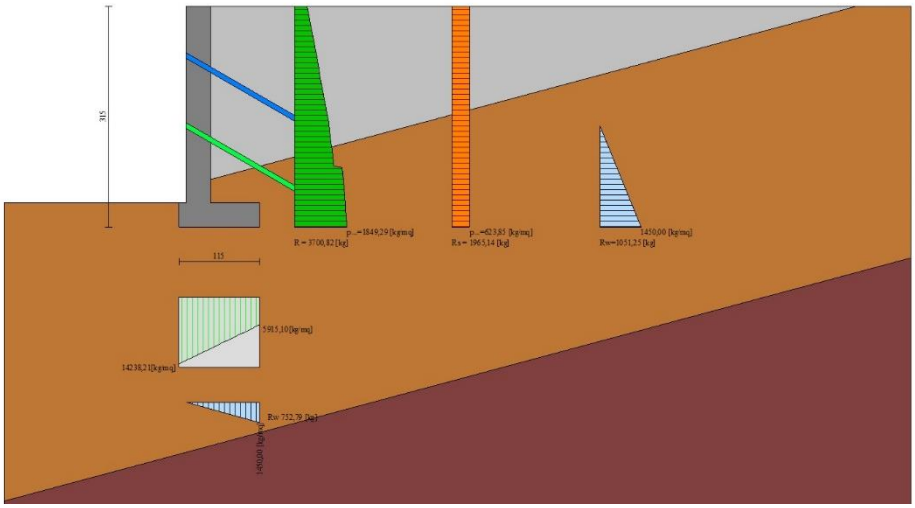


Fig. 7 - Diagramma delle pressioni (combinazione sismica) (Combinazione n° 2)

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		1.954		1.647			
2 - STR A1-M1-R3	H + V	1.579		1.524			
3 - STR A1-M1-R3	H - V	1.632		1.705			
4 - STR A1-M1-R3		2.076		1.405			
5 - STR A1-M1-R3		2.017		1.512			
6 - STR A1-M1-R3		2.013		1.520			
7 - GEO A2-M2-R2					1.446		
8 - GEO A2-M2-R2	H + V				1.367		
9 - GEO A2-M2-R2	H - V				1.233		
10 - EQU			1.667				
11 - EQU	H + V		1.561				
12 - EQU	H - V		1.500				
18 - HYD						100.000	
19 - UPL							9.908

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	4274	0	0	--	7333	11607	5940	1.954
2 - STR A1-M1-R3 H + V	4615	0	0	--	7333	11948	7567	1.579
3 - STR A1-M1-R3 H - V	4131	0	0	--	7333	11464	7022	1.632
4 - STR A1-M1-R3	5000	0	0	--	7333	12332	5940	2.076
5 - STR A1-M1-R3	4650	0	0	--	7333	11982	5940	2.017
6 - STR A1-M1-R3	4625	0	0	--	7333	11957	5940	2.013

Verifica a carico limite

Simbologia adottata

n° Indice combinazione
N Carico verticale totale, espresso in [kg]

Qu carico limite del terreno, espresso in [kg]
Qd Portanza di progetto, espresso in [kg]
FS Fattore di sicurezza (rapporto tra portanza di progetto e carico agente al piano di posa)

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	
1 - STR A1-M1-R3	12482	20554	14681	1.647
2 - STR A1-M1-R3 H + V	13491	20554	17128	1.524
3 - STR A1-M1-R3 H - V	12058	20554	17128	1.705
4 - STR A1-M1-R3	14629	20554	14681	1.405
5 - STR A1-M1-R3	13593	20554	14681	1.512
6 - STR A1-M1-R3	13519	20554	14681	1.520

Dettagli calcolo portanza

Simbologia adottata

n° Indece combinazione
Nc, Nq, Nγ Fattori di capacità portante
ic, iq, iγ Fattori di inclinazione del carico
dc, dq, dγ Fattori di profondità del piano di posa
gc, gq, gγ Fattori di inclinazione del profilo topografico
bc, bq, bγ Fattori di inclinazione del piano di posa
sc, sq, sγ Fattori di forma della fondazione
pc, pq, pγ Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
rγ 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 (Terzaghi).

n°	Nc Nq Nγ	ic iq iγ	dc dq dγ	gc gq gγ	bc bq bγ	sc sq sγ	pc pq pγ	rγ	D B' H	γ	ϕ	c
									[m] *[m]*	*[kg/mc]*	*[°]*	*[kg/cmq]*
1	31.612 17.808 13.708	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	1.300 1.000 0.800	-- -- --	1.000	0,35 1,15 0,31	700	28.00	0,01
2	31.612 17.808 13.708	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	1.300 1.000 0.800	-- -- --	1.000	0,35 1,15 0,31	700	28.00	0,01
3	31.612 17.808 13.708	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	1.300 1.000 0.800	-- -- --	1.000	0,35 1,15 0,31	700	28.00	0,01
4	31.612 17.808 13.708	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	1.300 1.000 0.800	-- -- --	1.000	0,35 1,15 0,31	700	28.00	0,01
5	31.612 17.808 13.708	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	1.300 1.000 0.800	-- -- --	1.000	0,35 1,15 0,31	700	28.00	0,01
6	31.612 17.808 13.708	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	1.300 1.000 0.800	-- -- --	1.000	0,35 1,15 0,31	700	28.00	0,01

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]*	
7 - GEO A2-M2-R2	-3,00; 0,00	4,87	1.446
8 - GEO A2-M2-R2 H + V	-3,00; 0,00	4,87	1.367
9 - GEO A2-M2-R2 H - V	-3,00; 0,00	4,87	1.233

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° 7 - GEO A2-M2-R2

n°	W	Qy	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kg]	*[kg]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg]*
1	582	138	1,87 - 0,35	79.000	28.261	0,00	0,000	-1541; 4475
2	1411	138	0,35	63.346	23.043	0,01	0,048	
3	1792	138	0,35	55.047	23.043	0,01	0,108	322; 3720
4	2145	138	0,35	48.269	23.043	0,01	0,154	
5	2401	138	0,35	42.312	23.043	0,01	0,190	
6	3061	38	0,35	36.881	23.043	0,01	0,184	
7	1488	0	0,35	31.817	23.043	0,01	0,093	
8	896	0	0,35	27.019	23.043	0,01	0,113	
9	995	0	0,35	22.420	23.043	0,01	0,130	
10	1081	0	0,35	17.970	23.043	0,01	0,143	
11	1152	0	0,35	13.629	23.043	0,01	0,153	
12	1206	0	0,35	9.368	23.043	0,01	0,160	
13	1243	0	0,35	5.158	23.043	0,01	0,165	
14	1264	0	0,35	0.977	23.043	0,01	0,167	
15	1270	0	0,35	-3.199	23.043	0,01	0,166	
16	1261	0	0,35	-7.393	23.043	0,01	0,163	
17	1235	0	0,35	-11.627	23.043	0,01	0,157	
18	1193	0	0,35	-15.927	23.043	0,01	0,148	
19	1133	0	0,35	-20.321	23.043	0,01	0,136	
20	1054	0	0,35	-24.846	23.043	0,01	0,122	
21	954	0	0,35	-29.543	23.043	0,01	0,103	
22	825	0	0,35	-34.473	23.043	0,01	0,081	
23	639	0	0,35	-39.716	23.043	0,01	0,054	
24	407	0	0,35	-45.401	23.043	0,01	0,021	

n°	W	Qy	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kg]	*[kg]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg]*
25	134	0	-6,99 - 0,35	-50.788	23.043	0,01	0,000	

Combinazione n° 8 - 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	582	106	1,87 - 0,35	79.000	33.900	0,00	0,000	-1541; 4475
2	1411	106	0,35	63.346	28.000	0,01	0,048	
3	1792	106	0,35	55.047	28.000	0,01	0,108	322; 3720
4	2145	106	0,35	48.269	28.000	0,01	0,154	
5	2401	106	0,35	42.312	28.000	0,01	0,190	
6	3061	29	0,35	36.881	28.000	0,01	0,184	
7	1488	0	0,35	31.817	28.000	0,01	0,093	
8	896	0	0,35	27.019	28.000	0,01	0,113	
9	995	0	0,35	22.420	28.000	0,01	0,130	
10	1081	0	0,35	17.970	28.000	0,01	0,143	
11	1152	0	0,35	13.629	28.000	0,01	0,153	
12	1206	0	0,35	9.368	28.000	0,01	0,160	
13	1243	0	0,35	5.158	28.000	0,01	0,165	
14	1264	0	0,35	0.977	28.000	0,01	0,167	
15	1270	0	0,35	-3.199	28.000	0,01	0,166	
16	1261	0	0,35	-7.393	28.000	0,01	0,163	
17	1235	0	0,35	-11.627	28.000	0,01	0,157	
18	1193	0	0,35	-15.927	28.000	0,01	0,148	
19	1133	0	0,35	-20.321	28.000	0,01	0,136	
20	1054	0	0,35	-24.846	28.000	0,01	0,122	
21	954	0	0,35	-29.543	28.000	0,01	0,103	
22	825	0	0,35	-34.473	28.000	0,01	0,081	
23	639	0	0,35	-39.716	28.000	0,01	0,054	
24	407	0	0,35	-45.401	28.000	0,01	0,021	
25	134	0	-6,99 - 0,35	-50.788	28.000	0,01	0,000	

Combinazione n° 9 - 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	582	106	1,87 - 0,35	79.000	33.900	0,00	0,000	-1541; 4475
2	1411	106	0,35	63.346	28.000	0,01	0,048	
3	1792	106	0,35	55.047	28.000	0,01	0,108	322; 3720
4	2145	106	0,35	48.269	28.000	0,01	0,154	
5	2401	106	0,35	42.312	28.000	0,01	0,190	
6	3061	29	0,35	36.881	28.000	0,01	0,184	
7	1488	0	0,35	31.817	28.000	0,01	0,093	
8	896	0	0,35	27.019	28.000	0,01	0,113	
9	995	0	0,35	22.420	28.000	0,01	0,130	
10	1081	0	0,35	17.970	28.000	0,01	0,143	
11	1152	0	0,35	13.629	28.000	0,01	0,153	
12	1206	0	0,35	9.368	28.000	0,01	0,160	
13	1243	0	0,35	5.158	28.000	0,01	0,165	
14	1264	0	0,35	0.977	28.000	0,01	0,167	
15	1270	0	0,35	-3.199	28.000	0,01	0,166	
16	1261	0	0,35	-7.393	28.000	0,01	0,163	
17	1235	0	0,35	-11.627	28.000	0,01	0,157	
18	1193	0	0,35	-15.927	28.000	0,01	0,148	
19	1133	0	0,35	-20.321	28.000	0,01	0,136	

n°	W	Qy	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kg]	*[kg]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg]*
20	1054	0	0,35	-24.846	28.000	0,01	0,122	
21	954	0	0,35	-29.543	28.000	0,01	0,103	
22	825	0	0,35	-34.473	28.000	0,01	0,081	
23	639	0	0,35	-39.716	28.000	0,01	0,054	
24	407	0	0,35	-45.401	28.000	0,01	0,021	
25	134	0	-6,99 - 0,35	-50.788	28.000	0,01	0,000	

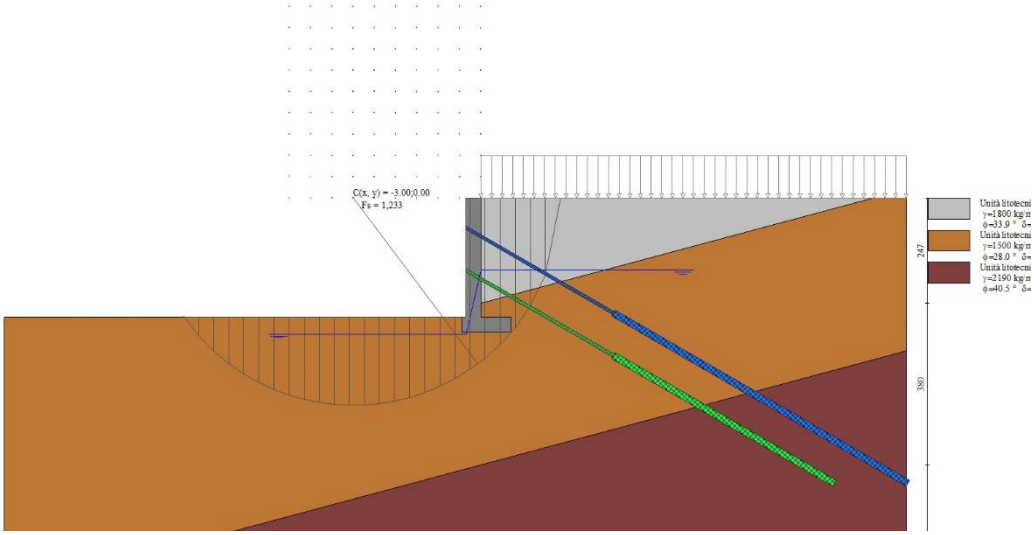


Fig. 8 - Stabilità fronte di scavo - Cerchio critico (Combinazione n° 9)

Verifica a sifonamento

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
ΔH	perdita di carico, espressa in [m]
L	Lunghezza di filtrazione, espressa in [m]
γm	Peso galleggiamento medio, espressa in [kg/mc]
i_C	gradiente idraulico critico
i_E	gradiente idraulico di efflusso
FS	Fattore di sicurezza a sifonamento (rapporto tra ic/ie)

Ic	ΔH	L	γm	i_C	i_E	FS
	[m]	*[m]*	*[kg/mc]*			
18	1,50	0,00	0,00	0.000	0.566	100.000

Verifica a sollevamento

Simbologia adottata

As	Azione stabilizzante, espressa in [kg]
Ai	Azione instabilizzante, espressa in [kg]
Rp	Resistenza di progetto, espressa in [kg]
FS	Fattore di sicurezza a sollevamento (rapporto tra As/Ai)

Ic	As	Ai	FS

	[kg]	[kg]	
19	17349	828	9.908

Tiranti

Simbologia adottata

It Indice tirante (tra parentesi viene indicata la posizione P: paramento, F: fondazione)
S Ordinata sul paramento o ascissa sulla fondazione, espressa in [m]
Ic Indice combinazione

Dettagli di calcolo

Simbologia adottata

Lf Lunghezza bulbo fondazione necessaria ad assorbire il tiro in esercizio, espressa in [m]. In grassetto la lunghezza usata nel calcolo della resistenza
Lt Lunghezza totale (lunghezza del bulbo di fondazione + tratto inefficace), espressa in [m]. In grassetto la lunghezza massima
N Tiro in esercizio sul tirante, espresso in [kg]. In grassetto il tiro massimo in esercizio
Nx/ml, Ny/ml Componente in direzione X ed Y del tiro a metro lineare, espresso in [kg]
R Resistenza di progetto, espresso in [kg]
Rx/ml, Ry/ml Resistenza in direzione X ed Y a metro lineare, espressa in [kg]

It	S	Ic	Lf	Lt	N	Nx/ml	Ny/ml	R	Rx/ml	Ry/ml
	[m]		*[m]*	*[m]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*
1 [P]	0,70	1	3,00	7,00	3715	1546	893	9849	1546	893
		2	5,50	9,50	6807	2833	1636	9849	2833	1636
		3	4,80	8,80	5864	2440	1409	9849	2440	1409
		4	3,10	7,10	3828	1593	920	9849	1593	920
		5	3,00	7,00	3766	1567	905	9849	1567	905
		6	3,10	7,10	3812	1586	916	9849	1586	916
		10	3,20	7,20	4007	1667	963	9849	1667	963
		11	5,70	9,70	6939	2888	1667	9849	2888	1667
		12	4,90	8,90	6063	2523	1457	9849	2523	1457
		13	1,90	5,90	2913	1212	700	11819	1212	700
		14	1,90	5,90	2913	1212	700	11819	1212	700
		15	1,90	5,90	2913	1212	700	11819	1212	700
		16	2,90	6,90	4296	1788	1032	11819	1788	1032
		17	2,60	6,60	3923	1633	943	11819	1633	943
			8,00	**12,00**	**6939**					
2 [P]	1,70	1	2,00	6,00	2539	1107	639	7417	1107	639
		2	2,20	6,20	2761	1204	695	7417	1204	695
		3	2,50	6,50	3142	1370	791	7417	1370	791
		4	1,50	5,50	1824	795	459	7417	795	459
		5	1,60	5,60	1954	852	492	7417	852	492
		6	1,90	5,90	2337	1019	588	7417	1019	588
		10	1,60	5,60	1946	848	490	7417	848	490
		11	2,00	6,00	2494	1087	628	7417	1087	628
		12	2,20	6,20	2739	1194	689	7417	1194	689
		13	0,90	4,90	1369	597	345	8900	597	345
		14	0,90	4,90	1369	597	345	8900	597	345
		15	0,90	4,90	1369	597	345	8900	597	345
		16	1,20	5,20	1858	810	468	8900	810	468
		17	1,30	5,30	1984	865	499	8900	865	499
			6,00	**10,00**	**3142**					

Verifica di resistenza allo sfilamento

Simbologia adottata

R1 Resistenza allo sfilamento del tirante dal terreno, espressa in [kg]
R2 Resistenza di aderenza malta-armatura, espresso in [kg]
R3 Resistenza malta, espresso in [kg]
R Resistenza (minimo tra R1, R2 e R3), espresso in [kg]
N Tiro in esercizio sul tirante, espresso in [kg]
FS Fattore di sicurezza (rapporto R/N)

It	S	Ic	R1	R2	R3	R	N	FS
	[m]		*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	
1 [P]	0,70	1	9849	74393	233122	9849	3715	2.651
		2	9849	74393	233122	9849	6807	1.447
		3	9849	74393	233122	9849	5864	1.680
		4	9849	74393	233122	9849	3828	2.573
		5	9849	74393	233122	9849	3766	2.615
		6	9849	74393	233122	9849	3812	2.584
		10	9849	74393	233122	9849	4007	2.458
		11	9849	74393	233122	9849	6939	1.419
		12	9849	74393	233122	9849	6063	1.624
		13	11819	74393	233122	11819	2913	4.058
		14	11819	74393	233122	11819	2913	4.058
		15	11819	74393	233122	11819	2913	4.058
		16	11819	74393	233122	11819	4296	2.751
		17	11819	74393	233122	11819	3923	3.012
2 [P]	1,70	1	7417	55795	174841	7417	2539	2.922
		2	7417	55795	174841	7417	2761	2.686
		3	7417	55795	174841	7417	3142	2.360
		4	7417	55795	174841	7417	1824	4.067
		5	7417	55795	174841	7417	1954	3.796
		6	7417	55795	174841	7417	2337	3.174
		10	7417	55795	174841	7417	1946	3.812
		11	7417	55795	174841	7417	2494	2.974
		12	7417	55795	174841	7417	2739	2.708
		13	8900	55795	174841	8900	1369	6.503
		14	8900	55795	174841	8900	1369	6.503
		15	8900	55795	174841	8900	1369	6.503
		16	8900	55795	174841	8900	1858	4.790
		17	8900	55795	174841	8900	1984	4.487

Verifica delle tensioni massime nell'armatura del tirante

Simbologia adottata

N_{MAX} Tiro massimo in esercizio sul tirante, espresso in [kg]
A Area del tirante, espresso in [cmq]
σ_f Tensione nel tirante (N_{MAX}/A), espresso in [kg/cmq]
σ_{lim} Tensione limite dell'acciaio del tirante, espresso in [kg/cmq]

It	S	N_{MAX}	A	σ_f	σ_{lim}
	[m]	*[kg]*	*[cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*
1 [P]	0,70	6939	6,28	1105,70	4000,00
2 [P]	1,70	3142	6,28	500,72	4000,00

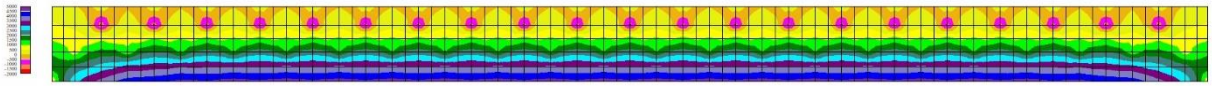


Fig. - Piastra paramento - Momento My_{MAX} (Combinazione n° 2)

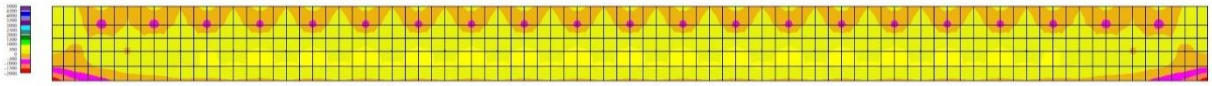


Fig. - Piastra paramento - Momento My_{MIN} (Combinazione n° 4)

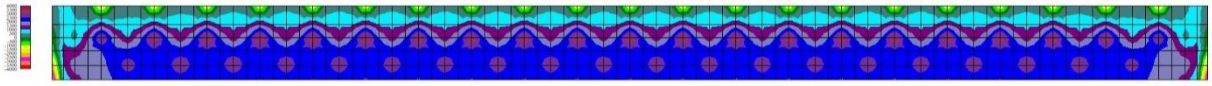


Fig. - Piastra paramento - Taglio Ty (Combinazione n° 2)

Fondazione

n°	X	Nmin	Nmax	Tmin	Tmax	Mmin	Mmax
	[m]	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kgm]*	*[kgm]*
1	-0,45	0	0	0	0	0	0
2	-0,35	0	0	1005	1348	46	62
3	0,00	0	0	245	2169	-45	592
4	0,10	0	0	81	1686	-69	401
5	0,20	0	0	-40	1261	-74	254
6	0,30	0	0	-150	894	-63	148
7	0,40	0	0	-205	584	-45	74
8	0,50	0	0	-198	332	-24	29
9	0,60	0	0	-130	137	-7	6
10	0,70	0	0	0	0	0	0

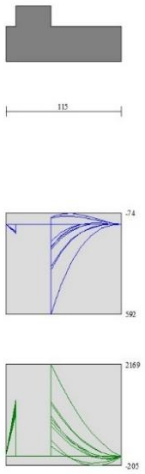


Fig. - Fondazione