

COMUNE DI CHALLAND-SAINT-ANSELME

◆ ◆ ◆ ◆

**OPERE IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO O
PRECOMPRESSO ED A STRUTTURA METALLICA**

◆ ◆ ◆ ◆

Lavori di: *Realizzazione di area di parcheggio in fraz. Pésan*

Doc. e prog. : RC01

Committente: Comune di Challand-Saint-Anselme

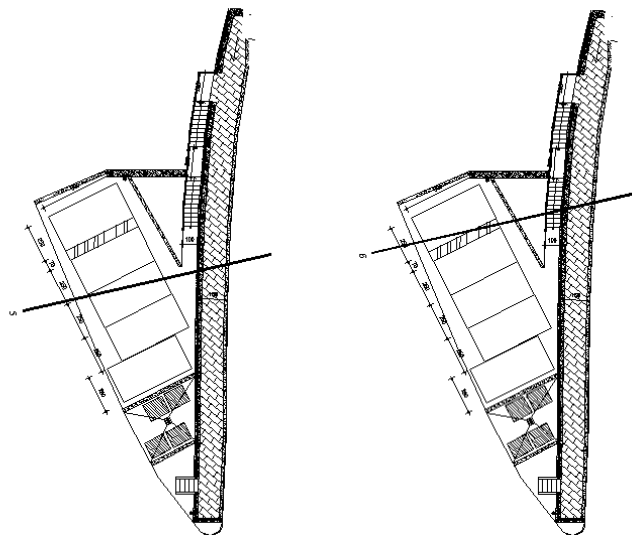
Progettista : ing. Camos Erik

RELAZIONE DI CALCOLO

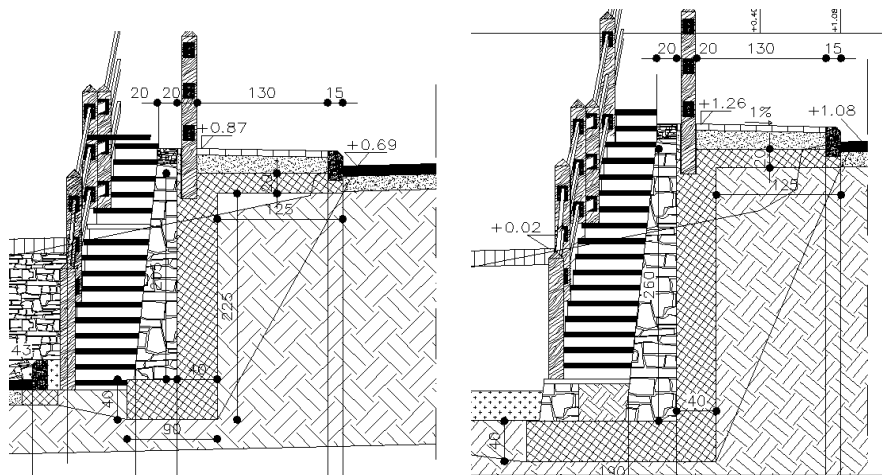
**MURO DI SOSTEGNO
- OPERA PERMANENTE -**

PREMESSA

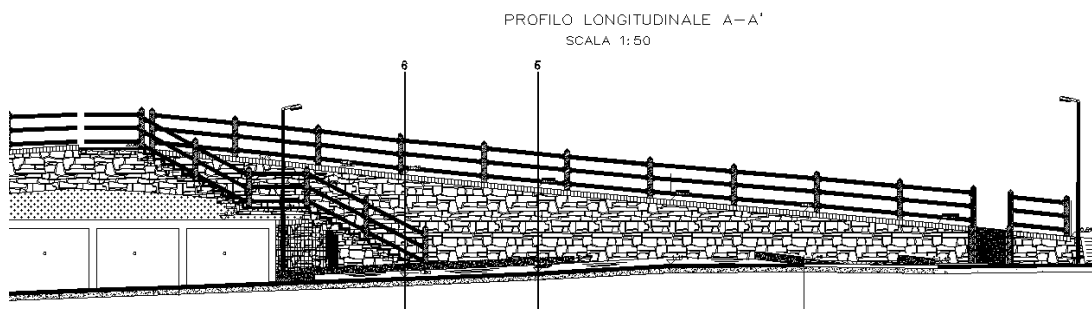
Nella seguente relazione di calcolo si riportano i risultati relativi alle verifiche geotecniche e strutturali di un muro in calcestruzzo armato. Tale opera avrà il compito di assorbire i carichi permanenti indotti dal terreno. Si mostrano di seguito due sezioni tipo impiegate per effettuare le verifiche di stabilità e resistenza (sia geotecniche che strutturali).



Planimetria di progetto dell'intervento in esame (a sinistra la sezione tipo n. 5 e a destra la sezione tipo n. 6).



Sezioni di progetto dell'intervento in esame (a sinistra la sezione tipo n. 5 e a destra la sezione tipo n. 6).



Prospetto di progetto dell'intervento in esame (a sinistra la sezione tipo n. 6 e a destra la sezione tipo n. 5).

Si riportano di seguito i listati di calcolo ottenuti con il software WallCAD 7.10 di Concrete.

Verifica sezione n°5

Indice generale

0 Premessa	4
0.1 Localizzazione del sito in esame	4
0.2 Considerazioni in merito alle verifiche di sicurezza	4
0.3 Considerazioni in merito all'azione sismica e alla spinta passiva	4
0.4 Carico variabile	4
0.5 Muro e terreno	5
0.6 Carichi	5
1 Descrizione del software	6
2 Normative di riferimento	6
3 Geometria del muro	7
3.1 Sistema di riferimento	7
3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale	8
3.3 Rappresentazione analitica	8
4 Caratteristiche dei terreni	9
5 Geometria degli strati	9
6 Geometria dei carichi	10
7 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche	11
7.1 Descrizione della normativa sismica	11
7.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte	13
7.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza	14
8 Distribuzioni di spinte e pressioni	15
8.1 Pressioni	15
8.1.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1	15
8.1.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2	15
8.1.3 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-3	15
8.1.4 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-4	16
8.1.5 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-1	16
8.1.6 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-2	16
8.1.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-3	16
8.1.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-4	16
8.1.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-1	17
8.1.10 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-2	17
8.1.11 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-1	17
8.1.12 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-2	17
8.1.13 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-3	17
8.1.14 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-4	18
8.1.15 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-1	18
8.1.16 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-2	18
9 Risultante delle azioni agenti sul muro	18
9.1 Combinazioni di calcolo	18
9.1.1 Combinazione di carico EQU-1	19
9.1.2 Combinazione di carico EQU-2	19
9.1.3 Combinazione di carico EQU-3	19

9.1.4 Combinazione di carico EQU-4	20
9.1.5 Combinazione di carico STR-1	20
9.1.6 Combinazione di carico STR-2	20
9.1.7 Combinazione di carico STR-3	20
9.1.8 Combinazione di carico STR-4	20
9.1.9 Combinazione di carico GEO-1	20
9.1.10 Combinazione di carico GEO-2	21
9.1.11 Combinazione di carico SIS-1	21
9.1.12 Combinazione di carico SIS-2	21
9.1.13 Combinazione di carico SIS-3	21
9.1.14 Combinazione di carico SIS-4	21
10 Verifiche di stabilità locale	21
10.1 Tensioni trasmesse sul terreno	22
10.2 Verifica a traslazione	22
10.3 Verifica a ribaltamento	22
10.4 Verifica al carico limite	22
11 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio	24
12 Parametri per dimensionamento armatura	24
13 Sollecitazioni e verifiche strutturali	24

0 Premessa

Nella seguente relazione di calcolo di riportano i risultati relativi alle verifiche geotecniche e strutturali di un'opera di sostegno tipo. Si ritiene doveroso fare alcune considerazioni riportate nei paragrafi che seguono.

0.1 Localizzazione del sito in esame

L'opera in esame è localizzata nel comune di Challand-Saint-Anselme – loc. Pésan alle seguenti coordinate

N 45°,714778 – E 7°,732790 (DATUM ED 50)

a cui corrisponde un rapporto ag/g per il sito in esame allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) pari a circa 0,06. Il sottosuolo considerato è di tipo B.

0.2 Considerazioni in merito alle verifiche di sicurezza

Nell'opera in esame si è deciso di adottare il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite – metodo pseudostatico secondo le indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 (indicate di seguito con l'acronimo NTC).

0.3 Considerazioni in merito all'azione sismica e alla spinta passiva

A) Il comune in esame ricade in zona sismica 4 secondo quanto indicato dalla DGR 5130/2003 (in attesa della nuova zonazione sismica regionale che porterà tutti i comuni in zona sismica 3). Nel caso in esame si è deciso di considerare l'azione sismica verticale, in quanto l'opera è realizzata nella futura zona sismica 3 (NTC - §3.2.3.1). L'azione sismica orizzontale viene considerata ammettendo uno spostamento ammissibile del muro: ciò conduce alla riduzione dell'azione agente secondo i coefficienti β_s e β_m indicati nelle NTC - tab. 7.11.I e tab. 7.11.II.

B) Non si ritiene opportuno ridurre il coefficiente di capacità portante secondo le indicazioni della Circolare integrativa 2009 nel caso sismico in mancanza di indicazioni supplementari da parte del normatore.

C) La verifica a liquefazione del terreno può essere esclusa in quanto si manifesta uno dei cinque punti indicati al § 7.11.3.4.2, ovvero accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0,1g (considerato allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, in mancanza di indicazioni più precise da parte del normatore).

D) Il software permette di considerare un contributo della spinta passiva non superiore al 50% di quella totale. Nelle verifiche del muro sono stati considerati dei moltiplicatori per la spinta passiva uguali da zero: il valore dell'angolo di attrito muro-terreno viene quindi specificato nel punto seguente.

E) Si è deciso di considerare un valore dell'angolo di attrito muro-terreno pari ai 2/3 dell'angolo di resistenza al taglio.

0.4 Carico variabile

Il coefficiente ψ_{s2} (valore di partecipazione sismica della parte variabile del carico) è stato posto pari a 0,3 secondo le indicazioni della software house e in mancanza di indicazioni più precise da parte del normatore.

0.5 Muro e terreno

Nella presente relazione vengono effettuate le verifiche di sicurezza sul muro sezione tipo 5, come indicato nell'immagine al capitolo 4 della presente relazione.

0.6 Carichi

Nel caso in esame si sono adottati diversi carichi a monte del muro di sostegno, riassunti qui di seguito.

- 1) carico concentrato: sulla sommità del muro è stato inserito un carico concentrato per simulare la reazione indotta dalla soletta del marciapiede. Per la sua valutazione è stata effettuata un'analisi dei carichi assumendo un peso proprio del materiale del marciapiede pari a 2400 daN/m^3 . L'eventuale momento flettente agente è stato invece posto pari a zero perché agente in senso orario, quindi stabilizzante e a favore di sicurezza.
- 2) Carico lineare (I): è stato considerato un carico lineare sulla sezione per simulare l'azione della folla compatta sul marciapiede. E' stato adottato un valore pari a 500 daN/m^2 .
- 3) Carico lineare (II): è stato considerato un carico lineare sulla sezione per simulare l'azione dei mezzi pesanti sulla strada retrostante. E' stato adottato un valore pari a 2000 daN/m^3 desunto da normative ANAS.

1 Descrizione del software

Si tratta di un programma di calcolo strutturale dedicato al progetto e verifica di Opere di Sostegno in cemento armato e a gravità. Il programma permette il calcolo delle spinte nelle diverse combinazioni di calcolo analizzate, l'esecuzione di verifiche di stabilità locale e globale di natura geotecnica, la progettazione delle parti in cemento armato e la verifica di resistenza strutturale. Nella determinazione delle sollecitazioni strutturali può utilizzare un proprio solutore agli elementi finiti tridimensionale fornito col pacchetto. Nella relazione di calcolo vengono riportati i dati di input, le combinazioni di calcolo adottate, le pressioni e le spinte trovate, nonché i risultati delle verifiche geotecniche e strutturali. Vengono anche prodotte le tavole con i prospetti e le distinte di armatura, ed il computo metrico delle principali grandezze.

SPECIFICHE TECNICHE

Denominazione del software: WallCAD 7

Produttore del software: Concrete

Concrete srl, via della Pieve, 15, 35121 PADOVA - Italy

<http://www.concrete.it>

Rivenditore: CONCRETE SRL - Via della Pieve 19 - 35121 Padova - tel.049-8754720

Versione: 7.10

Versione regolarmente licenziata

SCHEMATIZZAZIONE STRUTTURALE E CRITERI DI CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Il programma permette il calcolo della spinta delle terre mediante metodi propri dell'Equilibrio limite e la valutazione della stabilità globale con metodi propri della stabilità dei pendii; le azioni sismiche vengono valutate mediante un approccio pseudo-statico, in accordo alle varie normative adottate. Le spinte vengono pensate agenti su un tratto di lunghezza unitaria di un muro di lunghezza indefinita, con sezione che resta quindi in stato piano di deformazione; nel caso di elementi discontinui con lo sviluppo del muro (come pali, tiranti, contrafforti, carichi puntuali) viene invece creato un modello 3D ad elementi finiti, di lunghezza e condizioni di vincolo alle estremità deciso dall'utente. In quest'ultimo caso le sollecitazioni sono calcolate dal modello numerico per integrazione nel tratto di verifica. La reazione del suolo è quella teorica di fondazione rigida su suolo elastico non reagente al sollevamento; nel caso di studio con modello fem il suolo è modellato mediante un numero elevato di molle elastoplastiche verticali, non reagenti al sollevamento; in direzione orizzontale sono altresì presenti molle elastiche di modulo di reazione proporzionale al verticale. I pali sono modellati suddividendo l'asta in più aste immerse in terreni di stratigrafia definita dall'utente. Nei nodi di divisione tra le aste vengono inserite molle assialsimmetriche elastoplastiche precaricate dalla spinta a riposo che hanno come pressione limite minima la spinta attiva e come pressione limite massima la spinta passiva modificabile attraverso opportuni coefficienti. I tiranti sono modellati mediante molle elastoplastiche di rigidità equivalente al sistema terreno/tratto libero/tratto ancorato, e di limiti plastici a trazione e compressione assegnati. I carichi possono essere inseriti sia sul muro che sul terreno; in quest'ultimo caso il carico uniforme è trattato come uno strato di spessore equivalente, mentre gli altri tipi di carico (lineare o nastriforme) vengono diffusi in orizzontale e sovrapposti alle restanti azioni.

VERIFICHE DELLE MEMBRATURE IN CEMENTO ARMATO

Nel caso più generale le verifiche degli elementi in c.a. possono essere condotte col metodo delle tensioni ammissibili (D.M. 14-1-92) o agli stati limite in accordo al D.M. 09-01-96, al D.M. 14-01-08 o secondo Eurocodice 2. Le membrature in c.a. sono verificate a pressoflessione e taglio come piastre non espressamente armate a taglio, i pali sono verificati a pressoflessione, taglio e punzonamento verso la suola; nel caso di micropali si considera la sola resistenza del tubolare in acciaio.

2 Normative di riferimento

L. 05.11.1971, n. 1086. Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica

D.M. LL.PP. del 14.02.1992. Norme Tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. del 09.01.1996. Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. del 16.01.1996. Norme Tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

D.M. del 16.01.1996. Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Circolare Ministeriale del 04.07.1996 n. 156AA.GG./STC. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al Decreto Ministeriale 16.01.1996.

L. 02.02.1974, n. 64. Provvedimenti per costruzioni con particolari prescrizioni per zone sismiche.

D.M. LL. PP. E INT. 19.06.1984. Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

D.M. LL. PP. 11.03.1988. Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Circolare Ministeriale del 24.07.1988, n. 30483/STC.

Legge 2 Febbraio 1974 n. 64, art. 1 - D.M. 11 Marzo 1988. Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Circolare Ministeriale del 15.10.1996 N°252. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M.09.01.1996

Circolare Ministeriale del 10.04.1997 N°65/AA.GG. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M.16.01.1996

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N°3274 del 20.03.2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N°3431 del 10.05.2005. Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza N°3274.

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.09.2005 (TU 2005)

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 (NTC 2008)

3 Geometria del muro

La descrizione della geometria del muro si avvale di una duplice rappresentazione, una schematica, tramite la sezione trasversale, e l'altra in forma analitica tramite le dimensioni principali degli elementi costituenti.

3.1 Sistema di riferimento

Nella seguente rappresentazione schematica viene rappresentata la posizione e l'orientamento del sistema di riferimento rispetto ai vertici principali della sagoma del muro.

Sistema di riferimento adottato per le coordinate:

Ascisse X (espresse in centimetri) positive verso destra

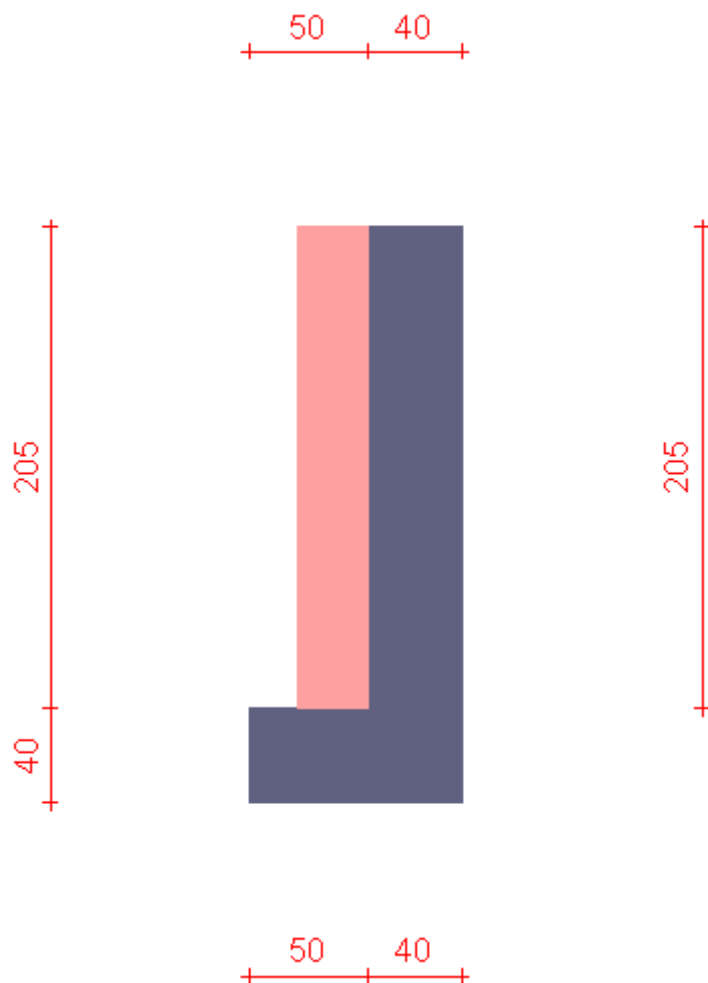
Ordinate Y (espresse in centimetri) positive verso l'alto

Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da sinistra verso destra

Le forze verticali sono considerate positive se agenti dal basso verso l'alto

Tutti i valori in output sono riferiti ad 1 centimetro di muro.

3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale



3.3 Rappresentazione analitica

Il muro viene convenzionalmente suddiviso in blocchi principali ed eventuali accessori.

Ingombro globale

Larghezza totale del muro	: 90 cm
Altezza totale del muro	: 245 cm
Peso specifico del muro	: 2500 daN/m ³
Peso specifico delle falde	: 1000 daN/m ³

Paramento

Base inf.	: 40 cm
Base sup.	: 40 cm
Altezza	: 205 cm

Disassamento : 0 cm

Mensola sinistra in fondazione

Larghezza : 50 cm
Alt.interna : 40 cm
Alt.esterna : 40 cm
Disassamento : 0 cm

Zoccolo centrale in fondazione

Larghezza : 40 cm
Altezza a sx : 40 cm
Altezza a dx : 40 cm
Sfalsamento : 0 cm

4 Caratteristiche dei terreni

Significato dei simboli e unità di misura:

Gsat: Peso specifico saturo del terreno, utilizzato nelle zone immerse (daN/m³)

Gnat: Peso specifico naturale del terreno, utilizzato nelle zone non immerse (daN/m³)

Fi: Angolo di attrito interno del terreno (deg)

C': Coesione drenata del terreno (daN/cm²)

Cnd: Coesione non drenata del terreno (daN/cm²)

Delta: Angolo di attrito all'interfaccia terreno/paramento (deg)

Al: Adesione della coesione all'interfaccia terreno/cls (-)

OCR: Coefficiente di sovraconsolidazione del terreno (-)

Ko: Coefficiente di spinta a riposo del terreno (-)

E: Modulo elastico longitudinale del terreno (daN/cm²)

G: Modulo elastico tangenziale del terreno (daN/cm²)

Perm: Permeabilità del terreno (cm/sec)

N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	Al	OCR	Ko	E	G	Perm
1	Pésan	2000	1800	36,00	0,000	0,000	24,00	1,00	1,00	0,41	900	345	3,30E-01

5 Geometria degli strati

Vengono mostrate in forma tabellare le sequenze di punti che costituiscono le poligonali di separazione degli strati di terreno.

Strato n.1, materiale sottostante: Pésan

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	20	205
2	2	2277	205

Strato n.2, materiale sottostante: Pésan

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	-2335	0
2	4	-70	0

Strato n.3, materiale sottostante: Pésan

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-70	-40
2	-	-20	-40
3	-	20	-40

6 Geometria dei carichi

Le coordinate e le componenti dei carichi stampate in questo paragrafo sono riferite al sistema di riferimento relativo alla sezione trasversale, dove gli assi X e Y locali coincidono rispettivamente con gli assi X e Z globali. L'asse Y globale si sviluppa nella profondità del muro. Tutte le tipologie di carico, esclusa quella puntuale, hanno componenti e coordinate diverse da zero solo lungo gli assi locali X e Y. Nel caso di carichi puntuali viene indicata anche la posizione in profondità (P), riferita rispetto alla sezione trasversale iniziale dell'intervento e quindi lungo l'asse Y globale.

Carico n.1

Tipo di carico: distribuito

Punto di inserimento:

X (asse X globale): 215 cm

Y (asse Z globale): 205 cm

Ampiezza: 500 cm

Condizione: Permanenti

Valore iniziale: 0,00 daN/cm²

Valore finale: 0,00 daN/cm²

Condizione: Variabili

Valore iniziale: -0,20 daN/cm²

Valore finale: -0,20 daN/cm²

Carico n.2

Tipo di carico: distribuito

Punto di inserimento:

X (asse X globale): 20 cm

Y (asse Z globale): 205 cm

Ampiezza: 195 cm

Condizione: Permanenti

Valore iniziale: 0,00 daN/cm²

Valore finale: 0,00 daN/cm²

Condizione: Variabili

Valore iniziale: -0,05 daN/cm²

Valore finale: -0,05 daN/cm²

Carico n.3

Tipo di carico: concentrato

Punto di inserimento:

X (asse X globale): 0 cm

Y (asse Z globale): 205 cm

Condizione: Permanenti

Componente Fx: 0,00 daN/cm

Componente Fy: -10,00 daN/cm

Condizione: Variabili

Componente Fx: 0,00 daN/cm

Componente F_y : 0,00 daN/cm

7 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche

Metodo di calcolo della spinta del terreno	: Cuneo di tentativo
Metodo di calcolo della portanza del terreno	: Brinch-Hansen
Normativa adottata per le verifiche locali	: D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le
Costruzioni	

Normativa adottata per il sisma: D.M. 14/01/2008 Norme tecniche per le costruzioni NTC 2008.
Localizzazione dell'opera: Valle D'aosta/vallée D'aoste, Challand-saint-anselme, Pésan
Vita nominale dell'opera (Tab. 2.4.I): 50 anni
Classe d'uso (Tab. 2.4.II): 2
Parametri sismici calcolati per lo stato limite : SLV
Accelerazione relativa A_g/g massima attesa al suolo: 0.06 g
Categoria del suolo di fondazione: B
Coefficiente di amplificazione stratigrafica: 1.2
Coefficiente di amplificazione topografica: 1
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima per il sito (β_m): 0.2
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima per muri (β_m): 0.18
Punto di applicazione della forza dinamica: stesso punto di quella statica
Effetto della componente verticale di accelerazione sismica incluso.

7.1 Descrizione della normativa sismica

In zona sismica per l'opera di sostegno viene condotta una analisi pseudostatica secondo quanto previsto dalla normativa vigente (NTC 2008 D.M. del 14/01/2008, paragrafo 7.11.6).

Nell'analisi pseudostatica, l'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali, pari al prodotto delle forze di gravità moltiplicate per un coefficiente sismico.

I coefficienti sismici orizzontali e verticali, applicati a tutte le masse potenzialmente instabili, sono calcolati rispettivamente come:

$$k_h = \beta_m \cdot (a_{\max}/g)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

$$a_{\max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

Dove: β_m è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g è l'accelerazione di gravità;

S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica, in funzione dei terreni del sito;

S_T è il coefficiente di amplificazione topografica, in funzione della forma del pendio;

a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori di β_m sono riportati nella normativa in Tab. 7.11.II, in funzione della categoria di sottosuolo e della accelerazione orizzontale massima a_g .

Il coefficiente S_s di amplificazione stratigrafica è funzione dei terreni del sito ed ha valore unitario sul terreno di riferimento; i valori minimi e massimi di S_s sono riportati nella normativa in Tab. 3.2.V.

Il coefficiente S_T di amplificazione topografica è maggiore di 1 per strutture su pendii con inclinazione maggiore di 15° e dislivello superiore a 30m, mentre è unitario negli altri casi; i valori massimi di S_T sono riportati nella normativa in Tab. 3.2.VI, in funzione della categoria topografica della superficie.

I coefficienti sismici sopra definiti sono considerati costanti lungo l'altezza del muro.

L'incremento di spinta dovuto al sisma può venire assunto agente nello stesso punto di quella statica, nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, oppure a metà altezza dell'opera, negli altri casi.

La spinta totale di progetto E_d agente sull'opera di sostegno è data da:

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (1 \pm k_v) \cdot K \cdot h^2 + E_{ws}$$

dove: γ è il peso specifico del terreno;
 K è il coefficiente di spinta del terreno;
 h è l'altezza del muro;
 E_{ws} è la spinta idrostatica;

Il coefficiente di spinta del terreno viene calcolato come nel caso statico ma con le seguenti modifiche*:

- nel caso di terreno sotto falda, applicando una rotazione al profilo del muro e degli strati di terreno, secondo le espressioni

$$\tan \theta_A = \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_w} \cdot \frac{k_h}{1 + k_v} \quad \text{e} \quad \tan \theta_B = \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_w} \cdot \frac{k_h}{1 - k_v}$$

dove: γ è il peso specifico del terreno saturo;
 γ_w è il peso specifico dell'acqua;

- nel caso di terreno sopra falda, applicando una rotazione al profilo del muro e degli strati di terreno, secondo le espressioni

$$\tan \theta_A = \frac{k_h}{1 + k_v} \quad \text{e} \quad \tan \theta_B = \frac{k_h}{1 - k_v}$$

*eccetto il metodo di Mononobe-Okabe, che include il sisma in modo nativo nella formulazione.

L'acqua interstiziale viene considerata non libera all'interno dello scheletro solido del terreno, trattando quindi quest'ultimo come un mezzo monofase. In presenza di acqua libera sulla faccia del muro viene aggiunta la sovrappressione (considerata agente nel caso peggiore, cioè da monte verso valle) dovuta all'effetto idrodinamico, secondo la relazione:

$$q(z) = \frac{7}{8} \cdot k_h \cdot \gamma_w \cdot \sqrt{h \cdot z}$$

dove: h è l'altezza totale della zona interessata dall'acqua libera;
 z è la distanza dal pelo libero dell'acqua;

Stabilità globale

In presenza di sisma viene condotta una analisi pseudo-statica secondo NTC 2008, paragrafo 7.11.3.5, secondo cui l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, proporzionale al peso del volume di terreno instabile ed ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$\begin{aligned} k_h &= \beta_s \cdot (a_{\max}/g) \\ k_v &= \pm 0.5 \cdot k_h \\ a_{\max} &= S_S \cdot S_T \cdot a_g \end{aligned}$$

Dove: β_s è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
 a_{\max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito, in funzione della zona sismica;
 g è l'accelerazione di gravità;
 S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica, in funzione dei terreni del sito;
 S_T è il coefficiente di amplificazione topografica, in funzione della forma del pendio;
 a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori di β_s sono riportati nella normativa in Tab. 7.11.I, in funzione della categoria di sottosuolo e della accelerazione orizzontale massima a_g .

Il coefficiente S_S di amplificazione stratigrafica è funzione dei terreni del sito ed ha valore unitario sul terreno di riferimento; i valori minimi e massimi di S_S sono riportati nella normativa in Tab. 3.2.V.

Il coefficiente S_T di amplificazione topografica è maggiore di 1 per strutture su pendii con inclinazione maggiore di 15° e dislivello superiore a 30m, mentre è unitario negli altri casi; i valori massimi di S_T sono riportati nella normativa in Tab. 3.2.VI, in funzione della categoria topografica della superficie.

Il calcolo viene condotto nelle combinazioni stabilite dall'utente, con i coefficienti parziali sulle azioni, sui materiali e resistenze indicati; di default vengono create combinazioni per il caso statico e sismico.

Il margine di sicurezza alla stabilità del pendio ottenuto deve essere valutato e motivato dal progettista.

7.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte

Il calcolo delle spinte basato sul “*Metodo del cuneo di tentativo*” (*Trial Wedge Method*), può essere considerato una generalizzazione della *teoria di Coulomb* (1776). Le equazioni derivano dall'equilibrio limite globale di diversi cunei di rottura di forma variabile a seconda delle condizioni di equilibrio al contorno. Esse dipendono dall'angolo di rottura delle superfici di scorrimento; la spinta si ottiene per tentativi facendo variare l'angolo di rottura fino a determinare quello critico che rende massima la spinta attiva o minima la spinta passiva sull'opera di sostegno.

Nel caso semplice di terrapieno omogeneo, dall'equilibrio globale limite del cuneo costruito sulla superficie di rottura, si scrive l'equazione di equilibrio in funzione dell'angolo di rottura α . In questo modo l'unica incognita è la spinta del terreno, ed è possibile cercare l'angolo critico che rende massima tale spinta attiva.

In caso di presenza di falda, nell'equilibrio limite globale del cuneo di rottura viene considerata la sottospinta dell'acqua U sulla superficie di rottura e la spinta idrostatica P_w sul tratto di muro interessato; il peso di volume del cuneo è comprensivo del peso dell'acqua.

Si calcolano le componenti delle forze agenti lungo la superficie di rottura e lungo la sua normale. Dall'equilibrio delle forze normali alla superficie di scorrimento:

$$N = [V - P_{ah} \tan \delta + W] \cos \alpha + [P_{ah} + P_w] \sin \alpha - U$$

dove $P_{ah} \tan \delta = P_{av}$ e $V = q * B$

Dall'equilibrio delle forze tangenziali alla superficie di scorrimento:

$$T = [V + W - P_{ah} \tan \delta] \sin \alpha - [P_{ah} + P_w] \cos \alpha$$

Sfruttando il criterio di rottura di Mohr-Coulomb,

$$T = N \tan \phi + c * L$$

sostituendo T ed N con quelle derivanti dalle equazioni di equilibrio e risolvendo rispetto all'unica incognita P_{ah} si ottiene la seguente equazione, dipendente da α :

$$P_{ah} = \frac{(V + W) * (\cos \alpha \tan \phi - \sin \alpha) + P_w * (\cos \alpha + \sin \alpha \tan \phi) - U \tan \phi + c * L}{(\tan \delta \cos \alpha \tan \phi - \sin \alpha \tan \phi - \tan \delta \sin \alpha - \cos \alpha)}$$

Nel caso di un terrapieno formato da due strati di terreno generici, poiché i parametri meccanici possono cambiare nei due strati, potendo essere i due terreni di natura diversa, la superficie di rottura che ne deriva è spezzata, assume cioè valori dell'angolo di rottura α_1 ed α_2 che possono essere diversi nei due strati. Le spinte si ricavano sempre dall'equilibrio del cuneo mediante un'equazione di equilibrio limite. Nel caso di un terrapieno formato da un numero generico di strati il calcolo viene condotto come nelle soluzioni precedenti, ma nel quale viene aggiunto uno strato per ogni ciclo di calcolo.

Il metodo del cuneo di tentativo consente una grande generalità nell'attribuzione di sovraccarichi sul terrapieno, in quanto permette di considerare svariate tipologie di carico. Inoltre consente di considerare, nel caso di materiali coesivi, la fessurazione che può formarsi in superficie, dovuta all'incapacità di sopportare una trazione eccessiva nella parte superiore dello strato. L'altezza fessurata viene in questo caso calcolata come:

$$H = \frac{2 * c}{\gamma} * \tan \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

Il metodo del cuneo di tentativo può essere usato anche per il calcolo della spinta passiva.

7.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza

La capacità portante viene valutata attraverso la formula di Brinch-Hansen, nel caso generale:

$$Q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \frac{1}{2} \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

Nel caso di terreno eminentemente coesivo ($\phi = 0$) tale relazione diventa:

$$Q_{lim} = (2 + \pi) \cdot c_u \cdot (1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q$$

dove:

γ = peso di volume dello strato di fondazione;

B = larghezza efficace della fondazione (depurata dell'eventuale eccentricità del carico $B = B_f - 2e$);

L = lunghezza efficace della fondazione (depurata dell'eventuale eccentricità del carico $L = L_f - 2e$);

c = coesione dello strato di fondazione;

c_u = coesione non drenata dello strato di fondazione;

q = sovraccarico del terreno sovrastante il piano di fondazione;

N_γ, N_c, N_q = fattori di capacità portante;

s_γ, s_c, s_q = fattori di forma della fondazione;

d_γ, d_c, d_q = fattori di profondità del piano di posa della fondazione.

i_γ, i_c, i_q = fattori di inclinazione del carico;

b_γ, b_c, b_q = fattori di inclinazione della base della fondazione;

g_γ, g_c, g_q = fattori di inclinazione del piano campagna;

Per la teoria di Brinch-Hansen i coefficienti sopra definiti assumono le espressioni che seguono:

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \phi; \quad N_q = \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg} \phi)}; \quad N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \phi$$

$$s_c = 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}; \quad s'_c = 0.2 \cdot \frac{B}{L}; \quad s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \text{tg} \phi; \quad s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L}$$

$$d_c = 1 + 0.4 \cdot k; \quad d'_c = 0.4 \cdot k; \quad d_q = 1 + 2 \cdot k \cdot \text{tg} \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2; \quad d_\gamma = 1$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}; \quad i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{B \cdot L \cdot c_a}}; \quad i_q = \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5;$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 \quad (\text{se } \eta=0); \quad i_\gamma = \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ) \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 \quad (\text{se } \eta>0)$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; \quad g'_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; \quad g_q = (1 - 0.5 \cdot \text{tg} \beta)^5; \quad g_\gamma = g_q$$

$$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; \quad b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; \quad b_q = e^{(-2 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}; \quad b_\gamma = e^{(-2.7 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}$$

$$\text{dove: } k = \frac{D}{B_f} \quad (\text{se } \frac{D}{B_f} \leq 1); \quad k = \text{arctg} \left(\frac{D}{B_f} \right) \quad (\text{se } \frac{D}{B_f} > 1)$$

nelle quali si sono considerati i seguenti dati:

ϕ = angolo di attrito dello strato di fondazione;

c_a = aderenza alla base della fondazione;

η = inclinazione del piano di posa della fondazione sull'orizzontale ($\eta = 0$ se orizzontale);

β = inclinazione del pendio;

H = componente orizzontale del carico trasmesso sul piano di posa della fondazione;

V = componente verticale del carico trasmesso sul piano di posa della fondazione;

D = profondità della fondazione.

* non usare i coeff. s_i insieme a i_j .

8 Distribuzioni di spinte e pressioni

8.1 Pressioni

Le distribuzioni delle pressioni esercitate dai terreni circostanti il muro sono date attraverso un insieme di segmenti generalmente coincidenti i profili laterali dell'intervento murario. Ogni segmento presenta una distribuzione lineare di pressione che può variare vettorialmente da un valore (VX_1 , VY_1) sino ad un valore (VX_2 , VY_2). Le distribuzioni di pressione sono fornite per causa originante (pressione del terreno o pressione dell'acqua) e sommate globalmente.

8.1.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X_1	Y_1	X_2	Y_2	Vx_1	Vy_1	Vx_2	Vy_2	Vx_1	Vy_1	Vx_2	Vy_2	Vx_1	Vy_1	Vx_2	Vy_2
1	20	205	20	164	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
2	20	164	20	123	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
3	20	123	20	82	-0.07	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.07	-0.02
4	20	82	20	41	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03
5	20	41	20	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04
6	20	0	20	-40	-0.13	-0.05	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.13	-0.05

8.1.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X_1	Y_1	X_2	Y_2	Vx_1	Vy_1	Vx_2	Vy_2	Vx_1	Vy_1	Vx_2	Vy_2	Vx_1	Vy_1	Vx_2	Vy_2
1	20	205	20	164	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
2	20	164	20	123	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
3	20	123	20	82	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03
4	20	82	20	41	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04
5	20	41	20	0	-0.12	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.12	-0.04
6	20	0	20	-40	-0.15	-0.05	-0.15	-0.05	0	0	0	0	-0.15	-0.05	-0.15	-0.05

8.1.3 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-3

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X_1	Y_1	X_2	Y_2	Vx_1	Vy_1	Vx_2	Vy_2	Vx_1	Vy_1	Vx_2	Vy_2	Vx_1	Vy_1	Vx_2	Vy_2
1	20	205	20	164	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01

2	20	164	20	123	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02
3	20	123	20	82	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
4	20	82	20	41	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03
5	20	41	20	0	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04
6	20	0	20	-40	-0.14	-0.05	-0.14	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.05	-0.14	-0.05

8.1.4 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-4

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	205	20	164	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
2	20	164	20	123	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01
3	20	123	20	82	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02
4	20	82	20	41	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
5	20	41	20	0	-0.11	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.11	-0.04
6	20	0	20	-40	-0.13	-0.05	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.13	-0.05

8.1.5 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	205	20	164	-0.01	0	-0.01	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	0
2	20	164	20	123	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01
3	20	123	20	82	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02
4	20	82	20	41	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02
5	20	41	20	0	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03
6	20	0	20	-40	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04

8.1.6 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	205	20	164	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01
2	20	164	20	123	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02
3	20	123	20	82	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02
4	20	82	20	41	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03
5	20	41	20	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04
6	20	0	20	-40	-0.1	-0.05	-0.1	-0.05	0	0	0	0	-0.1	-0.05	-0.1	-0.05

8.1.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-3

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	205	20	164	-0.01	0	-0.01	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	0
2	20	164	20	123	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
3	20	123	20	82	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
4	20	82	20	41	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03
5	20	41	20	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04
6	20	0	20	-40	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05	0	0	0	0	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05

8.1.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-4

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
----	-------------------	--	--	--	---------	--	--	--	-------	--	--	--	--------	--	--	--

	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	205	20	164	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
2	20	164	20	123	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
3	20	123	20	82	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03
4	20	82	20	41	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04
5	20	41	20	0	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05	0	0	0	0	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05
6	20	0	20	-40	-0.13	-0.06	-0.13	-0.06	0	0	0	0	-0.13	-0.06	-0.13	-0.06

8.1.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	205	20	164	-0.01	0	-0.01	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	0
2	20	164	20	123	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
3	20	123	20	82	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
4	20	82	20	41	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03
5	20	41	20	0	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03
6	20	0	20	-40	-0.11	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.11	-0.04

8.1.10 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	205	20	164	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
2	20	164	20	123	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
3	20	123	20	82	-0.07	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.07	-0.02
4	20	82	20	41	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03
5	20	41	20	0	-0.11	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.11	-0.04
6	20	0	20	-40	-0.13	-0.05	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.13	-0.05

8.1.11 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	205	20	164	-0.01	0	-0.01	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	-0.01
2	20	164	20	123	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
3	20	123	20	82	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02
4	20	82	20	41	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03
5	20	41	20	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03
6	20	0	20	-40	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04

8.1.12 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	205	20	164	-0.01	0	-0.01	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	-0.01
2	20	164	20	123	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
3	20	123	20	82	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02
4	20	82	20	41	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03
5	20	41	20	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03
6	20	0	20	-40	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04

8.1.13 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-3

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	205	20	164	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
2	20	164	20	123	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01
3	20	123	20	82	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02
4	20	82	20	41	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03
5	20	41	20	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04
6	20	0	20	-40	-0.12	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.12	-0.04

8.1.14 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-4

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	205	20	164	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0	0	0	0	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
2	20	164	20	123	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01
3	20	123	20	82	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02
4	20	82	20	41	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03
5	20	41	20	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04
6	20	0	20	-40	-0.12	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.12	-0.04

8.1.15 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	205	20	164	-0.01	0	-0.01	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	0
2	20	164	20	123	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01
3	20	123	20	82	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02
4	20	82	20	41	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02
5	20	41	20	0	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03
6	20	0	20	-40	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04

8.1.16 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	205	20	164	-0.01	0	-0.01	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	0
2	20	164	20	123	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
3	20	123	20	82	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02
4	20	82	20	41	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03
5	20	41	20	0	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03
6	20	0	20	-40	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04

9 Risultante delle azioni agenti sul muro

Vengono riportate le combinazioni di calcolo ed il riepilogo delle azioni risultanti agenti sul muro per le verifiche geotecniche.

9.1 Combinazioni di calcolo

La seguente tabella mostra i coefficienti moltiplicatori delle azioni utilizzati nelle combinazioni ed i relativi gruppi di coefficienti di sicurezza parziale, definiti nella normativa.

Per i gruppi An l'indice n fa riferimento alle tabelle delle azioni, dove A1, A2 e A3 indicano rispettivamente il gruppo STR, il gruppo GEO ed il gruppo EQU della tabella 6.2.I (paragrafo 6.2.3.1.1), A4 indica il gruppo UPL (Sollevamento) della tabella 6.2.III (paragrafo 6.2.3.2), A5 indica il gruppo HYD (Sifonamento) della tabella 6.2.IV (paragrafo 6.2.3.3). Per il gruppo Mn l'indice n fa riferimento alla tabella 6.2.II (par.6.2.3.1.2). Per il gruppo Rn l'indice n fa riferimento alle tabelle 6.4.I (par.6.4.2.1) e 6.4.II (par.6.4.3.1). Con l'indice stampato n uguale a 0 (A0, M0 e R0), si intendono le situazioni in cui non sono definiti dei gruppi specifici da parte della normativa (cfr. par.7.11.1) ed i coefficienti moltiplicatori sono da intendersi implicitamente unitari.

Famiglia	A	M	R	Indice	Nome	Perm.	Variabili	Sisma H	Sisma V
EQU	A3	M2	R0	1	EQU-1	0.9	1.5	0	0
EQU	A3	M2	R0	2	EQU-2	1.1	1.5	0	0
EQU	A0	M2	R0	3	EQU-3	1	0.3	1	1
EQU	A0	M2	R0	4	EQU-4	1	0.3	1	-1
STR	A1	M1	R1	1	STR-1	1	0	0	0
STR	A1	M1	R1	2	STR-2	1	1.5	0	0
STR	A1	M1	R1	3	STR-3	1.3	0	0	0
STR	A1	M1	R1	4	STR-4	1.3	1.5	0	0
GEO	A2	M2	R2	1	GEO-1	1	0	0	0
GEO	A2	M2	R2	2	GEO-2	1	1.3	0	0
SIS	A0	M1	R1	1	SIS-1	1	0.3	1	1
SIS	A0	M1	R1	2	SIS-2	1	0.3	1	-1
SIS	A0	M2	R2	3	SIS-3	1	0.3	1	1
SIS	A0	M2	R2	4	SIS-4	1	0.3	1	-1
SLE	A0	M0	R0	1	SLE-1	1	0	0	0
SLE	A0	M0	R0	2	SLE-2	1	0.3	0	0

9.1.1 Combinazione di carico EQU-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-26.55
Spinta del terreno a monte	20	52	-19.12	-6.81
Spinta del terreno a valle	-70	-20	7.4	2.64
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-21.18

9.1.2 Combinazione di carico EQU-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-32.45
Spinta del terreno a monte	20	52	-21.88	-7.79
Spinta del terreno a valle	-70	-20	9.05	3.22
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-25.88

9.1.3 Combinazione di carico EQU-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-29.5
Spinta del terreno a monte	20	45	-19.04	-6.78
Spinta del terreno a valle	-70	-20	7.97	2.84
Carichi applicati al muro	-11	142	-1.69	-24.38
Forza di inerzia dovuta al muro	-8	65	-2.12	-1.06

9.1.4 Combinazione di carico EQU-4

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-29.5
Spinta del terreno a monte	20	45	-17.79	-6.34
Spinta del terreno a valle	-70	-20	7.42	2.64
Carichi applicati al muro	-11	142	-1.69	-22.68
Forza di inerzia dovuta al muro	-8	65	-2.12	1.06

9.1.5 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-29.5
Spinta del terreno a monte	20	43	-11.59	-5.16
Spinta del terreno a valle	-70	-20	14.66	6.53
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-23.53

9.1.6 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-29.5
Spinta del terreno a monte	20	53	-15.53	-6.91
Spinta del terreno a valle	-70	-20	14.66	6.53
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-23.53

9.1.7 Combinazione di carico STR-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-38.35
Spinta del terreno a monte	20	43	-15.07	-6.71
Spinta del terreno a valle	-70	-20	19.06	8.49
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-30.59

9.1.8 Combinazione di carico STR-4

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-38.35
Spinta del terreno a monte	20	51	-19.01	-8.46
Spinta del terreno a valle	-70	-20	19.06	8.49
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-30.59

9.1.9 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-29.5
Spinta del terreno a monte	20	43	-15.05	-5.36
Spinta del terreno a valle	-70	-20	8.22	2.93

Carichi applicati al muro	-11	0	0	-23.53
---------------------------	-----	---	---	--------

9.1.10 Combinazione di carico GEO-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-29.5
Spinta del terreno a monte	20	52	-19.62	-6.99
Spinta del terreno a valle	-70	-20	8.22	2.93
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-23.53

9.1.11 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-29.5
Spinta del terreno a monte	20	46	-12.81	-5.7
Spinta del terreno a valle	-70	-20	14.6	6.5
Carichi applicati al muro	-11	142	-0.3	-23.68
Forza di inerzia dovuta al muro	-8	65	-0.38	-0.19

9.1.12 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-29.5
Spinta del terreno a monte	20	46	-12.66	-5.64
Spinta del terreno a valle	-70	-20	14.41	6.41
Carichi applicati al muro	-11	142	-0.3	-23.38
Forza di inerzia dovuta al muro	-8	65	-0.38	0.19

9.1.13 Combinazione di carico SIS-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-29.5
Spinta del terreno a monte	20	46	-16.58	-5.91
Spinta del terreno a valle	-70	-20	8.18	2.91
Carichi applicati al muro	-11	142	-0.3	-23.68
Forza di inerzia dovuta al muro	-8	65	-0.38	-0.19

9.1.14 Combinazione di carico SIS-4

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-8	65	0	-29.5
Spinta del terreno a monte	20	46	-16.38	-5.84
Spinta del terreno a valle	-70	-20	8.08	2.88
Carichi applicati al muro	-11	142	-0.3	-23.38
Forza di inerzia dovuta al muro	-8	65	-0.38	0.19

10 Verifiche di stabilità locale

10.1 Tensioni trasmesse sul terreno

Moltiplicatore spinta passiva per equilibrio	: 0
Pressione limite sul terreno per abbassamento	: 6 daN/cm ²
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	: 10.8 cm (comb. GEO-2)
Momento rispetto al baricentro della fondazione	: 649 daN cm (comb. GEO-2)
Larghezza reagente minima in fondazione	: 90 cm (comb. STR-1)
Tensione max sul terreno allo spigolo di valle	: 1.15 daN/cm ² (comb. GEO-2)
Tensione max sul terreno allo spigolo di monte	: 0.94 daN/cm ² (comb. STR-3)

10.2 Verifica a traslazione

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-2	
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)	
Moltiplicatore spinta passiva per traslazione	: 0
Coefficiente di attrito caratteristico terreno-fondazione	: 0.45
Coefficiente di attrito di progetto terreno-fondazione	: 0.36
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	: 60 daN
Sforzo tangenziale positivo all'intradosso della fondazione	: 0 daN
Sforzo tangenziale negativo all'intradosso della fondazione	: 20 daN
Coefficiente limite verifica alla traslazione	: 1
Coefficiente di sicurezza alla traslazione	: 1.09

10.3 Verifica a ribaltamento

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: EQU-4	
Moltiplicatore spinta passiva per ribaltamento	: 0
Momento ribaltante rispetto allo spigolo di valle	: 1238 daN cm
Momento stabilizzante rispetto a spigolo di valle	: -2865 daN cm
Coefficiente limite verifica al ribaltamento	: 1
Coefficiente di sicurezza al ribaltamento	: 2.31

10.4 Verifica al carico limite

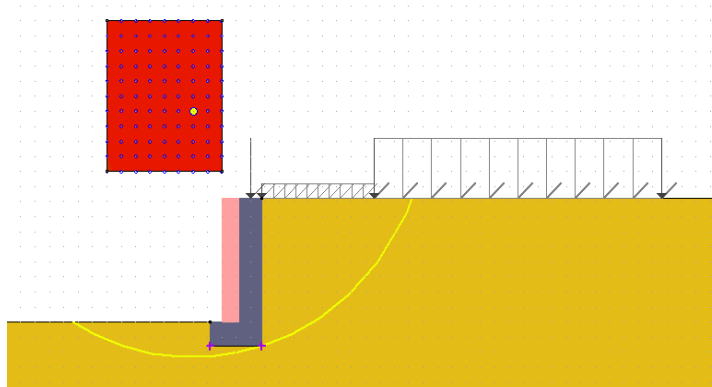
Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-2	
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)	
Moltiplicatore spinta passiva per portanza terreno	: 0
Inclinazione media del pendio circostante la fondazione	: 0 °
Profondità del piano di posa	: 40 cm
Sovraccarico agente sul piano di posa	: 0.072 daN/cm ²
Angolo di attrito di progetto del suolo di fondazione	: 30.2 °
Peso specifico di progetto del suolo di fondazione	: 0.0018 daN/cm ³
Inclinazione della risultante rispetto alla normale	: 18.1 °
Base efficace	: 68 cm
Carico tangenziale al piano di posa	: 19.6 daN/cm
Carico di progetto della fondazione (normale al P.P.)	: 60 daN/cm
Carico ultimo della fondazione	: 60.4 daN/cm
Lunghezza Fondazione per verifica carico limite	: 100 cm
Coefficiente limite verifica al carico limite	: 1
Coefficiente di sicurezza al carico limite	: 1.01

Tabella dei coefficienti di capacità portante

Coefficienti	Coesione	Sovraccarico	Attrito
Coefficienti di capacità portante	N _c = 31	N _q = 19	N _q = 15
Coefficienti di forma	S _c = 1	S _q = 1	S _q = 1
Coefficienti di profondità	d _c = 1.18	d _q = 1.13	d _q = 1

Coefficienti di inclinazione del carico	$i_c = 0.38$	$i_q = 0.41$	$i_g = 0.27$
Coefficienti di inclinazione del piano di posa della fondazione	$b_c = 1$	$b_q = 1$	$b_g = 1$
Coefficienti di inclinazione del pendio	$g_c = 1$	$g_q = 1$	$g_g = 1$

11 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio



Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-2

Metodo di analisi di stabilità del pendio	: Bishop
Passo dei conci	: 50 cm
Coefficiente di stabilità globale pendio	: 1.36
Coefficiente limite suggerito dalla normativa	: 1.1
X centro della superficie critica	: -100 cm
Y centro della superficie critica	: 350 cm
Raggio della superficie critica	: 408 cm
Forza di bilancio	: 4.31 daN/cm
Volume spostato dalla superficie critica	: 6.42 m ³ /m
Peso spostato dalla superficie critica	: 12374 daN/m

12 Parametri per dimensionamento armatura

Metodo di calcolo: D.M. 14-01-2008 Norme Tecniche per le Costruzioni

Rck (resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo)	: 300 daN/cm ²
Modulo elastico longitudinale Ec	: 314472 daN/cm ²
Rapporto Ea/Ec per calcolo tensioni in esercizio	: 15
Rapporto Ea/Ec per calcolo ampiezza fessure	: 7
Fyk (tensione di snervamento caratteristica dell'acciaio)	: 4500 daN/cm ²
Fattore parziale di sicurezza dell'acciaio	: 1.15
Fattore parziale di sicurezza del calcestruzzo	: 1.5
Coefficiente Beta2 per calcolo ampiezza fessure	: 0.5
Riduzione della tau di aderenza per cattiva aderenza	: 0.7
fct,eff/fctm per calcolo ampiezza fessure	: 0.83
Limite sigmac/fck	: 0.45
Limite sigmaf/fyk	: 0.8
Ampiezza limite delle fessure	: 0.3 mm
Coefficiente Beta per punzonamento pali sul bordo	: 1.4
Coefficiente Beta per punzonamento pali interni	: 1.15

13 Sollecitazioni e verifiche strutturali

Tutte le verifiche sono riferite su sezioni di profondità nominale di un metro.

Significato dei simboli:

X: ascissa del baricentro della sezione

Y: ordinata del baricentro della sezione

H: altezza della sezione

A_s : area efficace dello strato superiore per metro
 C_s : copriferro medio dello strato superiore
 A_i : area efficace dello strato inferiore per metro
 C_i : copriferro medio dello strato inferiore
 v_{mi} : soddisfacimento delle percentuali minime di armatura
 c_{res} : combinazione di carico critica per la verifica di resistenza in pressoflessione retta
 M_d : momento di calcolo
 N_d : sforzo normale di calcolo
 M_u : momento ultimo
 N_u : sforzo normale ultimo
 $c.s.$: coefficiente di sicurezza
 v_{res} : soddisfacimento della resistenza alla pressoflessione retta
 X : ascissa del baricentro della sezione
 Y : ordinata del baricentro della sezione
 H : altezza della sezione
 c_{es} : combinazione di carico critica delle tensioni in esercizio in pressoflessione retta
 M_e : momento in esercizio
 N_e : sforzo normale in esercizio
 σ_f : trazione massima sull'armatura
 σ_c : compressione massima sul calcestruzzo
 v_{es} : soddisfacimento tensioni ammissibili a pressoflessione retta
 c_f : combinazione di carico critica per la verifica di fessurazione
 M_f : momento di calcolo per la verifica di fessurazione
 N_f : sforzo normale di calcolo per la verifica di fessurazione
 S_{rm} : interasse delle fessure
 W_k : ampiezza caratteristica delle fessure
 v_f : soddisfacimento verifica fessurazione
 X : ascissa del baricentro della sezione
 Y : ordinata del baricentro della sezione
 H : altezza della sezione
 c_f : combinazione di carico critica per la verifica a taglio
 VS_d : taglio di calcolo
 VR_{dc} : taglio resistente in assenza di armatura a taglio
 VR_{dmax} : taglio resistente massimo dell'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse
 VR_{ds} : taglio resistente in presenza di armatura a taglio
 v_f : soddisfacimento verifica taglio

Paramento (sezioni longitudinali attraversate da barre trasversali)

X	Y	H	A_s	C_s	A_i	C_i	v_{mi}	c_{res}	M_d	N_d	M_u	N_u	c.s.	v_{res}
cm	cm	cm	cm ²	cm	cm ²	cm			daN cm	daN		daN cm		
0	0	40	10.1	3.8	10.1	3.8	ok	GEO-2	127710	-4910	3198011	-122963	25	ok
0	25	40	13.3	3.8	10.1	3.8	ok	GEO-2	94374	-4397	3815882	-177783	40.4	ok
0	55	40	14.8	3.8	18.6	3.8	ok	STR-4	65426	-4900	4397331	-329361	67.2	ok
0	85	40	5.7	3.8	10.1	3.8	ok	STR-4	42233	-4138	3395790	-332717	80.4	ok
0	115	40	5.7	3.8	10.1	3.8	ok	STR-4	25338	-3400	2944393	-395069	116	ok
0	145	40	5.7	3.8	10.1	3.8	ok	STR-4	13584	-2683	2319952	-458176	171	ok
0	175	40	5.7	3.8	10.1	3.8	ok	STR-4	5612	-1983	1478814	-522459	264	ok

X	Y	H	c_{es}	M_e	N_e	σ_f	σ_c	v_{es}	c_f	M_f	N_f	S_{rm}	W_k	v_f
cm	cm	cm		daN cm	daN	daN/cm ²	daN/cm ²			daN cm	daN	cm	mm	
0	0	40	SLE-2	81892	-4794	56	-5	ok	SLE-2	81892	-4794	-	-	ok
0	25	40	SLE-2	60796	-4296	25	-3	ok	SLE-2	60796	-4296	-	-	ok
0	55	40	SLE-2	41245	-3708	5	-2	ok	SLE-2	41245	-3708	-	-	ok
0	85	40	SLE-2	26870	-3134	1	-2	ok	SLE-2	26870	-3134	-	-	ok
0	115	40	SLE-2	16515	-2579	0	-1	ok	SLE-2	16515	-2579	-	-	ok
0	145	40	SLE-2	9289	-2039	0	-1	ok	SLE-2	9289	-2039	-	-	ok
0	175	40	SLE-2	4149	-1513	0	-1	ok	SLE-2	4149	-1513	-	-	ok

X	Y	H	c_t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v_t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
0	0	40	GEO-2	-1425	15219	-	-	ok
0	25	40	GEO-2	-1148	15149	-	-	ok
0	55	40	GEO-2	-845	18223	-	-	ok
0	85	40	GEO-2	-581	14987	-	-	ok
0	115	40	GEO-2	-373	14909	-	-	ok
0	145	40	GEO-2	-209	14833	-	-	ok
0	175	40	GEO-2	-85	14760	-	-	ok

Mensola di fondazione a valle (mensola sinistra) (sezioni longitudinali attraversate da barre trasversali)

X	Y	H	A_s	C_s	A_i	C_i	V_{ml}	C_{res}	M_d	N_d	M_u	N_u	c.s.	V_{res}
cm	cm	cm	cm ²	cm	cm ²	cm			daN cm	daN		daN cm		
-40	-20	40	10.1	3.8	10.1	3.8	ok	GEO-2	42331	0	1358075	0	32.1	ok
-20	-20	40	10.1	3.8	10.1	3.8	ok	GEO-2	108685	0	1358075	0	12.5	ok

X	Y	H	C_{es}	M_e	N_e	σ_f	σ_c	V_{es}	c_t	M_f	N_f	S_{rm}	W_k	v_f
cm	cm	cm		daN cm	daN	daN/cm ²	daN/cm ²			daN cm	daN	cm	mm	
-40	-20	40	SLE-2	24178	0	72	-1	ok	SLE-2	24178	0	-	-	ok
-20	-20	40	SLE-2	67474	0	202	-4	ok	SLE-2	67474	0	-	-	ok

X	Y	H	c_t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v_t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
-40	-20	40	GEO-2	2662	14552	-	-	ok
-20	-20	40	STR-4	4093	14552	-	-	ok

Verifica sezione n°6

Indice generale

0 Premessa	28
0.1 Localizzazione del sito in esame	28
0.2 Considerazioni in merito alle verifiche di sicurezza	28
0.3 Considerazioni in merito all'azione sismica e alla spinta passiva	28
0.4 Carico variabile	28
0.5 Muro e terreno	28
0.6 Carichi	28
1 Descrizione del software	30
2 Normative di riferimento	30
3 Geometria del muro	31
3.1 Sistema di riferimento	31
3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale	32
3.3 Rappresentazione analitica	32
4 Caratteristiche dei terreni	33
5 Geometria degli strati	33
6 Geometria dei carichi	34
7 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche	35
7.1 Descrizione della normativa sismica	35
7.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte	37
7.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza	38
8 Distribuzioni di spinte e pressioni	39
8.1 Pressioni	39
8.1.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1	39
8.1.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2	39
8.1.3 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-3	40
8.1.4 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-4	40
8.1.5 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-1	40
8.1.6 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-2	40

8.1.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-3	40
8.1.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-4	41
8.1.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-1	41
8.1.10 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-2	41
8.1.11 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-1	41
8.1.12 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-2	42
8.1.13 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-3	42
8.1.14 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-4	42
8.1.15 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-1	42
8.1.16 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-2	43
9 Risultante delle azioni agenti sul muro	43
9.1 Combinazioni di calcolo	43
9.1.1 Combinazione di carico EQU-1	43
9.1.2 Combinazione di carico EQU-2	44
9.1.3 Combinazione di carico EQU-3	44
9.1.4 Combinazione di carico EQU-4	44
9.1.5 Combinazione di carico STR-1	44
9.1.6 Combinazione di carico STR-2	44
9.1.7 Combinazione di carico STR-3	44
9.1.8 Combinazione di carico STR-4	45
9.1.9 Combinazione di carico GEO-1	45
9.1.10 Combinazione di carico GEO-2	45
9.1.11 Combinazione di carico SIS-1	45
9.1.12 Combinazione di carico SIS-2	45
9.1.13 Combinazione di carico SIS-3	46
9.1.14 Combinazione di carico SIS-4	46
10 Verifiche di stabilità locale	46
10.1 Tensioni trasmesse sul terreno	46
10.2 Verifica a traslazione	46
10.3 Verifica a ribaltamento	46
10.4 Verifica al carico limite	47
11 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio	47
12 Parametri per dimensionamento armatura	48
13 Sollecitazioni e verifiche strutturali	48

0 Premessa

Nella seguente relazione di calcolo di riportano i risultati relativi alle verifiche geotecniche e strutturali di un'opera di sostegno tipo. Si ritiene doveroso fare alcune considerazioni riportate nei paragrafi che seguono.

0.1 Localizzazione del sito in esame

L'opera in esame è localizzata nel comune di Challand-Saint-Anselme – loc. Pésan alle seguenti coordinate

N 45°,714778 – E 7°,732790 (DATUM ED 50)

a cui corrisponde un rapporto ag/g per il sito in esame allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) pari a circa 0,06. Il sottosuolo considerato è di tipo B.

0.2 Considerazioni in merito alle verifiche di sicurezza

Nell'opera in esame si è deciso di adottare il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite – metodo pseudostatico secondo le indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 (indicate di seguito con l'acronimo NTC).

0.3 Considerazioni in merito all'azione sismica e alla spinta passiva

A) Il comune in esame ricade in zona sismica 4 secondo quanto indicato dalla DGR 5130/2003 (in attesa della nuova zonazione sismica regionale che porterà tutti i comuni in zona sismica 3). Nel caso in esame si è deciso di considerare l'azione sismica verticale, in quanto l'opera è realizzata nella futura zona sismica 3 (NTC - §3.2.3.1). L'azione sismica orizzontale viene considerata ammettendo uno spostamento ammissibile del muro: ciò conduce alla riduzione dell'azione agente secondo i coefficienti β_s e β_m indicati nelle NTC - tab. 7.11.I e tab. 7.11.II.

B) Non si ritiene opportuno ridurre il coefficiente di capacità portante secondo le indicazioni della Circolare integrativa 2009 nel caso sismico in mancanza di indicazioni supplementari da parte del normatore.

C) La verifica a liquefazione del terreno può essere esclusa in quanto si manifesta uno dei cinque punti indicati al § 7.11.3.4.2, ovvero accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0,1g (considerato allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, in mancanza di indicazioni più precise da parte del normatore).

D) Il software permette di considerare un contributo della spinta passiva non superiore al 50% di quella totale. Nelle verifiche del muro sono stati considerati dei moltiplicatori per la spinta passiva uguali da zero: il valore dell'angolo di attrito muro-terreno viene quindi specificato nel punto seguente.

E) Si è deciso di considerare un valore dell'angolo di attrito muro-terreno pari ai 2/3 dell'angolo di resistenza al taglio.

0.4 Carico variabile

Il coefficiente ψ_{s2} (valore di partecipazione sismica della parte variabile del carico) è stato posto pari a 0,3 secondo le indicazioni della software house e in mancanza di indicazioni più precise da parte del normatore.

0.5 Muro e terreno

Nella presente relazione vengono effettuate le verifiche di sicurezza sul muro sezione tipo 6, come indicato nell'immagine al capitolo 4 della presente relazione.

0.6 Carichi

Nel caso in esame si sono adottati diversi carichi a monte del muro di sostegno, riassunti qui di seguito.

- 1) carico concentrato: sulla sommità del muro è stato inserito un carico concentrato per simulare la reazione indotta dalla soletta del marciapiede. Per la sua valutazione è stata effettuata un'analisi dei carichi assumendo un peso proprio del materiale del marciapiede pari a 2400 daN/m^3 . L'eventuale momento flettente agente è stato invece posto pari a zero perché agente in senso orario, quindi stabilizzante e a favore di sicurezza.
- 2) Carico lineare (I): è stato considerato un carico lineare sulla sezione per simulare l'azione della folla compatta sul marciapiede. E' stato adottato un valore pari a 500 daN/m^2 .

3) Carico lineare (II): è stato considerato un carico lineare sulla sezione per simulare l'azione dei mezzi pesanti sulla strada retrostante. E' stato adottato un valore pari a 2000 daN/m^3 desunto da normative ANAS.

1 Descrizione del software

Si tratta di un programma di calcolo strutturale dedicato al progetto e verifica di Opere di Sostegno in cemento armato e a gravità. Il programma permette il calcolo delle spinte nelle diverse combinazioni di calcolo analizzate, l'esecuzione di verifiche di stabilità locale e globale di natura geotecnica, la progettazione delle parti in cemento armato e la verifica di resistenza strutturale. Nella determinazione delle sollecitazioni strutturali può utilizzare un proprio solutore agli elementi finiti tridimensionale fornito col pacchetto. Nella relazione di calcolo vengono riportati i dati di input, le combinazioni di calcolo adottate, le pressioni e le spinte trovate, nonché i risultati delle verifiche geotecniche e strutturali. Vengono anche prodotte le tavole con i prospetti e le distinte di armatura, ed il computo metrico delle principali grandezze.

SPECIFICHE TECNICHE

Denominazione del software: WallCAD 7

Produttore del software: Concrete

Concrete srl, via della Pieve, 15, 35121 PADOVA - Italy

<http://www.concrete.it>

Rivenditore: CONCRETE SRL - Via della Pieve 19 - 35121 Padova - tel.049-8754720

Versione: 7.10

Versione regolarmente licenziata

SCHEMATIZZAZIONE STRUTTURALE E CRITERI DI CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Il programma permette il calcolo della spinta delle terre mediante metodi propri dell'Equilibrio limite e la valutazione della stabilità globale con metodi propri della stabilità dei pendii; le azioni sismiche vengono valutate mediante un approccio pseudo-statico, in accordo alle varie normative adottate. Le spinte vengono pensate agenti su un tratto di lunghezza unitaria di un muro di lunghezza indefinita, con sezione che resta quindi in stato piano di deformazione; nel caso di elementi discontinui con lo sviluppo del muro (come pali, tiranti, contrafforti, carichi puntuali) viene invece creato un modello 3D ad elementi finiti, di lunghezza e condizioni di vincolo alle estremità deciso dall'utente. In quest'ultimo caso le sollecitazioni sono calcolate dal modello numerico per integrazione nel tratto di verifica. La reazione del suolo è quella teorica di fondazione rigida su suolo elastico non reagente al sollevamento; nel caso di studio con modello fem il suolo è modellato mediante un numero elevato di molle elastoplastiche verticali, non reagenti al sollevamento; in direzione orizzontale sono altresì presenti molle elastiche di modulo di reazione proporzionale al verticale. I pali sono modellati suddividendo l'asta in più aste immerse in terreni di stratigrafia definita dall'utente. Nei nodi di divisione tra le aste vengono inserite molle assialsimmetriche elastoplastiche precaricate dalla spinta a riposo che hanno come pressione limite minima la spinta attiva e come pressione limite massima la spinta passiva modificabile attraverso opportuni coefficienti. I tiranti sono modellati mediante molle elastoplastiche di rigidità equivalente al sistema terreno/tratto libero/tratto ancorato, e di limiti plastici a trazione e compressione assegnati. I carichi possono essere inseriti sia sul muro che sul terreno; in quest'ultimo caso il carico uniforme è trattato come uno strato di spessore equivalente, mentre gli altri tipi di carico (lineare o nastriforme) vengono diffusi in orizzontale e sovrapposti alle restanti azioni.

VERIFICHE DELLE MEMBRATURE IN CEMENTO ARMATO

Nel caso più generale le verifiche degli elementi in c.a. possono essere condotte col metodo delle tensioni ammissibili (D.M. 14-1-92) o agli stati limite in accordo al D.M. 09-01-96, al D.M. 14-01-08 o secondo Eurocodice 2. Le membrature in c.a. sono verificate a pressoflessione e taglio come piastre non espressamente armate a taglio, i pali sono verificati a pressoflessione, taglio e punzonamento verso la suola; nel caso di micropali si considera la sola resistenza del tubolare in acciaio.

2 Normative di riferimento

L. 05.11.1971, n. 1086. Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica

D.M. LL.PP. del 14.02.1992. Norme Tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. del 09.01.1996. Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. del 16.01.1996. Norme Tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

D.M. del 16.01.1996. Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Circolare Ministeriale del 04.07.1996 n. 156AA.GG./STC. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al Decreto Ministeriale 16.01.1996.

L. 02.02.1974, n. 64. Provvedimenti per costruzioni con particolari prescrizioni per zone sismiche.

D.M. LL. PP. E INT. 19.06.1984. Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

D.M. LL. PP. 11.03.1988. Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Circolare Ministeriale del 24.07.1988, n. 30483/STC.

Legge 2 Febbraio 1974 n. 64, art. 1 - D.M. 11 Marzo 1988. Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Circolare Ministeriale del 15.10.1996 N°252. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M.09.01.1996

Circolare Ministeriale del 10.04.1997 N°65/AA.GG. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M.16.01.1996

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N°3274 del 20.03.2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N°3431 del 10.05.2005. Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza N°3274.

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.09.2005 (TU 2005)

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 (NTC 2008)

3 Geometria del muro

La descrizione della geometria del muro si avvale di una duplice rappresentazione, una schematica, tramite la sezione trasversale, e l'altra in forma analitica tramite le dimensioni principali degli elementi costituenti.

3.1 Sistema di riferimento

Nella seguente rappresentazione schematica viene rappresentata la posizione e l'orientamento del sistema di riferimento rispetto ai vertici principali della sagoma del muro.

Sistema di riferimento adottato per le coordinate:

Ascisse X (esprese in centimetri) positive verso destra

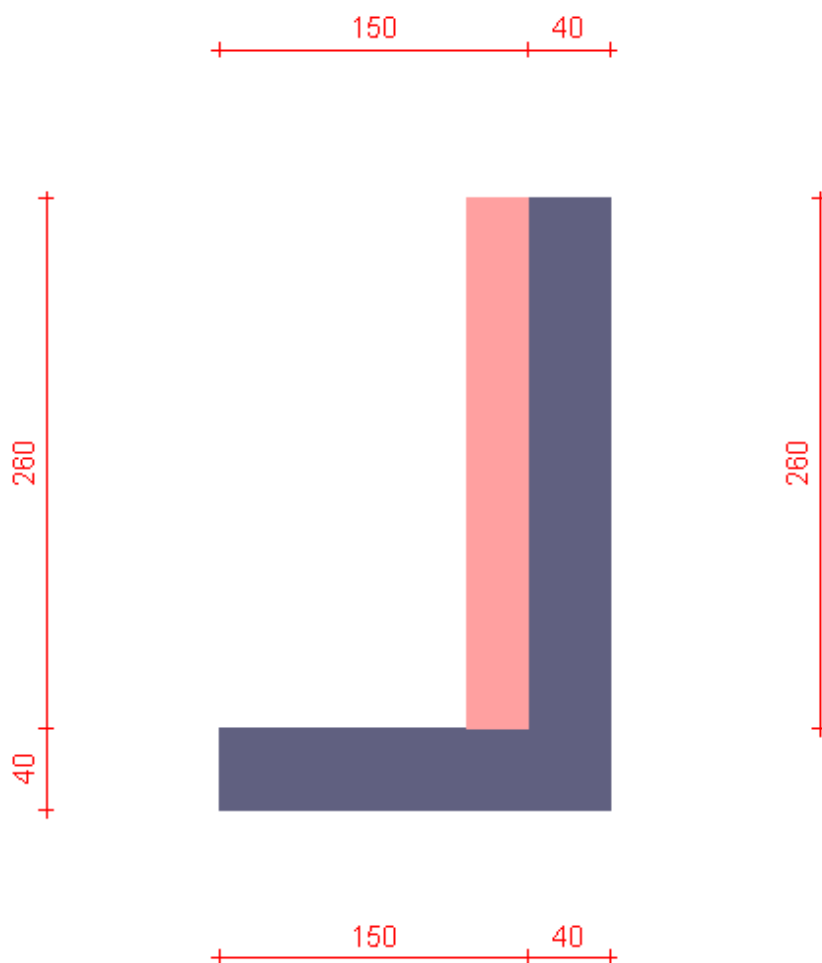
Ordinate Y (esprese in centimetri) positive verso l'alto

Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da sinistra verso destra

Le forze verticali sono considerate positive se agenti dal basso verso l'alto

Tutti i valori in output sono riferiti ad 1 centimetro di muro.

3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale



3.3 Rappresentazione analitica

Il muro viene convenzionalmente suddiviso in blocchi principali ed eventuali accessori.

Ingombro globale

Larghezza totale del muro

: 190 cm

Altezza totale del muro

: 300 cm

Peso specifico del muro

: 2500 daN/m³

Peso specifico delle falde

: 1000 daN/m³

Paramento

Base inf.	: 40 cm
Base sup.	: 40 cm
Altezza	: 260 cm
Disassamento	: 0 cm

Mensola sinistra in fondazione

Larghezza	: 150 cm
Alt.interna	: 40 cm
Alt.esterna	: 40 cm
Disassamento	: 0 cm

Zoccolo centrale in fondazione

Larghezza	: 40 cm
Altezza a sx	: 40 cm
Altezza a dx	: 40 cm
Sfalsamento	: 0 cm

4 Caratteristiche dei terreni

Significato dei simboli e unità di misura:

Gsat: Peso specifico saturo del terreno, utilizzato nelle zone immerse (daN/m³)

Gnat: Peso specifico naturale del terreno, utilizzato nelle zone non immerse (daN/m³)

Fi: Angolo di attrito interno del terreno (deg)

C': Coesione drenata del terreno (daN/cm²)

Cnd: Coesione non drenata del terreno (daN/cm²)

Delta: Angolo di attrito all'interfaccia terreno/paramento (deg)

AI: Adesione della coesione all'interfaccia terreno/cls (-)

OCR: Coefficiente di sovraconsolidazione del terreno (-)

Ko: Coefficiente di spinta a riposo del terreno (-)

E: Modulo elastico longitudinale del terreno (daN/cm²)

G: Modulo elastico tangenziale del terreno (daN/cm²)

Perm: Permeabilità del terreno (cm/sec)

N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	AI	OCR	Ko	E	G	Perm
1	Pésan	2000	1800	36,00	0,000	0,000	24,00	1,00	1,00	0,41	900	345	3,30E-01

5 Geometria degli strati

Vengono mostrate in forma tabellare le sequenze di punti che costituiscono le poligoni di separazione degli strati di terreno.

Strato n.1, materiale sottostante: Pésan

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	20	260
2	2	2277	260

Strato n.2, materiale sottostante: Pésan

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	-2335	0
2	4	-20	0

Strato n.3, materiale sottostante: Pésan

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-170	-40
2	-	-20	-40
3	-	20	-40

6 Geometria dei carichi

Le coordinate e le componenti dei carichi stampate in questo paragrafo sono riferite al sistema di riferimento relativo alla sezione trasversale, dove gli assi X e Y locali coincidono rispettivamente con gli assi X e Z globali. L'asse Y globale si sviluppa nella profondità del muro. Tutte le tipologie di carico, esclusa quella puntuale, hanno componenti e coordinate diverse da zero solo lungo gli assi locali X e Y. Nel caso di carichi puntuali viene indicata anche la posizione in profondità (P), riferita rispetto alla sezione trasversale iniziale dell'intervento e quindi lungo l'asse Y globale.

Carico n.1

Tipo di carico: distribuito

Punto di inserimento:

X (asse X globale): 215 cm

Y (asse Z globale): 260 cm

Ampiezza: 500 cm

Condizione: Permanenti

Valore iniziale: 0,00 daN/cm²

Valore finale: 0,00 daN/cm²

Condizione: Variabili

Valore iniziale: -0,20 daN/cm²

Valore finale: -0,20 daN/cm²

Carico n.2

Tipo di carico: distribuito

Punto di inserimento:

X (asse X globale): 20 cm

Y (asse Z globale): 260 cm

Ampiezza: 195 cm

Condizione: Permanenti

Valore iniziale: 0,00 daN/cm²

Valore finale: 0,00 daN/cm²

Condizione: Variabili

Valore iniziale: -0,05 daN/cm²

Valore finale: -0,05 daN/cm²

Carico n.3

Tipo di carico: concentrato

Punto di inserimento:

X (asse X globale): 0 cm

Y (asse Z globale): 260 cm

Condizione: Permanenti

Componente Fx: 0,00 daN/cm
Componente Fy: -13,00 daN/cm
Condizione: Variabili
Componente Fx: 0,00 daN/cm
Componente Fy: 0,00 daN/cm

7 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche

Metodo di calcolo della spinta del terreno	: Cuneo di tentativo
Metodo di calcolo della portanza del terreno	: Brinch-Hansen
Normativa adottata per le verifiche locali Costruzioni	: D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le

Normativa adottata per il sisma: D.M. 14/01/2008 Norme tecniche per le costruzioni NTC 2008.
Localizzazione dell'opera: Valle D'aosta/vallée D'aoste, Challand-saint-anse, Pésan
Vita nominale dell'opera (Tab. 2.4.I): 50 anni
Classe d'uso (Tab. 2.4.II): 2
Parametri sismici calcolati per lo stato limite : SLV
Accelerazione relativa a_g/g massima attesa al suolo: 0.06 g
Categoria del suolo di fondazione: B
Coefficiente di amplificazione stratigrafica: 1.2
Coefficiente di amplificazione topografica: 1
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima per il sito (β_s): 0.2
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima per muri (β_m): 0.18
Punto di applicazione della forza dinamica: stesso punto di quella statica
Effetto della componente verticale di accelerazione sismica incluso.

7.1 Descrizione della normativa sismica

In zona sismica per l'opera di sostegno viene condotta una analisi pseudostatica secondo quanto previsto dalla normativa vigente (NTC 2008 D.M. del 14/01/2008, paragrafo 7.11.6).

Nell'analisi pseudostatica, l'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali, pari al prodotto delle forze di gravità moltiplicate per un coefficiente sismico.

I coefficienti sismici orizzontali e verticali, applicati a tutte le masse potenzialmente instabili, sono calcolati rispettivamente come:

$$k_h = \beta_m \cdot (a_{max}/g)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

$$a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

Dove: β_m è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g è l'accelerazione di gravità;

S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica, in funzione dei terreni del sito;

S_T è il coefficiente di amplificazione topografica, in funzione della forma del pendio;

a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori di β_m sono riportati nella normativa in Tab. 7.11.II, in funzione della categoria di sottosuolo e della accelerazione orizzontale massima a_g .

Il coefficiente S_s di amplificazione stratigrafica è funzione dei terreni del sito ed ha valore unitario sul terreno di riferimento; i valori minimi e massimi di S_s sono riportati nella normativa in Tab. 3.2.V.

Il coefficiente S_T di amplificazione topografica è maggiore di 1 per strutture su pendii con inclinazione maggiore di 15° e dislivello superiore a 30m, mentre è unitario negli altri casi; i valori massimi di S_T sono riportati nella normativa in Tab. 3.2.VI, in funzione della categoria topografica della superficie.

I coefficienti sismici sopra definiti sono considerati costanti lungo l'altezza del muro.

L'incremento di spinta dovuto al sisma può venire assunto agente nello stesso punto di quella statica, nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, oppure a metà altezza dell'opera, negli altri casi.

La spinta totale di progetto E_d agente sull'opera di sostegno è data da:

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (1 \pm k_v) \cdot K \cdot h^2 + E_{ws}$$

dove: γ è il peso specifico del terreno;

K è il coefficiente di spinta del terreno;

h è l'altezza del muro;

E_{ws} è la spinta idrostatica;

Il coefficiente di spinta del terreno viene calcolato come nel caso statico ma con le seguenti modifiche*:

- nel caso di terreno sotto falda, applicando una rotazione al profilo del muro e degli strati di terreno, secondo le espressioni

$$\tan \theta_A = \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_w} \cdot \frac{k_h}{1 + k_v} \quad \text{e} \quad \tan \theta_B = \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_w} \cdot \frac{k_h}{1 - k_v}$$

dove: γ è il peso specifico del terreno saturo;

γ_w è il peso specifico dell'acqua;

- nel caso di terreno sopra falda, applicando una rotazione al profilo del muro e degli strati di terreno, secondo le espressioni

$$\tan \theta_A = \frac{k_h}{1 + k_v} \quad \text{e} \quad \tan \theta_B = \frac{k_h}{1 - k_v}$$

*eccetto il metodo di Mononobe-Okabe, che include il sisma in modo nativo nella formulazione.

L'acqua interstiziale viene considerata non libera all'interno dello scheletro solido del terreno, trattando quindi quest'ultimo come un mezzo monofase. In presenza di acqua libera sulla faccia del muro viene aggiunta la sovrappressione (considerata agente nel caso peggiore, cioè da monte verso valle) dovuta all'effetto idrodinamico, secondo la relazione:

$$q(z) = \frac{7}{8} \cdot k_h \cdot \gamma_w \cdot \sqrt{h \cdot z}$$

dove: h è l'altezza totale della zona interessata dall'acqua libera;

z è la distanza dal pelo libero dell'acqua;

Stabilità globale

In presenza di sisma viene condotta una analisi pseudo-statica secondo NTC 2008, paragrafo 7.11.3.5, secondo cui l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, proporzionale al peso del volume di terreno instabile ed ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot (a_{\max}/g)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

Dove: β_s è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito, in funzione della zona sismica;

g è l'accelerazione di gravità;

S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica, in funzione dei terreni del sito;

S_T è il coefficiente di amplificazione topografica, in funzione della forma del pendio;

a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori di β_s sono riportati nella normativa in Tab. 7.11.I, in funzione della categoria di sottosuolo e della accelerazione orizzontale massima a_g .

Il coefficiente S_s di amplificazione stratigrafica è funzione dei terreni del sito ed ha valore unitario sul terreno di riferimento; i valori minimi e massimi di S_s sono riportati nella normativa in Tab. 3.2.V.

Il coefficiente S_T di amplificazione topografica è maggiore di 1 per strutture su pendii con inclinazione maggiore di 15° e dislivello superiore a 30m, mentre è unitario negli altri casi; i valori massimi di S_T sono riportati nella normativa in Tab. 3.2.VI, in funzione della categoria topografica della superficie.

Il calcolo viene condotto nelle combinazioni stabilite dall'utente, con i coefficienti parziali sulle azioni, sui materiali e resistenze indicati; di default vengono create combinazioni per il caso statico e sismico.

Il margine di sicurezza alla stabilità del pendio ottenuto deve essere valutato e motivato dal progettista.

7.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte

Il calcolo delle spinte basato sul “Metodo del cuneo di tentativo” (*Trial Wedge Method*), può essere considerato una generalizzazione della *teoria di Coulomb* (1776). Le equazioni derivano dall'equilibrio limite globale di diversi cunei di rottura di forma variabile a seconda delle condizioni di equilibrio al contorno. Esse dipendono dall'angolo di rottura delle superfici di scorrimento; la spinta si ottiene per tentativi facendo variare l'angolo di rottura fino a determinare quello critico che rende massima la spinta attiva o minima la spinta passiva sull'opera di sostegno.

Nel caso semplice di terrapieno omogeneo, dall'equilibrio globale limite del cuneo costruito sulla superficie di rottura, si scrive l'equazione di equilibrio in funzione dell'angolo di rottura α . In questo modo l'unica incognita è la spinta del terreno, ed è possibile cercare l'angolo critico che rende massima tale spinta attiva.

In caso di presenza di falda, nell'equilibrio limite globale del cuneo di rottura viene considerata la sottospinta dell'acqua U sulla superficie di rottura e la spinta idrostatica P_w sul tratto di muro interessato; il peso di volume del cuneo è comprensivo del peso dell'acqua.

Si calcolano le componenti delle forze agenti lungo la superficie di rottura e lungo la sua normale. Dall'equilibrio delle forze normali alla superficie di scorrimento:

$$N = [V - P_{ah} \tan \delta + W] \cos \alpha + [P_{ah} + P_w] \sin \alpha - U$$

dove $P_{ah} \tan \delta = P_{av}$ e $V = q * B$

Dall'equilibrio delle forze tangenziali alla superficie di scorrimento:

$$T = [V + W - P_{ah} \tan \delta] \sin \alpha - [P_{ah} + P_w] \cos \alpha$$

Sfruttando il criterio di rottura di Mohr-Coulomb,

$$T = N \tan \phi + c * L$$

sostituendo T ed N con quelle derivanti dalle equazioni di equilibrio e risolvendo rispetto all'unica incognita P_{ah} si ottiene la seguente equazione, dipendente da α :

$$P_{ah} = \frac{(V + W) * (\cos \alpha \tan \phi - \sin \alpha) + P_w * (\cos \alpha + \sin \alpha \tan \phi) - U \tan \phi + c * L}{(\tan \delta \cos \alpha \tan \phi - \sin \alpha \tan \phi - \tan \delta \sin \alpha - \cos \alpha)}$$

Nel caso di un terrapieno formato da due strati di terreno generici, poiché i parametri meccanici possono cambiare nei due strati, potendo essere i due terreni di natura diversa, la superficie di rottura che ne deriva è spezzata, assume cioè valori dell'angolo di rottura α_1 ed α_2 che possono essere diversi nei due strati. Le spinte si ricavano sempre dall'equilibrio del cuneo mediante un'equazione di equilibrio limite. Nel caso di un terrapieno formato da un numero generico di strati il calcolo viene condotto come nelle soluzioni precedenti, ma nel quale viene aggiunto uno strato per ogni ciclo di calcolo.

Il metodo del cuneo di tentativo consente una grande generalità nell'attribuzione di sovraccarichi sul terrapieno, in quanto permette di considerare svariate tipologie di carico. Inoltre consente di considerare, nel caso di materiali coesivi, la fessurazione che può formarsi in superficie, dovuta all'incapacità di sopportare una trazione eccessiva nella parte superiore dello strato. L'altezza fessurata viene in questo caso calcolata come:

$$H = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$$

Il metodo del cuneo di tentativo può essere usato anche per il calcolo della spinta passiva.

7.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza

La capacità portante viene valutata attraverso la formula di Brinch-Hansen, nel caso generale:

$$Q_{\lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \frac{1}{2} \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

Nel caso di terreno eminentemente coesivo ($\phi = 0$) tale relazione diventa:

$$Q_{\lim} = (2 + \pi) \cdot c_u \cdot (1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q$$

dove:

γ = peso di volume dello strato di fondazione;

B = larghezza efficace della fondazione (depurata dell'eventuale eccentricità del carico $B = B_f - 2e$);

L = lunghezza efficace della fondazione (depurata dell'eventuale eccentricità del carico $L = L_f - 2e$);

c = coesione dello strato di fondazione;

c_u = coesione non drenata dello strato di fondazione;

q = sovraccarico del terreno sovrastante il piano di fondazione;

N_y, N_c, N_q = fattori di capacità portante;

s_y, s_c, s_q = fattori di forma della fondazione;

d_y, d_c, d_q = fattori di profondità del piano di posa della fondazione.

i_y, i_c, i_q = fattori di inclinazione del carico;

b_y, b_c, b_q = fattori di inclinazione della base della fondazione;

g_y, g_c, g_q = fattori di inclinazione del piano campagna;

Per la teoria di Brinch-Hansen i coefficienti sopra definiti assumono le espressioni che seguono:

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cotg \phi; \quad N_q = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \phi)}; \quad N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \phi$$

$$s_c = 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}; \quad s'_c = 0.2 \cdot \frac{B}{L}; \quad s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan \phi; \quad s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L}$$

$$d_c = 1 + 0.4 \cdot k; \quad d'_c = 0.4 \cdot k; \quad d_q = 1 + 2 \cdot k \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2; \quad d_\gamma = 1$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}; \quad i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{B \cdot L \cdot c_a}}; \quad i_q = \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \cotg \phi}\right)^5;$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \cotg \phi}\right)^5 \quad (\text{se } \eta=0); \quad i_\gamma = \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ) \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \cotg \phi}\right)^5 \quad (\text{se } \eta>0)$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; \quad g'_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; \quad g_q = (1 - 0.5 \cdot \tan \beta)^5; \quad g_\gamma = g_q$$

$$b_c = 1 - \frac{\eta^o}{147^o}; \quad b'_c = \frac{\eta^o}{147^o}; \quad b_q = e^{(-2 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}; \quad b_\gamma = e^{(-2.7 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}$$

$$\text{dove: } k = \frac{D}{B_f} \quad (\text{se } \frac{D}{B_f} \leq 1); \quad k = \arctg\left(\frac{D}{B_f}\right) \quad (\text{se } \frac{D}{B_f} > 1)$$

nelle quali si sono considerati i seguenti dati:

ϕ = angolo di attrito dello strato di fondazione;

c_a = aderenza alla base della fondazione;

η = inclinazione del piano di posa della fondazione sull'orizzontale ($\eta = 0$ se orizzontale);

β = inclinazione del pendio;

H = componente orizzontale del carico trasmesso sul piano di posa della fondazione;

V = componente verticale del carico trasmesso sul piano di posa della fondazione;

D = profondità della fondazione.

* non usare i coeff. s_i insieme a i_i .

8 Distribuzioni di spinte e pressioni

8.1 Pressioni

Le distribuzioni delle pressioni esercitate dai terreni circostanti il muro sono date attraverso un insieme di segmenti generalmente coincidenti i profili laterali dell'intervento murario. Ogni segmento presenta una distribuzione lineare di pressione che può variare vettorialmente da un valore (VX1, VY1) sino ad un valore (VX2, VY2). Le distribuzioni di pressione sono fornite per causa originante (pressione del terreno o pressione dell'acqua) e sommate globalmente.

8.1.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	260	20	217	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
2	20	217	20	173	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
3	20	173	20	130	-0.07	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.07	-0.02
4	20	130	20	87	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03
5	20	87	20	43	-0.11	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.11	-0.04
6	20	43	20	0	-0.16	-0.06	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.16	-0.06	-0.16	-0.06
7	20	0	20	-40	-0.2	-0.07	-0.2	-0.07	0	0	0	0	-0.2	-0.07	-0.2	-0.07

8.1.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	260	20	217	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
2	20	217	20	173	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02
3	20	173	20	130	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03
4	20	130	20	87	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04

5	20	87	20	43	-0.13	-0.05	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.13	-0.05
6	20	43	20	0	-0.17	-0.06	-0.17	-0.06	0	0	0	0	-0.17	-0.06	-0.17	-0.06
7	20	0	20	-40	-0.23	-0.08	-0.23	-0.08	0	0	0	0	-0.23	-0.08	-0.23	-0.08

8.1.3 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-3

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	V _{x1}	V _{y1}	V _{x2}	V _{y2}	V _{x1}	V _{y1}	V _{x2}	V _{y2}	V _{x1}	V _{y1}	V _{x2}	V _{y2}
1	20	260	20	217	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01
2	20	217	20	173	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02
3	20	173	20	130	-0.07	-0.02	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.07	-0.03
4	20	130	20	87	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03
5	20	87	20	43	-0.12	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.12	-0.04
6	20	43	20	0	-0.15	-0.05	-0.15	-0.05	0	0	0	0	-0.15	-0.05	-0.15	-0.05
7	20	0	20	-40	-0.18	-0.06	-0.18	-0.06	0	0	0	0	-0.18	-0.06	-0.18	-0.06

8.1.4 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-4

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	V _{x1}	V _{y1}	V _{x2}	V _{y2}	V _{x1}	V _{y1}	V _{x2}	V _{y2}	V _{x1}	V _{y1}	V _{x2}	V _{y2}
1	20	260	20	217	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
2	20	217	20	173	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02
3	20	173	20	130	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
4	20	130	20	87	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03
5	20	87	20	43	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04
6	20	43	20	0	-0.14	-0.05	-0.14	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.05	-0.14	-0.05
7	20	0	20	-40	-0.17	-0.06	-0.17	-0.06	0	0	0	0	-0.17	-0.06	-0.17	-0.06

8.1.5 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	V _{x1}	V _{y1}	V _{x2}	V _{y2}	V _{x1}	V _{y1}	V _{x2}	V _{y2}	V _{x1}	V _{y1}	V _{x2}	V _{y2}
1	20	260	20	217	-0.01	0	-0.01	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	0
2	20	217	20	173	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
3	20	173	20	130	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02
4	20	130	20	87	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03
5	20	87	20	43	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03
6	20	43	20	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04
7	20	0	20	-40	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05	0	0	0	0	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05

8.1.6 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	V _{x1}	V _{y1}	V _{x2}	V _{y2}	V _{x1}	V _{y1}	V _{x2}	V _{y2}	V _{x1}	V _{y1}	V _{x2}	V _{y2}
1	20	260	20	217	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01
2	20	217	20	173	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02
3	20	173	20	130	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03
4	20	130	20	87	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03
5	20	87	20	43	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04
6	20	43	20	0	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05	0	0	0	0	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05
7	20	0	20	-40	-0.14	-0.06	-0.14	-0.06	0	0	0	0	-0.14	-0.06	-0.14	-0.06

8.1.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-3

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	260	20	217	-0.01	0	-0.01	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	0
2	20	217	20	173	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
3	20	173	20	130	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
4	20	130	20	87	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03
5	20	87	20	43	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04
6	20	43	20	0	-0.12	-0.05	-0.12	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.05	-0.12	-0.05
7	20	0	20	-40	-0.14	-0.06	-0.14	-0.06	0	0	0	0	-0.14	-0.06	-0.14	-0.06

8.1.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-4

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	260	20	217	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
2	20	217	20	173	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
3	20	173	20	130	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03
4	20	130	20	87	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04
5	20	87	20	43	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05	0	0	0	0	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05
6	20	43	20	0	-0.14	-0.06	-0.14	-0.06	0	0	0	0	-0.14	-0.06	-0.14	-0.06
7	20	0	20	-40	-0.17	-0.07	-0.17	-0.07	0	0	0	0	-0.17	-0.07	-0.17	-0.07

8.1.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	260	20	217	-0.01	0	-0.01	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	0
2	20	217	20	173	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
3	20	173	20	130	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
4	20	130	20	87	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03
5	20	87	20	43	-0.1	-0.03	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.1	-0.03
6	20	43	20	0	-0.12	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.12	-0.04
7	20	0	20	-40	-0.14	-0.05	-0.14	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.05	-0.14	-0.05

8.1.10 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	260	20	217	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
2	20	217	20	173	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
3	20	173	20	130	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.07	-0.03
4	20	130	20	87	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03
5	20	87	20	43	-0.12	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.12	-0.04
6	20	43	20	0	-0.15	-0.06	-0.15	-0.06	0	0	0	0	-0.15	-0.06	-0.15	-0.06
7	20	0	20	-40	-0.2	-0.07	-0.2	-0.07	0	0	0	0	-0.2	-0.07	-0.2	-0.07

8.1.11 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	260	20	217	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0	0	0	0	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
2	20	217	20	173	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01

3	20	173	20	130	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
4	20	130	20	87	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03
5	20	87	20	43	-0.08	-0.04	-0.08	-0.04	0	0	0	0	-0.08	-0.04	-0.08	-0.04
6	20	43	20	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04
7	20	0	20	-40	-0.12	-0.05	-0.12	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.05	-0.12	-0.05

8.1.12 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	260	20	217	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0	0	0	0	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
2	20	217	20	173	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
3	20	173	20	130	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
4	20	130	20	87	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03
5	20	87	20	43	-0.08	-0.04	-0.08	-0.04	0	0	0	0	-0.08	-0.04	-0.08	-0.04
6	20	43	20	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04
7	20	0	20	-40	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05	0	0	0	0	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05

8.1.13 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-3

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	260	20	217	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01
2	20	217	20	173	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01
3	20	173	20	130	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02
4	20	130	20	87	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03
5	20	87	20	43	-0.11	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.11	-0.04
6	20	43	20	0	-0.13	-0.05	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.13	-0.05
7	20	0	20	-40	-0.16	-0.06	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.16	-0.06	-0.16	-0.06

8.1.14 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-4

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	260	20	217	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
2	20	217	20	173	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01
3	20	173	20	130	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.06	-0.02
4	20	130	20	87	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03
5	20	87	20	43	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04
6	20	43	20	0	-0.13	-0.04	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.13	-0.05
7	20	0	20	-40	-0.15	-0.06	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.15	-0.06	-0.16	-0.06

8.1.15 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	260	20	217	-0.01	0	-0.01	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	0
2	20	217	20	173	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
3	20	173	20	130	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02
4	20	130	20	87	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03
5	20	87	20	43	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03
6	20	43	20	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.04	-0.09	-0.04
7	20	0	20	-40	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05	0	0	0	0	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05

8.1.16 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂	Vx ₁	Vy ₁	Vx ₂	Vy ₂
1	20	260	20	217	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0	0	0	0	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
2	20	217	20	173	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
3	20	173	20	130	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.05	-0.02
4	20	130	20	87	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03
5	20	87	20	43	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.08	-0.03
6	20	43	20	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.1	-0.04
7	20	0	20	-40	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05	0	0	0	0	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05

9 Risultante delle azioni agenti sul muro

Vengono riportate le combinazioni di calcolo ed il riepilogo delle azioni risultanti agenti sul muro per le verifiche geotecniche.

9.1 Combinazioni di calcolo

La seguente tabella mostra i coefficienti moltiplicatori delle azioni utilizzati nelle combinazioni ed i relativi gruppi di coefficienti di sicurezza parziale, definiti nella normativa.

Per i gruppi An l'indice n fa riferimento alle tabelle delle azioni, dove A1, A2 e A3 indicano rispettivamente il gruppo STR, il gruppo GEO ed il gruppo EQU della tabella 6.2.I (paragrafo 6.2.3.1.1), A4 indica il gruppo UPL (Sollevamento) della tabella 6.2.III (paragrafo 6.2.3.2), A5 indica il gruppo HYD (Sifonamento) della tabella 6.2.IV (paragrafo 6.2.3.3). Per il gruppo Mn l'indice n fa riferimento alla tabella 6.2.II (par.6.2.3.1.2).

Per il gruppo Rn l'indice n fa riferimento alle tabelle 6.4.I (par.6.4.2.1) e 6.4.II (par.6.4.3.1).

Con l'indice stampato n uguale a 0 (A0, M0 e R0), si intendono le situazioni in cui non sono definiti dei gruppi specifici da parte della normativa (cfr. par.7.11.1) ed i coefficienti moltiplicatori sono da intendersi implicitamente unitari.

Famiglia	A	M	R	Indice	Nome	Perm.	Variabili	Sisma H	Sisma V
EQU	A3	M2	R0	1	EQU-1	0.9	1.5	0	0
EQU	A3	M2	R0	2	EQU-2	1.1	1.5	0	0
EQU	A0	M2	R0	3	EQU-3	1	0.3	1	1
EQU	A0	M2	R0	4	EQU-4	1	0.3	1	-1
STR	A1	M1	R1	1	STR-1	1	0	0	0
STR	A1	M1	R1	2	STR-2	1	1.5	0	0
STR	A1	M1	R1	3	STR-3	1.3	0	0	0
STR	A1	M1	R1	4	STR-4	1.3	1.5	0	0
GEO	A2	M2	R2	1	GEO-1	1	0	0	0
GEO	A2	M2	R2	2	GEO-2	1	1.3	0	0
SIS	A0	M1	R1	1	SIS-1	1	0.3	1	1
SIS	A0	M1	R1	2	SIS-2	1	0.3	1	-1
SIS	A0	M2	R2	3	SIS-3	1	0.3	1	1
SIS	A0	M2	R2	4	SIS-4	1	0.3	1	-1
SLE	A0	M0	R0	1	SLE-1	1	0	0	0
SLE	A0	M0	R0	2	SLE-2	1	0.3	0	0

9.1.1 Combinazione di carico EQU-1

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-40.5

Spinta del terreno a monte	20	65	-29.72	-10.59
Spinta del terreno a valle	-170	-20	7.4	2.64
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-27.14

9.1.2 Combinazione di carico EQU-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-49.5
Spinta del terreno a monte	20	64	-34.01	-12.11
Spinta del terreno a valle	-170	-20	9.05	3.22
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-33.18

9.1.3 Combinazione di carico EQU-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-45
Spinta del terreno a monte	20	63	-28.76	-10.24
Spinta del terreno a valle	-170	-20	7.97	2.84
Carichi applicati al muro	-11	181	-2.17	-31.25
Forza di inerzia dovuta al muro	-32	67	-3.24	-1.62

9.1.4 Combinazione di carico EQU-4

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-45
Spinta del terreno a monte	20	63	-26.9	-9.58
Spinta del terreno a valle	-170	-20	7.42	2.64
Carichi applicati al muro	-11	181	-2.17	-29.07
Forza di inerzia dovuta al muro	-32	67	-3.24	1.62

9.1.5 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-45
Spinta del terreno a monte	20	61	-17.38	-7.74
Spinta del terreno a valle	-170	-20	14.66	6.53
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-30.16

9.1.6 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-45
Spinta del terreno a monte	20	69	-22.87	-10.18
Spinta del terreno a valle	-170	-20	14.66	6.53
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-30.16

9.1.7 Combinazione di carico STR-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-58.5
Spinta del terreno a monte	20	61	-22.59	-10.06
Spinta del terreno a valle	-170	-20	19.06	8.49
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-39.21

9.1.8 Combinazione di carico STR-4

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-58.5
Spinta del terreno a monte	20	69	-27.82	-12.39
Spinta del terreno a valle	-170	-20	19.06	8.49
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-39.21

9.1.9 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-45
Spinta del terreno a monte	20	61	-22.56	-8.04
Spinta del terreno a valle	-170	-20	8.22	2.93
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-30.16

9.1.10 Combinazione di carico GEO-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-45
Spinta del terreno a monte	20	64	-30.49	-10.86
Spinta del terreno a valle	-170	-20	8.22	2.93
Carichi applicati al muro	-11	0	0	-30.16

9.1.11 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-45
Spinta del terreno a monte	20	64	-18.99	-8.46
Spinta del terreno a valle	-170	-20	14.6	6.5
Carichi applicati al muro	-11	181	-0.39	-30.36
Forza di inerzia dovuta al muro	-32	67	-0.58	-0.29

9.1.12 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-45
Spinta del terreno a monte	20	64	-18.76	-8.35
Spinta del terreno a valle	-170	-20	14.41	6.41
Carichi applicati al muro	-11	181	-0.39	-29.96
Forza di inerzia dovuta al muro	-32	67	-0.58	0.29

9.1.13 Combinazione di carico SIS-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-45
Spinta del terreno a monte	20	63	-24.91	-8.87
Spinta del terreno a valle	-170	-20	8.18	2.91
Carichi applicati al muro	-11	181	-0.39	-30.36
Forza di inerzia dovuta al muro	-32	67	-0.58	-0.29

9.1.14 Combinazione di carico SIS-4

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	-32	67	0	-45
Spinta del terreno a monte	20	63	-24.61	-8.76
Spinta del terreno a valle	-170	-20	8.08	2.88
Carichi applicati al muro	-11	181	-0.39	-29.96
Forza di inerzia dovuta al muro	-32	67	-0.58	0.29

10 Verifiche di stabilità locale

10.1 Tensioni trasmesse sul terreno

Moltiplicatore spinta passiva per equilibrio	: 0
Pressione limite sul terreno per abbassamento	: 6 daN/cm ²
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	: 34.4 cm (comb. STR-1)
Momento rispetto al baricentro della fondazione	: -1727 daN cm (comb. GEO-2)
Larghezza reagente minima in fondazione	: 182 cm (comb. STR-1)
Tensione max sul terreno allo spigolo di valle	: 0.17 daN/cm ² (comb. GEO-2)
Tensione max sul terreno allo spigolo di monte	: 1.19 daN/cm ² (comb. STR-3)

10.2 Verifica a traslazione

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-2	
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)	
Moltiplicatore spinta passiva per traslazione	: 0
Coefficiente di attrito caratteristico terreno-fondazione	: 0.45
Coefficiente di attrito di progetto terreno-fondazione	: 0.36
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	: 86 daN
Sforzo tangenziale positivo all'intradosso della fondazione	: 0 daN
Sforzo tangenziale negativo all'intradosso della fondazione	: 30 daN
Coefficiente limite verifica alla traslazione	: 1
Coefficiente di sicurezza alla traslazione	: 1

10.3 Verifica a ribaltamento

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: EQU-4	
Moltiplicatore spinta passiva per ribaltamento	: 0
Momento ribaltante rispetto allo spigolo di valle	: 1510 daN cm
Momento stabilizzante rispetto a spigolo di valle	: -10364 daN cm
Coefficiente limite verifica al ribaltamento	: 1
Coefficiente di sicurezza al ribaltamento	: 6.86

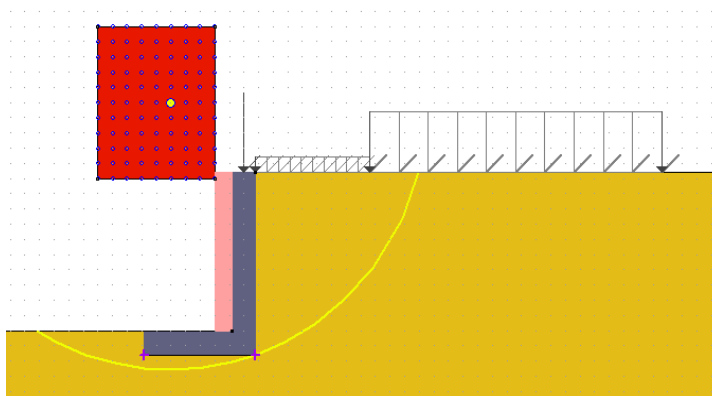
10.4 Verifica al carico limite

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-2
 Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
 Moltiplicatore spinta passiva per portanza terreno : 0
 Inclinazione media del pendio circostante la fondazione : 0 °
 Profondità del piano di posa : 40 cm
 Sovraccarico agente sul piano di posa : 0.072 daN/cm²
 Angolo di attrito di progetto del suolo di fondazione : 30.2 °
 Peso specifico di progetto del suolo di fondazione : 0.0018 daN/cm³
 Inclinazione della risultante rispetto alla normale : 19.5 °
 Base efficace : 150 cm
 Carico tangenziale al piano di posa : 30.5 daN/cm
 Carico di progetto della fondazione (normale al P.P.) : 86 daN/cm
 Carico ultimo della fondazione : 156.1 daN/cm
 Lunghezza Fondazione per verifica carico limite : 100 cm
 Coefficiente limite verifica al carico limite : 1
 Coefficiente di sicurezza al carico limite : 1.81

Tabella dei coefficienti di capacità portante

Coefficienti	Coesione	Sovraccarico	Attrito
Coefficienti di capacità portante	$N_c = 31$	$N_q = 19$	$N_g = 15$
Coefficienti di forma	$s_c = 1$	$s_q = 1$	$s_g = 1$
Coefficienti di profondità	$d_c = 1.08$	$d_q = 1.06$	$d_g = 1$
Coefficienti di inclinazione del carico	$i_c = 0.34$	$i_q = 0.38$	$i_g = 0.24$
Coefficienti di inclinazione del piano di posa della fondazione	$b_c = 1$	$b_q = 1$	$b_g = 1$
Coefficienti di inclinazione del pendio	$g_c = 1$	$g_q = 1$	$g_g = 1$

11 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio



Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-2
 Metodo di analisi di stabilità del pendio : Bishop
 Passo dei conchi : 50 cm
 Coefficiente di stabilità globale pendio : 1.28
 Coefficiente limite suggerito dalla normativa : 1.1
 X centro della superficie critica : -125 cm
 Y centro della superficie critica : 375 cm
 Raggio della superficie critica : 440 cm
 Forza di bilancio : -1.93 daN/cm
 Volume spostato dalla superficie critica : 8.39 m³/m
 Peso spostato dalla superficie critica : 16363 daN/m

12 Parametri per dimensionamento armatura

Metodo di calcolo: D.M. 14-01-2008 Norme Tecniche per le Costruzioni

Rck (resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo)	: 300 daN/cm ²
Modulo elastico longitudinale E _c	: 314472 daN/cm ²
Rapporto E _a /E _c per calcolo tensioni in esercizio	: 15
Rapporto E _a /E _c per calcolo ampiezza fessure	: 7
F _{yk} (tensione di snervamento caratteristica dell'acciaio)	: 4500 daN/cm ²
Fattore parziale di sicurezza dell'acciaio	: 1.15
Fattore parziale di sicurezza del calcestruzzo	: 1.5
Coefficiente Beta ₂ per calcolo ampiezza fessure	: 0.5
Riduzione della tau di aderenza per cattiva aderenza	: 0.7
f _{ct,eff} /f _{ctm} per calcolo ampiezza fessure	: 0.83
Limite sigma _{mac} /f _{ck}	: 0.45
Limite sigma _f /f _{yk}	: 0.8
Ampiezza limite delle fessure	: 0.3 mm
Coefficiente Beta per punzonamento pali sul bordo	: 1.4
Coefficiente Beta per punzonamento pali interni	: 1.15

13 Sollecitazioni e verifiche strutturali

Tutte le verifiche sono riferite su sezioni di profondità nominale di un metro.

Significato dei simboli:

X: ascissa del baricentro della sezione

Y: ordinata del baricentro della sezione

H: altezza della sezione

A_s: area efficace dello strato superiore per metro

C_s: copriferro medio dello strato superiore

A_i: area efficace dello strato inferiore per metro

C_i: copriferro medio dello strato inferiore

v_{mi}: soddisfacimento delle percentuali minime di armatura

c_{res}: combinazione di carico critica per la verifica di resistenza in pressoflessione retta

M_d: momento di calcolo

N_d: sforzo normale di calcolo

M_u: momento ultimo

N_u: sforzo normale ultimo

c.s.: coefficiente di sicurezza

v_{res}: soddisfacimento della resistenza alla pressoflessione retta

X: ascissa del baricentro della sezione

Y: ordinata del baricentro della sezione

H: altezza della sezione

c_{es}: combinazione di carico critica delle tensioni in esercizio in pressoflessione retta

M_e: momento in esercizio

N_e: sforzo normale in esercizio

σ_f: trazione massima sull'armatura

σ_c: compressione massima sul calcestruzzo

v_{es}: soddisfacimento tensioni ammissibili a pressoflessione retta

c_f: combinazione di carico critica per la verifica di fessurazione

M_f: momento di calcolo per la verifica di fessurazione

N_f: sforzo normale di calcolo per la verifica di fessurazione

S_{rm}: interasse delle fessure

W_k: ampiezza caratteristica delle fessure

v_f: soddisfacimento verifica fessurazione

X: ascissa del baricentro della sezione

Y: ordinata del baricentro della sezione

H: altezza della sezione

c_i: combinazione di carico critica per la verifica a taglio

VSd: taglio di calcolo

VRdc: taglio resistente in assenza di armatura a taglio

VRdmax: taglio resistente massimo dell'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse

VRds: taglio resistente in presenza di armatura a taglio

v_i: soddisfacimento verifica taglio

Paramento (sezioni longitudinali attraversate da barre trasversali)

X	Y	H	A _s	C _s	A _i	C _i	v _{ml}	C _{res}	M _d	N _d	M _u	N _u	C.S.	V _{res}
cm	cm	cm	cm ²	cm	cm ²	cm			daN cm	daN		daN cm		
0	0	40	10.1	3.8	10.1	3.8	ok	GEO-2	229239	-6414	2463184	-68917	10.7	ok
0	30	40	12.3	3.8	13.8	3.8	ok	GEO-2	168531	-5750	3667652	-125144	21.8	ok
0	60	40	5.7	3.8	10.1	3.8	ok	GEO-2	120740	-5110	3237422	-137018	26.8	ok
0	90	40	5.7	3.8	10.1	3.8	ok	GEO-2	83268	-4491	3654383	-197091	43.9	ok
0	120	40	5.7	3.8	10.1	3.8	ok	STR-4	57037	-5034	3521918	-310839	61.7	ok
0	150	40	5.7	3.8	10.1	3.8	ok	STR-4	36035	-4283	3129131	-371953	86.8	ok
0	180	40	5.7	3.8	10.1	3.8	ok	STR-4	21084	-3548	2579813	-434130	122	ok
0	210	40	5.7	3.8	10.1	3.8	ok	STR-4	10629	-2835	1857704	-495595	175	ok
0	240	40	5.7	3.8	8.4	3.8	ok	STR-4	3485	-2146	907490	-558772	260	ok

X	Y	H	C _{es}	M _e	N _e	σ _f	σ _c	V _{es}	C _i	M _f	N _f	S _{rm}	W _k	v _f
cm	cm	cm		daN cm	daN	daN/cm ²	daN/cm ²			daN cm	daN	cm	mm	
0	0	40	SLE-2	146668	-6234	171	-9	ok	SLE-2	146668	-6234	-	-	ok
0	30	40	SLE-2	108057	-5609	74	-6	ok	SLE-2	108057	-5609	-	-	ok
0	60	40	SLE-2	77516	-4996	45	-5	ok	SLE-2	77516	-4996	-	-	ok
0	90	40	SLE-2	53910	-4396	16	-3	ok	SLE-2	53910	-4396	-	-	ok
0	120	40	SLE-2	36039	-3815	3	-2	ok	SLE-2	36039	-3815	-	-	ok
0	150	40	SLE-2	23074	-3250	0	-2	ok	SLE-2	23074	-3250	-	-	ok
0	180	40	SLE-2	13939	-2697	0	-1	ok	SLE-2	13939	-2697	-	-	ok
0	210	40	SLE-2	7439	-2161	0	-1	ok	SLE-2	7439	-2161	-	-	ok
0	240	40	SLE-2	2660	-1642	0	0	ok	SLE-2	2660	-1642	-	-	ok

X	Y	H	C _i	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _i
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
0	0	40	GEO-2	-2240	15423	-	-	ok
0	30	40	GEO-2	-1776	16815	-	-	ok
0	60	40	GEO-2	-1376	15246	-	-	ok
0	90	40	GEO-2	-1036	15162	-	-	ok
0	120	40	GEO-2	-753	15081	-	-	ok
0	150	40	GEO-2	-514	15002	-	-	ok
0	180	40	GEO-2	-311	14924	-	-	ok
0	210	40	GEO-2	-159	14849	-	-	ok
0	240	40	GEO-2	-58	14777	-	-	ok

Mensola di fondazione a valle (mensola sinistra) (sezioni longitudinali attraversate da barre trasversali)

X	Y	H	A _s	C _s	A _i	C _i	v _{ml}	C _{res}	M _d	N _d	M _u	N _u	C.S.	V _{res}
cm	cm	cm	cm ²	cm	cm ²	cm			daN cm	daN		daN cm		
-140	-20	40	10.1	3.8	10.1	3.8	ok	STR-3	-4717	0	-1358075	0	288	ok
-110	-20	40	10.1	3.8	10.1	3.8	ok	GEO-2	22700	0	1358075	0	59.8	ok
-80	-20	40	10.1	3.8	10.1	3.8	ok	GEO-2	63312	0	1358075	0	21.5	ok
-50	-20	40	10.1	3.8	10.1	3.8	ok	GEO-2	134311	0	1358075	0	10.1	ok
-20	-20	40	10.1	3.8	10.1	3.8	ok	GEO-2	243855	0	1358075	0	5.57	ok

X	Y	H	C _{es}	M _e	N _e	σ _f	σ _c	V _{es}	C _i	M _f	N _f	S _{rm}	W _k	v _f
cm	cm	cm		daN cm	daN	daN/cm ²	daN/cm ²			daN cm	daN	cm	mm	

-140	-20	40	SLE-1	-3629	0	11	0	ok	SLE-1	-3629	0	-	-	ok
-110	-20	40	SLE-1	-6356	0	19	0	ok	SLE-1	-6356	0	-	-	ok
-80	-20	40	SLE-2	10714	0	32	-1	ok	SLE-2	10714	0	-	-	ok
-50	-20	40	SLE-2	53544	0	160	-3	ok	SLE-2	53544	0	-	-	ok
-20	-20	40	SLE-2	137653	0	412	-8	ok	SLE-2	137653	0	-	-	ok

X	Y	H	c _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
-140	-20	40	GEO-2	333	14552	-	-	ok
-110	-20	40	GEO-2	938	14552	-	-	ok
-80	-20	40	GEO-2	1815	14552	-	-	ok
-50	-20	40	STR-4	3048	14552	-	-	ok
-20	-20	40	STR-4	5066	14552	-	-	ok