



Dott. Ing. Gaspard Marco
Fraz. Quingod 241
11020 Challand-Saint-Anselme (AO)
C.F. GSPMRC84P10A326G
P. IVA 01155880071
Cell. +393403457015
mail: gaspard.m@libero.it

Comune di Ayas
Commune de Ayas

Committenti: Amministrazione comunale Ayas

Progetto esecutivo

Lavori di manutenzione straordinaria del marciapiede di collegamento
tra le frazioni di Lignod-Antagnod

Relazione di calcolo

Opera	Argomento	Doc. e Prog.	Fase	Revisione
A094 3	PE	RC01	0	0

PROGETTISTI

Dott. Ing. Gaspard Marco
gaspard.m@libero.it - Cel. +39 3403457015

Scala :

Rev.	Descrizione	Data	Redatto	Verificato	Approvato
0	Progetto esecutivo	Dicembre 2017	Gaspard	Gaspard	Gaspard
1					
2					
3					
4					

SEZIONE TIPO 1

Indice generale

1 Descrizione del software	3
2 Normative di riferimento	3
3 Geometria del muro	4
3.1 Sistema di riferimento	4
3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale	5
3.3 Rappresentazione analitica	5
4 Caratteristiche dei terreni	6
5 Geometria degli strati	6
6 Geometria dei carichi	7
6.1 Carichi uniformi	8
7 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche	8
7.1 Descrizione della normativa sismica	8
7.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte	10
7.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza	11
8 Distribuzioni di spinte e pressioni	12
8.1 Coefficienti di spinta	12
8.2 Pressioni	13
8.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1	13
8.2.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2	13
8.2.3 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-3	14
8.2.4 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-1	14
8.2.5 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-2	14
8.2.6 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-3	15
8.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-4	15
8.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-1	15
8.2.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-2	15
8.2.10 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-1	16
8.2.11 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-2	16
8.2.12 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-1	16
8.2.13 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-2	16
9 Risultante delle azioni agenti sul muro	17
9.1 Combinazioni di calcolo	17
9.1.1 Combinazione di carico EQU-1	17
9.1.2 Combinazione di carico EQU-2	17
9.1.3 Combinazione di carico EQU-3	18
9.1.4 Combinazione di carico STR-1	18
9.1.5 Combinazione di carico STR-2	18
9.1.6 Combinazione di carico STR-3	18
9.1.7 Combinazione di carico STR-4	18
9.1.8 Combinazione di carico GEO-1	19
9.1.9 Combinazione di carico GEO-2	19
9.1.10 Combinazione di carico SIS-1	19
9.1.11 Combinazione di carico SIS-2	19

<u>10 Verifiche di stabilità locale</u>	19
<u>10.1 Tensioni trasmesse sul terreno</u>	19
<u>10.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)</u>	20
<u>10.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)</u>	20
<u>10.4 Verifica di capacità portante del suolo</u>	20
<u>11 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio</u>	20
<u>12 Parametri per dimensionamento armatura</u>	22
<u>13 Sollecitazioni e verifiche strutturali</u>	22

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: 7.18

Identificatore licenza: WP-7416725

Intestatario della licenza: PERRET DOT. ING. RICCARDO FRAZ. QUINCOD, 138/B CHALLAND SAINT ANSELME

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 dal progettista. 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 nei terreni della stratigrafia definita. 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)

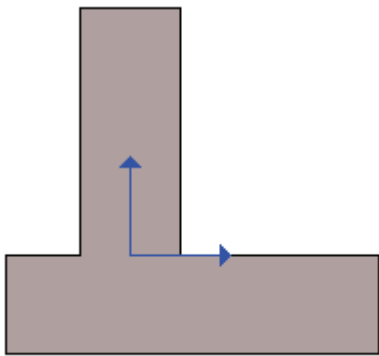
Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 (NTC 2008)

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

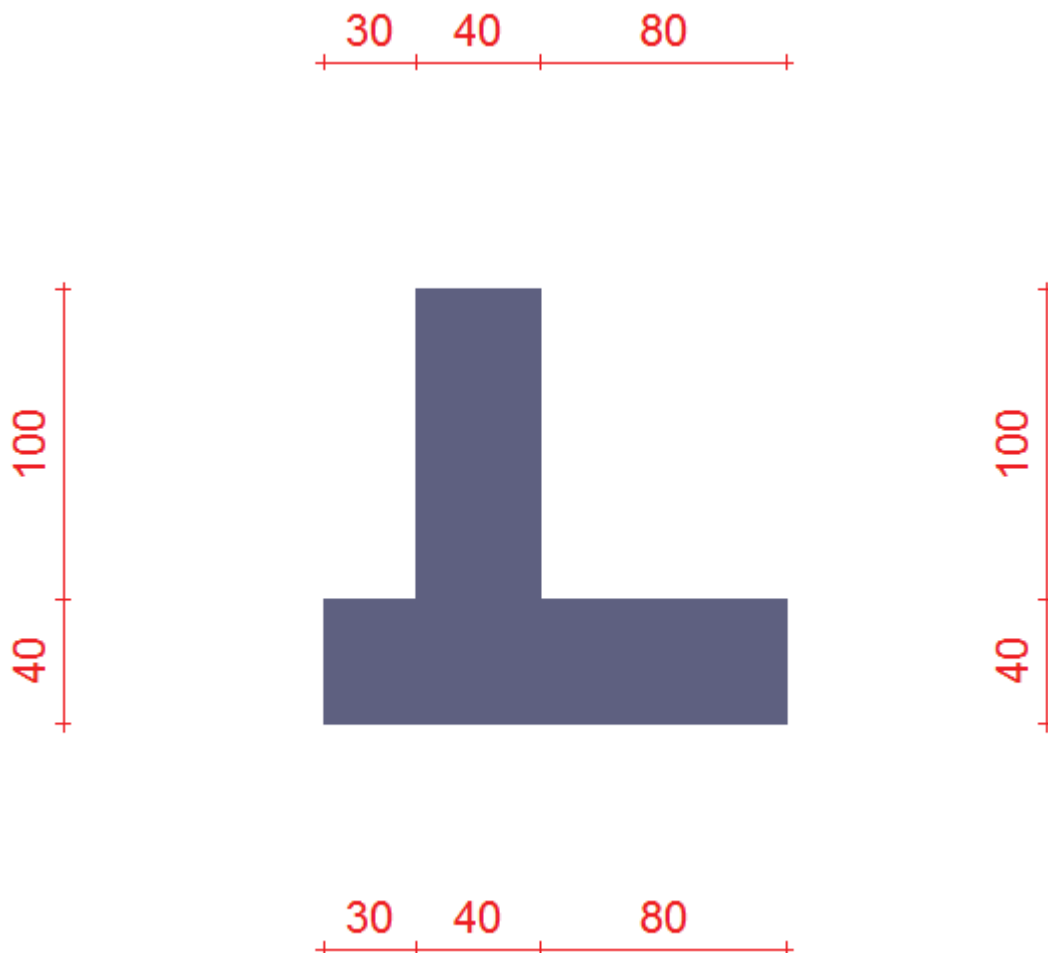
Ordinate Y (esprese in centimetri) positive verso l'alto

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	: 150 cm
Altezza totale del muro	: 140 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	: 100 cm
Disassamento	: 0 cm

Mensola sinistra in fondazione

Larghezza	: 30 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

Mensola destra in fondazione

Larghezza	: 80 cm
Alt.interna	: 40 cm
Alt.esterna	: 40 cm
Disassamento	: 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/cll (-)

OCR: Coefficiente di sovraconsolidazione del terreno (-)

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

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

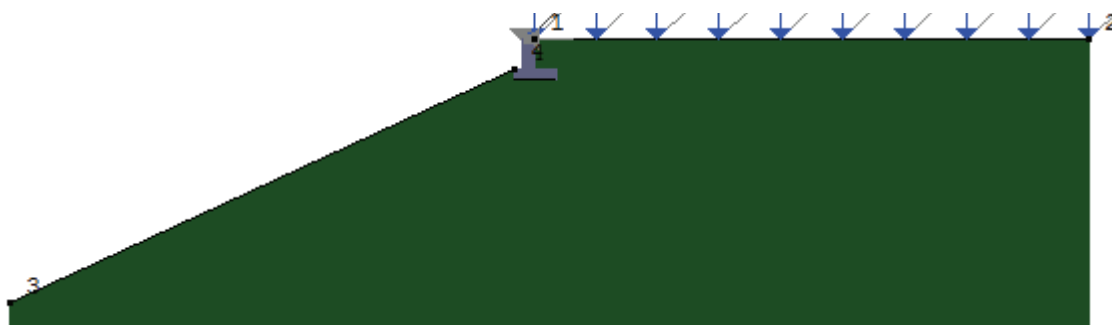
G: Modulo elastico tangenziale del terreno (daN/cm²)

Perm: Permeabilità del terreno (cm/sec)

N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	Al	OCR	Ko	E	G	Perm
1	Terreno	2100	2000	30,00	0,100	0,000	0,00	0,50	1,00	0,50	500	200	1,00E-02

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: Terreno

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	20	100
2	2	1940	100

Strato n.2, materiale sottostante: Terreno

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	-1793	-805
2	4	-50	0

Strato n.3, materiale sottostante: Terreno

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-50	-40
2	-	-20	-40
3	-	20	-40
4	-	100	-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: coppia

Punto di inserimento:

X (asse X globale): 0 cm

Y (asse Z globale): 100 cm

Condizione: Permanenti

Valore: 0,00 daN cm/cm

Condizione: Variabili

Valore: 15,00 daN cm/cm

Carico n.2

Tipo di carico: concentrato

Punto di inserimento:

X (asse X globale): 0 cm

Y (asse Z globale): 100 cm

Condizione: Permanenti

Componente Fx: 0,00 daN/cm
Componente Fy: 0,00 daN/cm
Condizione: Variabili
Componente Fx: -15,00 daN/cm
Componente Fy: 0,00 daN/cm

6.1 Carichi uniformi

Comp.permanente di carico uniforme a monte : 0 daN/cm²
Comp.variabile di carico uniforme a monte : -0.2 daN/cm²

7 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche

Metodo di calcolo della spinta del terreno : Coulomb
Metodo di calcolo della portanza del terreno : Terzaghi
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,
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 Ag/g massima attesa al suolo: 0.0597 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 (Beta s): 0.2
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima per muri (Beta m): 0.18
Punto di applicazione della forza dinamica: stesso punto di quella statica
Effetto della componente verticale di accelerazione sismica trascurato.

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 .

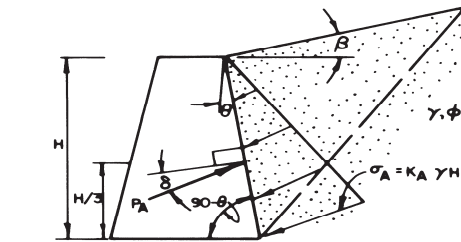
Il coefficiente S_s di amplificazione stratigrafica è funzione dei terreni del sito ed ha valore unitario sul terreno di riferimento; i valori minimi e massimi di S_s sono riportati nella normativa in Tab. 3.2.V.

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.

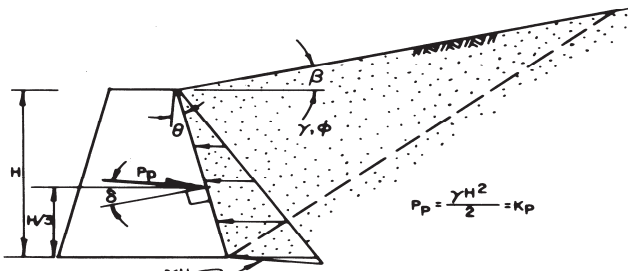
Il calcolo viene condotto nelle combinazioni stabilite dal progettista, con i coefficienti parziali sulle azioni, sui materiali e resistenze indicati; di default vengono create combinazioni per il caso statico e sismico.

7.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte

La teoria di Coulomb fa uso del *metodo dell'equilibrio limite* e considera l'equilibrio globale del cuneo di spinta alle spalle del muro di sostegno sottoposto alla forza nota del peso proprio ed alle due forze, note solo in direzione, costituite dalla reazione del terreno lungo la superficie di scorrimento e dalla spinta attiva agente sul paramento del muro.



$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2 \theta \cos(\theta + \delta)} \left[1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\theta + \delta) \cos(\theta - \beta)} \right]^2$$

$$P_A = \frac{\gamma H^2}{2} K_A$$


$$K_P = \frac{\cos^2(\theta + \phi)}{\cos^2 \theta \cos(\theta - \delta)} \left[1 - \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\cos(\theta - \delta) \cos(\theta - \beta)} \right]^2$$

$$P_P = \frac{\gamma H^2}{2} K_P$$

K_P VALUES ARE SATISFACTORY FOR $\delta \leq \phi/3$ BUT ARE UNCONSERVATIVE FOR $\delta > \phi/3$ AND THEREFORE SHOULD NOT BE USED.

Le ipotesi che stanno alla base del metodo, nella generalizzazione analitica di Muller/Breslau, sono:

Terreno isotropo, omogeneo e dotato di attrito e/o coesione.

Terreno che, a causa degli spostamenti del muro, si trova in uno stato di equilibrio plastico.

Superficie di rottura piana.

Superficie superiore del cuneo anche inclinata ma di forma piana.

La resistenza per attrito e per coesione si sviluppa uniformemente lungo la superficie di rottura.

Può esistere attrito tra paramento del muro e terreno, che si sviluppa al primo spostamento del muro.

Il paramento del muro può essere inclinato ma non spezzato in più parti.

Scrivendo le equazioni di equilibrio lungo la superficie di rottura unitamente alla condizione di rottura sopra menzionata e massimizzando la spinta derivante dal calcolo al variare dell'angolo si perviene all'equazione della spinta attiva:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot K_a$$

dove K_a è il coefficiente di spinta attiva, usualmente scritto in funzione della geometria del problema in una delle varie forme presenti in letteratura, ad esempio la seguente:

$$K_a = \frac{1}{\sin(\vartheta - \delta)} \cdot \frac{\sin^2(\vartheta + \phi)}{\left[\sin \vartheta \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \varepsilon)}{\sin(\vartheta - \delta) \cdot \sin(\vartheta + \varepsilon)}} \right) \right]^2}$$

I simboli usati in questa formulazione sono:

θ = angolo che il paramento del muro forma con l'orizzontale.

δ = angolo di attrito terreno-muro.

ε = angolo che il profilo del terrapieno forma con l'orizzontale.

ϕ = angolo di attrito interno del terreno.

Utilizzando la medesima formulazione della spinta attiva e minimizzando la spinta conseguente al variare dell'angolo, si perviene all'equazione della spinta passiva:

$$P_p = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot K_p$$

dove K_p è il coefficiente di spinta passiva, usualmente scritto in funzione della geometria del problema in una delle varie forme presenti in letteratura, ad esempio la seguente:

$$K_p = \frac{1}{\sin(\vartheta - \delta)} \cdot \frac{\sin^2(\vartheta + \phi)}{\left[\sin \vartheta \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \varepsilon)}{\sin(\vartheta - \delta) \cdot \sin(\vartheta + \varepsilon)}} \right) \right]^2}$$

I simboli usati in questa formulazione sono gli stessi del caso attivo.

Questa teoria ci fornisce il valore in modulo della spinta, attiva o passiva, la sua direzione, normale al paramento ma incrementata dell'angolo di attrito δ (muro-terreno), ed il punto di applicazione, posto a 2/3 della profondità considerata (quindi ad 1/3 dell'altezza del muro partendo dalla base, indipendentemente dall'inclinazione del paramento).

7.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza

La capacità portante viene valutata attraverso la formula di Terzaghi per la quale risulta

$$Q_{\lim} = c \cdot N_c \cdot s_c + q \cdot N_q + \frac{1}{2} \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$$

dove:

γ = peso di volume dello strato di fondazione;

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

c = coesione dello strato di fondazione;

q = sovraccarico del terreno sovrastante il piano di fondazione;

N_c, N_q, N_γ = fattori di capacità portante;

s_c, s_γ = fattori di forma della fondazione;

Per la teoria di Terzaghi i coefficienti sopra definiti assumono le espressioni che seguono:

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \phi; \quad N_q = \frac{e^{2 \cdot (0.75 \cdot \pi - \phi/2) \cdot \text{tg} \phi}}{2 \cdot \cos^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)}; \quad N_\gamma = \frac{\text{tg} \phi}{2} \cdot \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$$

nelle quali si sono considerati i seguenti dati:

ϕ = angolo di attrito dello strato di fondazione;

K_{py} è un valore empirico che Terzaghi non ha mai definito in modo chiaro. Nel calcolo viene impiegato un valore interpolato linearmente dalla seguente tabella (ϕ / K_{py}), ricavata da Bowles interpretando i fattori di capacità portante di Terzaghi a ritroso: 0°/10.8; 5°/12.2; 10°/14.7; 15°/18.6; 20°/25; 25°/35; 30°/52; 35°/82; 40°/141; 45°/298; 50°/800;

I fattori di forma s_c ed s_γ valgono 1 per la fondazione nastriforme.

* La formula di Terzaghi non considera gli effetti dell'inclinazione del carico, del piano di posa e del piano campagna.

8 Distribuzioni di spinte e pressioni

8.1 Coefficienti di spinta

Coefficienti di spinta sul paramento a monte							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_a
1	20	20	100	0	1	EQU-1	0.41
1	20	20	100	0	2	EQU-2	0.41
1	20	20	100	0	3	EQU-3	0.46
1	20	20	100	0	4	STR-1	0.33
1	20	20	100	0	5	STR-2	0.33
1	20	20	100	0	6	STR-3	0.33
1	20	20	100	0	7	STR-4	0.33
1	20	20	100	0	8	GEO-1	0.41
1	20	20	100	0	9	GEO-2	0.41
1	20	20	100	0	10	SIS-1	0.34
1	20	20	100	0	11	SIS-2	0.42
1	20	20	100	0	12	SLE-1	0.33
1	20	20	100	0	13	SLE-2	0.33

Coefficienti di spinta sul filo mensola a monte							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_a
1	100	100	100	-40	1	EQU-1	0.41
1	100	100	100	-40	2	EQU-2	0.41
1	100	100	100	-40	3	EQU-3	0.46
1	100	100	100	-40	4	STR-1	0.33
1	100	100	100	-40	5	STR-2	0.33
1	100	100	100	-40	6	STR-3	0.33
1	100	100	100	-40	7	STR-4	0.33
1	100	100	100	-40	8	GEO-1	0.41
1	100	100	100	-40	9	GEO-2	0.41
1	100	100	100	-40	10	SIS-1	0.34
1	100	100	100	-40	11	SIS-2	0.42
1	100	100	100	-40	12	SLE-1	0.33
1	100	100	100	-40	13	SLE-2	0.33

Coefficienti di spinta sul filo mensola a valle							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_p
1	50	50	0	-40	1	EQU-1	0.84
1	50	50	0	-40	2	EQU-2	0.84
1	0	0	0	0	3	EQU-3	0
1	50	50	0	-40	4	STR-1	1.25
1	50	50	0	-40	5	STR-2	1.25
1	50	50	0	-40	6	STR-3	1.25
1	50	50	0	-40	7	STR-4	1.25
1	50	50	0	-40	8	GEO-1	0.84
1	50	50	0	-40	9	GEO-2	0.84
1	50	50	0	-40	10	SIS-1	1.21

1	0	0	0	0	11	SIS-2	0
1	50	50	0	-40	12	SLE-1	1.25
1	50	50	0	-40	13	SLE-2	1.25

8.2 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.



8.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X_1	Y_1	X_2	Y_2	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	100	20	90	-0.02	0	-0.03	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.03	0
2	20	90	20	80	-0.03	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.03	0	-0.04	0
3	20	80	20	70	-0.04	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.04	0
4	20	70	20	60	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.05	0
5	20	60	20	50	-0.05	0	-0.06	0	0	0	0	0	-0.05	0	-0.06	0
6	20	50	20	40	-0.06	0	-0.06	0	0	0	0	0	-0.06	0	-0.06	0
7	20	40	20	30	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	-0.06	0	-0.07	0
8	20	30	20	20	-0.07	0	-0.08	0	0	0	0	0	-0.07	0	-0.08	0
9	20	20	20	10	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	-0.08	0	-0.09	0
10	20	10	20	0	-0.09	0	-0.09	0	0	0	0	0	-0.09	0	-0.09	0

8.2.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	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	100	20	90	-0.02	0	-0.03	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.03	0
2	20	90	20	80	-0.03	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.03	0	-0.04	0
3	20	80	20	70	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.05	0
4	20	70	20	60	-0.05	0	-0.06	0	0	0	0	0	-0.05	0	-0.06	0
5	20	60	20	50	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	-0.06	0	-0.07	0
6	20	50	20	40	-0.07	0	-0.07	0	0	0	0	0	-0.07	0	-0.07	0
7	20	40	20	30	-0.07	0	-0.08	0	0	0	0	0	-0.07	0	-0.08	0
8	20	30	20	20	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	-0.08	0	-0.09	0
9	20	20	20	10	-0.09	0	-0.1	0	0	0	0	0	-0.09	0	-0.1	0
10	20	10	20	0	-0.1	0	-0.11	0	0	0	0	0	-0.1	0	-0.11	0

8.2.3 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	100	20	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20	90	20	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20	80	20	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	20	70	20	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	20	60	20	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	20	50	20	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	20	40	20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	20	30	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20	20	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0

8.2.4 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	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8.2.5 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	100	20	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20	90	20	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20	80	20	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	20	70	20	60	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
5	20	60	20	50	-0.01	0	-0.02	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	0
6	20	50	20	40	-0.02	0	-0.02	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.02	0
7	20	40	20	30	-0.02	0	-0.03	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.03	0
8	20	30	20	20	-0.03	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.03	0	-0.04	0
9	20	20	20	10	-0.04	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.04	0

1 0	20	10	20	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.05	0
--------	----	----	----	---	-------	---	-------	---	---	---	---	---	-------	---	-------	---

8.2.6 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-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	10	20	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20	10	20	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20	10	20	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	20	10	20	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	20	10	20	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	20	10	20	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	20	10	20	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	20	10	20	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20	10	20	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 0	20	10	20	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-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	100	20	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20	90	20	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20	80	20	70	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
4	20	70	20	60	-0.01	0	-0.02	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	0
5	20	60	20	50	-0.02	0	-0.03	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.03	0
6	20	50	20	40	-0.03	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.03	0	-0.04	0
7	20	40	20	30	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.05	0
8	20	30	20	20	-0.05	0	-0.05	0	0	0	0	0	-0.05	0	-0.05	0
9	20	20	20	10	-0.05	0	-0.06	0	0	0	0	0	-0.05	0	-0.06	0
1 0	20	10	20	0	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	-0.06	0	-0.07	0

8.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-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	10	20	0	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20	10	20	0	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20	10	20	0	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	20	10	20	0	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	20	10	20	0	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	20	10	20	0	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	20	10	20	0	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	20	10	20	0	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20	10	20	0	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 0	20	10	20	0	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8.2.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-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	100	20	90	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	20	90	20	80	-0.01	0	-0.02	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	0
3	20	80	20	70	-0.02	0	-0.03	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.03	0
4	20	70	20	60	-0.03	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.03	0	-0.04	0

5	20	60	20	50	-0.04	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.04	0
6	20	50	20	40	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.05	0
7	20	40	20	30	-0.05	0	-0.06	0	0	0	0	0	-0.05	0	-0.06	0
8	20	30	20	20	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	-0.06	0	-0.07	0
9	20	20	20	10	-0.07	0	-0.08	0	0	0	0	0	-0.07	0	-0.08	0
10	20	10	20	0	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	-0.08	0	-0.09	0

8.2.10 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	10	20	0	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20	10	20	0	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20	10	20	0	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	20	10	20	0	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	20	10	20	0	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	20	10	20	0	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	20	10	20	0	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	20	10	20	0	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20	10	20	0	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	10	20	0	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8.2.11 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	100	20	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20	90	20	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20	80	20	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	20	70	20	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	20	60	20	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	20	50	20	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	20	40	20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	20	30	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20	20	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0

8.2.12 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	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8.2.13 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-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	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	10	20	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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	0
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	0
SIS	A0	M2	R2	2	SIS-2	1	0.3	1	0
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	15	8	0	-22.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	60	50	0	-14.4
Spinta del terreno a monte	0	13	-10.07	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	7.08	0
Carichi applicati al muro	0	100	-22.5	0
Carichi su terreno a monte	60	0	0	-24

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	15	8	0	-27.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	60	50	0	-17.6
Spinta del terreno a monte	0	12	-11.68	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	7.35	0
Carichi applicati al muro	0	100	-22.5	0
Carichi su terreno a monte	60	0	0	-24

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	15	8	0	-25
Peso proprio del terreno/acqua a monte	60	50	0	-16
Spinta del terreno a monte	0	-25	-1.25	0
Spinta del terreno a valle	0	-13772845 58571180	0	0
Carichi applicati al muro	0	100	-4.5	0
Carichi su terreno a monte	60	0	0	-4.8
Forza di inerzia dovuta al muro	15	8	-1.79	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	60	50	-1.15	0

9.1.4 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	15	8	0	-25
Peso proprio del terreno/acqua a monte	60	50	0	-16
Spinta del terreno a valle	0	-21	10.92	0

9.1.5 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	15	8	0	-25
Peso proprio del terreno/acqua a monte	60	50	0	-16
Spinta del terreno a monte	0	-1	-4.55	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	10.92	0
Carichi applicati al muro	0	100	-22.5	0
Carichi su terreno a monte	60	0	0	-24

9.1.6 Combinazione di carico STR-3

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	15	8	0	-32.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	60	50	0	-20.8
Spinta del terreno a monte	0	-38	-0.02	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	11.52	0

9.1.7 Combinazione di carico STR-4

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	15	8	0	-32.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	60	50	0	-20.8
Spinta del terreno a monte	0	1	-6.47	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	11.52	0
Carichi applicati al muro	0	100	-22.5	0

Carichi su terreno a monte	60	0	0	-24
----------------------------	----	---	---	-----

9.1.8 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	15	8	0	-25
Peso proprio del terreno/acqua a monte	60	50	0	-16
Spinta del terreno a monte	0	-35	-0.09	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	7.22	0

9.1.9 Combinazione di carico GEO-2

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	15	8	0	-25
Peso proprio del terreno/acqua a monte	60	50	0	-16
Spinta del terreno a monte	0	8	-8.58	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	7.22	0
Carichi applicati al muro	0	100	-19.5	0
Carichi su terreno a monte	60	0	0	-20.8

9.1.10 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	15	8	0	-25
Peso proprio del terreno/acqua a monte	60	50	0	-16
Spinta del terreno a valle	0	-21	10.75	0
Carichi applicati al muro	0	100	-4.5	0
Carichi su terreno a monte	60	0	0	-4.8
Forza di inerzia dovuta al muro	15	8	-0.32	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	60	50	-0.21	0

9.1.11 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	15	8	0	-25
Peso proprio del terreno/acqua a monte	60	50	0	-16
Spinta del terreno a monte	0	-25	-0.9	0
Spinta del terreno a valle	0	-13772845 58571180	0	0
Carichi applicati al muro	0	100	-4.5	0
Carichi su terreno a monte	60	0	0	-4.8
Forza di inerzia dovuta al muro	15	8	-0.32	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	60	50	-0.21	0

10 Verifiche di stabilità locale

10.1 Tensioni trasmesse sul terreno

Moltiplicatore spinta passiva per equilibrio
Pressione limite sul terreno per abbassamento
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione
Momento rispetto al baricentro della fondazione
Larghezza reagente minima in fondazione
Tensione max sul terreno allo spigolo di valle
Tensione max sul terreno allo spigolo di monte

: 0.5
: 1.6 daN/cm²
: 33.3 cm (comb. GEO-2)
: 2097 daN cm (comb. STR-2)
: 125 cm (comb. GEO-2)
: 1.07 daN/cm² (comb. STR-4)
: 0.49 daN/cm² (comb. STR-3)

10.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-2
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
Moltiplicatore spinta passiva per traslazione : 0.5
Coefficiente di attrito caratteristico terreno-fondazione : 0.5
Coefficiente di attrito di progetto terreno-fondazione : 0.4
Adesione di progetto terreno-fondazione : 0.04 daN/cm²
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione : 62 daN
Sforzo tangenziale positivo all'intradosso della fondazione : 4 daN
Sforzo tangenziale negativo all'intradosso della fondazione : 28 daN
Coefficiente limite verifica alla traslazione : 1
Coefficiente di sicurezza alla traslazione : 1.22

10.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: EQU-1
Moltiplicatore spinta passiva per ribaltamento : 0.5
Momento ribaltante rispetto allo spigolo di valle : 3709 daN cm
Momento stabilizzante rispetto a spigolo di valle : -5753 daN cm
Coefficiente limite verifica al ribaltamento : 1
Coefficiente di sicurezza al ribaltamento : 1.55

10.4 Verifica di capacità portante del suolo

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-2
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
Moltiplicatore spinta passiva per portanza terreno : 0.5
Inclinazione media del pendio circostante la fondazione : 25 °
Profondità del piano di posa : 40 cm
Sovraccarico agente sul piano di posa : 0.08 daN/cm²
Coesione di progetto del suolo di fondazione : 0.08 daN/cm²
Angolo di attrito di progetto del suolo di fondazione : 24.8 °
Peso specifico di progetto del suolo di fondazione : 0.002 daN/cm³
Inclinazione della risultante rispetto alla normale : 21.6 °
Base efficace : 83 cm
Carico tangenziale al piano di posa : 24.5 daN/cm
Carico di progetto della fondazione (normale al P.P.) : 61.8 daN/cm
Carico ultimo della fondazione : 313.9 daN/cm
Lunghezza Fondazione per verifica carico limite : 1000 cm
Coefficiente limite verifica al carico limite : 1
Coefficiente di sicurezza al carico limite : 5.08

Tabella dei coefficienti di capacità portante

Coefficienti	Coesione	Sovraccarico	Attrito
Coefficienti di capacità portante	N _c = 25	N _q = 12	N _γ = 9

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 : 100 cm
Coefficiente di stabilità globale pendio : 1.31
Coefficiente limite suggerito dalla normativa : 1.1
X centro della superficie critica : -229 cm
Y centro della superficie critica : 389 cm
Raggio della superficie critica : 547 cm
Forza di bilancio : 0.98 daN/cm
Volume spostato dalla superficie critica : 6.04 m³/m
Peso spostato dalla superficie critica : 12574 daN/m

STABILITA' DEL PENDIO CON IL METODO DI BISHOP
Combinazione GEO-1

Conc io	alf a	l	C	Tg fi	Xg	Yg	b	Peso	Pver t	Ptot	Pres s	Mstab	Minstab
1	-13 .7	1	0.0 8	0. 46	-358	-142	129	0	0	0	0	30	0
2	-8. 2	104	0.0 8	0. 46	-290	-131	61	6	0	6	0	6362	-504
3	2.6	103	0.0 8	0. 46	-199	-112	29	17	0	17	0	8762	431
4	13. 5	105	0.0 8	0. 46	-100	-81	129	24	0	24	0	10335	3060
5	20. 8	32	0.0 8	0. 46	-35	-58	194	8	0	8	0	3300	1537
6	24. 7	44	0.0 8	0. 46	0	1	228	19	0	19	0	6710	4436
7	32	94	0.0 8	0. 46	58	11	287	29	0	29	0	11445	8487
8	44. 5	143	0.0 8	0. 46	142	47	371	20	0	20	0	11191	7666
9	55	58	0.0 8	0. 46	213	84	442	2	0	2	0	2546	713
		684						126	0	126		60681	25826

Coefficiente di sicurezza FS = 2.3497

STABILITA' DEL PENDIO CON IL METODO DI BISHOP
Combinazione GEO-2

Conc io	alf a	l	C	Tg fi	Xg	Yg	b	Peso	Pver t	Ptot	Pres s	Mstab	Minstab
1	-13 .7	1	0.0 8	0. 46	-358	-142	129	0	0	0	0	31	0
2	-8. 2	104	0.0 8	0. 46	-290	-131	61	6	0	6	0	6512	-504
3	2.6	103	0.0 8	0. 46	-199	-112	29	17	0	17	0	8701	431
4	13. 5	105	0.0 8	0. 46	-100	-81	129	24	0	24	0	9978	3060
5	20. 8	32	0.0 8	0. 46	-35	-58	194	8	0	8	0	3128	1537
6	24. 7	44	0.0 8	0. 46	0	1	228	19	0	19	0	-5344	4436
7	32	94	0.0 8	0. 46	58	11	287	29	21	50	0	15613	14515
8	44. 5	143	0.0 8	0. 46	142	47	371	20	27	47	0	16914	17849
9	55	58	0.0 8	0. 46	213	84	442	2	9	10	0	4702	4599
		684						126	56	182		60236	45923

Coefficiente di sicurezza FS = 1.3117

STABILITA' DEL PENDIO CON IL METODO DI BISHOP
Combinazione SIS-2

Conc io	alf a	l	C	Tg fi	Xg	Yg	b	Peso	Pver t	Ptot	Pres s	Mstab	Minstab
1	-13 .7	1	0.0 8	0. 46	-358	-142	129	0	0	0	0	30	0
2	-8. 2	104	0.0 8	0. 46	-290	-131	61	6	0	6	0	6402	-455
3	2.6	103	0.0 8	0. 46	-199	-112	29	17	0	17	0	8746	554
4	13. 5	105	0.0 8	0. 46	-100	-81	129	24	0	24	0	10237	3221
5	20. 8	32	0.0 8	0. 46	-35	-58	194	8	0	8	0	3252	1587

6	24. 7	44	0.0 8	0. 46	0	1	228	19	0	19	0	3886	4544
7	32	94	0.0 8	0. 46	58	11	287	29	5	34	0	12430	10063
8	44. 5	143	0.0 8	0. 46	142	47	371	20	6	26	0	12580	10144
9	55	58	0.0 8	0. 46	213	84	442	2	2	4	0	3080	1625
		684						126	13	139		60643	31283

Coefficiente di sicurezza FS = 1.9385

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/cm²
 Modulo elastico longitudinale Ec : 314472 daN/cm²
 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/cm²
 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

As: area efficace dello strato superiore per metro

Cs: copriferro medio dello strato superiore

Ai: area efficace dello strato inferiore per metro

Ci: copriferro medio dello strato inferiore

v_{ml}: 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_r: 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_t : combinazione di carico critica per la verifica a taglio
 V_{Sd} : 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_t : soddisfacimento verifica taglio

Paramento (sezioni longitudinali) (attraversate da barre trasversali)

X	Y	H	A_s	C_s	A_l	C_l	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	5.7	4.6	5.7	4.6	ok	STR-2	232337	-1000	834302	-3591	3.59	ok
0	30	40	9.5	4.6	9.5	4.6	ok	STR-2	160922	-700	1369136	-5956	8.51	ok
0	60	40	5.7	4.6	5.7	4.6	ok	STR-2	92314	-400	834759	-3617	9.04	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	45450	-1000	158	-4	ok	SLE-2	45450	-1000	-	-	ok
0	30	40	SLE-2	31950	-700	69	-2	ok	SLE-2	31950	-700	-	-	ok
0	60	40	SLE-2	18450	-400	64	-2	ok	SLE-2	18450	-400	-	-	ok

X	Y	H	c_t	V_{Sd}	VR_{dc}	VR_{dmax}	VR_{ds}	v_t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
0	0	40	STR-4	-2543	14506	-	-	ok
0	30	40	STR-4	-2369	14454	-	-	ok
0	60	40	STR-4	-2272	14402	-	-	ok

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

X	Y	H	A_s	C_s	A_l	C_l	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		
-20	-20	40	5.7	4.6	5.7	4.6	ok	GEO-2	35952	-361	934338	-9380	26	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	
-20	-20	40	SLE-2	9137	-546	9	-1	ok	SLE-2	9137	-546	-	-	ok

X	Y	H	c_t	V_{Sd}	VR_{dc}	VR_{dmax}	VR_{ds}	v_t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
-20	-20	40	STR-4	2495	14410	-	-	ok

Mensola di fondazione a monte (mensola destra) (sezioni longitudinali) (attraversate da barre trasversali)

X	Y	H	A_s	C_s	A_l	C_l	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		
20	-20	40	5.7	4.6	5.7	4.6	ok	STR-4	-170863	-354	-800707	-1659	4.69	ok
50	-20	40	5.7	4.6	5.7	4.6	ok	STR-4	-76108	-354	-839801	-3907	11	ok
80	-20	40	5.7	4.6	5.7	4.6	ok	STR-2	-12356	-258	-1200002	-25069	97.1	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	
20	-20	40	SLE-2	-20460	0	110	-2	ok	SLE-2	-20460	0	-	-	ok
50	-20	40	SLE-2	-8232	0	44	-1	ok	SLE-2	-8232	0	-	-	ok
80	-20	40	SLE-1	1471	0	8	0	ok	SLE-1	1471	0	-	-	ok

X	Y	H	c _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
20	-20	40	STR-4	-3478	14380	-	-	ok
50	-20	40	STR-4	-2728	14380	-	-	ok
80	-20	40	STR-4	-1307	14380	-	-	ok