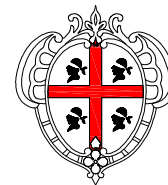




REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Assessoradu de sos traballos pùblicos
Assessorato dei lavori pubblici



Ente acque della Sardegna
Servizio Progetti e Costruzioni

**INTERVENTO DI RISTRUTTURAZIONE E RIQUALIFICAZIONE
DELLE OPERE ANNESSE ALLA DIGA DI NURAGHE ARRUBIU -
L108 - SISTEMAZIONE DELLA CARRARECCIA NURAGHE
ARRUBIU - DIGA FLUMENDOSA
- PROGETTO ESECUTIVO -**



PARTE A - INQUADRAMENTO GENERALE

Relazione sulle strutture:
Relazione di calcolo muri di sostegno e berlinese

Allegato

A.2.

scala:

Redatto da ATP Flumendosa:

Progettazione:

- Ing. Pietro Paolo Mossone (capogruppo)
- Ing. Giancarlo Orrù
- Ing. Carla Trampetta Giuffrida
- Ing. Francesca Melis

Consulenti:

- Dott. Geol. Giovanni Battista Demontis
- Ing. Giulia Balloco
- Dott. Mauro Cavallo

Il Direttore Generale f.f.
Ing. Franco Ollargiu

**Il Direttore del Servizio Progetti e Costruzioni
e Responsabile Unico del Procedimento**

Maggio 2015

Ente Acque della Sardegna

Cagliari

**INTERVENTI DI RISTRUTTURAZIONE E RIQUALIFICAZIONE DELLE
OPERE ANNESSE ALLA DIGA DI NURAGHE ARRUBIU.**

**L108 - SISTEMAZIONE DELLA CARRARECCIA
NURAGHE ARRUBIU – DIGA FLUMENDOSA**

PROGETTO ESECUTIVO

A.2. – RELAZIONE SULLE STRUTTURE:

Relazione di calcolo muri di sostegno e berlinese

1 Premessa

La presente relazione si riferisce alla progettazione dei muri di sostegno in calcestruzzo armato e della berlinese di micropali previsti nell'intervento relativo alla sistemazione della Carrareccia di collegamento tra l'area archeologica di Nuraghe Arrubiu di Orroli e la diga del Flumendosa.

In particolare verranno riportati nel seguito i calcoli dei muri di controripa e sottoscarpa a protezione della carrareccia e della berlinese di micropali atta a risanare alcuni muri di sottoscarpa a gravità preesistenti.

2 Normative di riferimento

- D.M. 14 Gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni"
- Circolare Ministeriale 2 Febbraio 2009 – "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008"

3 Modellazione e analisi dei carichi

La progettazione dei muri di contenimento è stata eseguita con l'ausilio del software di calcolo Wallcad 7.11, mentre il calcolo della berlinese è stato svolto con il software BulkCad 5.21.

3.1 Muri di sottoscarpa e controripa

Per i muri di sostegno si è provveduto a modellarne la geometria e i carichi agenti.

Questi ultimi sono dati dalla spinta attiva del terreno le cui caratteristiche, evinte dalla relazione geotecnica (Allegato D), vengono riportate di seguito:

Peso di volume del terreno $\rightarrow \gamma = 1,90 \text{ t/m}^3$

Coesione efficace $\rightarrow c' = 0,16 \text{ N/mm}^2$

Angolo di attrito interno $\rightarrow \varphi = 30^\circ$

Modulo di elasticità longitudinale $\rightarrow E = 41 \text{ N/mm}^2$

Per il calcolo della spinta è stato utilizzato il metodo di Mononobe-Okabe , mentre per il calcolo della portanza del terreno si è utilizzato il metodo di Brinch-Hansen.

3.2 *Berlinese*

Per la spinta del terreno sono stati utilizzati gli stessi parametri visti nel precedente paragrafo, a cui però si è aggiunge il sovraccarico stradale pari a 10 kN/m^2 .

Si allegano di seguito i tabulati di calcolo.

TABULATI DI CALCOLO MURI DI CONTRORIPA

Sistemazione della Carrareccia Nuraghe Arrubiu – Diga Flumendosa

Relazione di calcolo muro di controripa – $h = 0,85$ m

Indice generale

<u>1 Descrizione del software</u>	2
<u>2 Normative di riferimento</u>	2
<u>3 Geometria del muro</u>	3
<u>3.1 Sistema di riferimento</u>	3
<u>3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale</u>	4
<u>3.3 Rappresentazione analitica</u>	4
<u>4 Caratteristiche dei terreni</u>	5
<u>5 Geometria degli strati</u>	5
<u>6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche</u>	6
<u>6.1 Descrizione della normativa sismica</u>	6
<u>6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte</u>	8
<u>6.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza</u>	8
<u>7 Distribuzioni di spinte e pressioni</u>	10
<u>7.1 Coefficienti di spinta</u>	10
<u>7.2 Pressioni</u>	10
<u>8 Risultante delle azioni agenti sul muro</u>	11
<u>8.1 Combinazioni di calcolo</u>	11
<u>8.1.1 Combinazione di carico EQU-1</u>	11
<u>8.1.2 Combinazione di carico EQU-2</u>	11
<u>8.1.3 Combinazione di carico EQU-3</u>	11
<u>8.1.4 Combinazione di carico STR-1</u>	11
<u>8.1.5 Combinazione di carico STR-2</u>	12
<u>8.1.6 Combinazione di carico GEO-1</u>	12
<u>8.1.7 Combinazione di carico SIS-1</u>	12
<u>8.1.8 Combinazione di carico SIS-2</u>	12
<u>9 Verifiche di stabilità locale</u>	12
<u>9.1 Tensioni trasmesse sul terreno</u>	12
<u>9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)</u>	12
<u>9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)</u>	13
<u>9.4 Verifica di capacità portante del suolo</u>	13
<u>10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio</u>	13
<u>11 Parametri per dimensionamento armatura</u>	13
<u>12 Sollecitazioni e verifiche strutturali</u>	14

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: 7.11

Identificatore licenza: WW-3811560

Intestatario della licenza: MOSSONE ING. PIETRO PAOLO - VIA S'ARRULLONI, 5 - CAGLIARI

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)

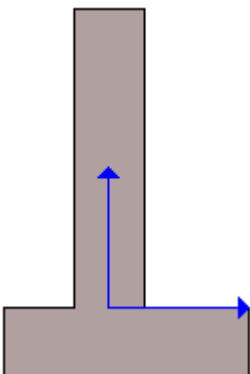
Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 (NTC 2008)

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

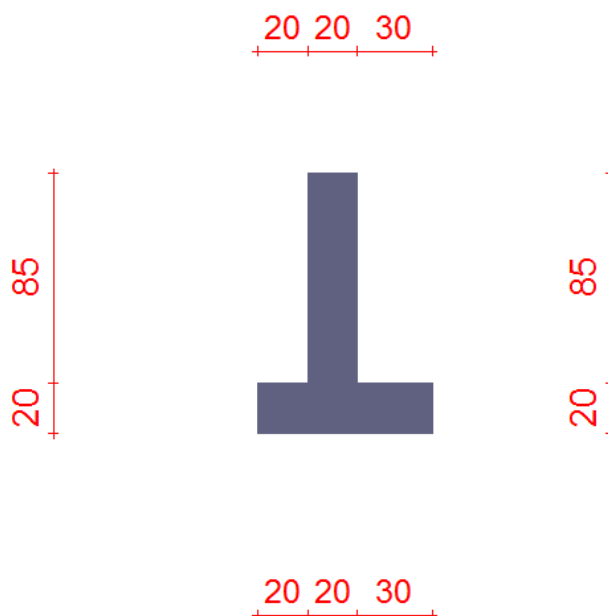
Ordinate Y (espresse in centimetri) positive verso l'alto

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	: 70 cm
Altezza totale del muro	: 105 cm
Peso specifico del muro	: 2500 daN/m ³
Peso specifico delle falde	: 1000 daN/m ³

Paramento

Base inf.	: 20 cm
Base sup.	: 20 cm
Altezza	: 85 cm
Disassamento	: 0 cm

Mensola sinistra in fondazione

Larghezza	: 20 cm
Alt.interna	: 20 cm
Alt.esterna	: 20 cm
Disassamento	: 0 cm

Zoccolo centrale in fondazione

Larghezza	: 20 cm
Altezza a sx	: 20 cm
Altezza a dx	: 20 cm
Sfalsamento	: 0 cm

Mensola destra in fondazione

Larghezza	: 30 cm
Alt.interna	: 20 cm
Alt.esterna	: 20 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)

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)

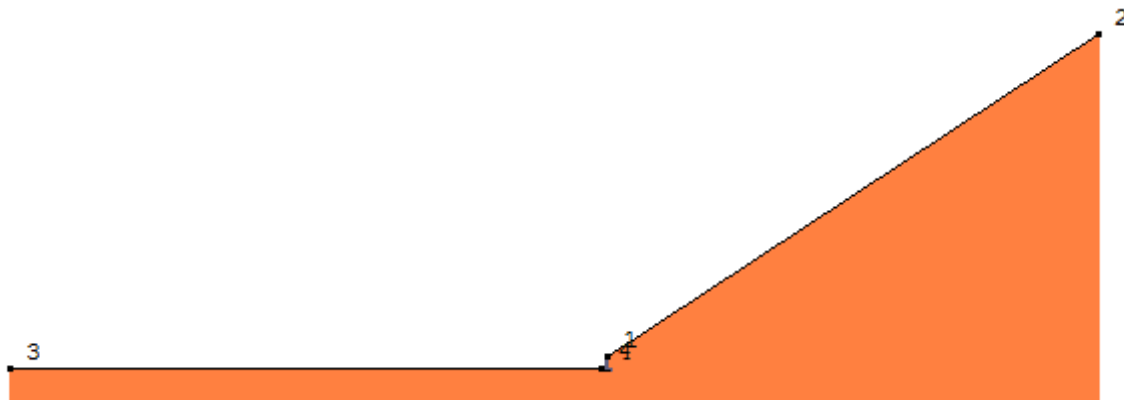
G: Modulo elastico tangenziale del terreno (daN/cm²)

Perm: Permeabilità del terreno (cm/sec)

N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	AI	OCR	Ko	E	G	Perm
1	Terreno Carrareccia	1900	1900	30,00	0,160	0,000	0,00	1,00	1,00	0,50	410	150	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: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	10	85
2	2	3703	2506

Strato n.2, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	-4485	0
2	4	-30	0

Strato n.3, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-30	-20
2	-	-10	-20
3	-	10	-20
4	-	40	-20

6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche

Metodo di calcolo della spinta del terreno : Mononobe-Okabe
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: Cagliari, Orroli

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: 0.05 g

Categoria del suolo di fondazione: B

Coefficiente di amplificazione stratigrafica: 1.5

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 trascurato.

6.1 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.

6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte

La teoria di Mononobe-Okabe fa uso del *metodo dell'equilibrio limite* e può essere considerata una estensione del metodo di Coulomb, in cui alle usuali spinte al contorno del cuneo instabile di terreno vengono sommate anche le azioni inerziali orizzontali e verticali dovute all'accelerazione delle masse.

Le ipotesi che stanno alla base del metodo sono quindi:

1. Terreno isotropo, omogeneo e dotato di attrito e/o coesione.
2. Terreno che, a causa degli spostamenti del muro, si trova in uno stato di equilibrio plastico.
3. Superficie di rottura piana.
4. Superficie superiore del cuneo anche inclinata ma di forma piana.
5. La resistenza per attrito e per coesione si sviluppa uniformemente lungo la superficie di rottura.
6. Può esistere attrito tra paramento del muro e terreno, che si sviluppa al primo spostamento del muro.
7. Il paramento del muro può essere inclinato ma non spezzato in più parti.
8. L'effetto delle accelerazioni k_h e k_v viene intrinsecamente considerato nel baricentro del cuneo instabile.

Le spinte Attiva e Passiva si calcolano come:

$$P_{a/p} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot (1 - k_v) \cdot K_{a/p}$$

il coefficiente $K_{a/p}$ viene calcolato utilizzando la formulazione di Mononobe-Okabe proposta nell'ordinanza 3274 e successiva correzione 3316, in cui i simboli usati sono:

ϕ = angolo di attrito interno del terreno.

ψ = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete interessata del muro.

β = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno.

δ = angolo di attrito terreno-muro.

θ = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Il coefficiente per stati di spinta attiva si divide in due casi:

$$\begin{aligned} \beta \leq \phi - \theta: \quad K_a &= \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \\ \beta > \phi - \theta: \quad K_a &= \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)} \end{aligned}$$

Il coefficiente per stati di spinta passiva è invece:

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \theta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi) \cdot \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

Nel caso di accelerazione sismica solo orizzontale l'angolo θ è unico e la spinta attiva e passiva risulta univocamente determinata; viceversa le formule forniscono due distinti valori, che corrispondono alla presenza di accelerazione sismica verticale verso l'alto e verso il basso.

6.3 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:

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \phi; & N_q &= \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg} \phi)}; & N_\gamma &= 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \phi \\ s_c &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}; & s'_c &= 0.2 \cdot \frac{B}{L}; & s_q &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \text{tg} \phi; & s_\gamma &= 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \\ d_c &= 1 + 0.4 \cdot k; & d'_c &= 0.4 \cdot k; & d_q &= 1 + 2 \cdot k \cdot \text{tg} \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2; & d_\gamma &= 1 \\ i_c &= i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}; & i'_c &= 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{B \cdot L \cdot c_a}}; & i_q &= \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5; \\ i_\gamma &= \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta=0); & i_\gamma &= \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 45^\circ) \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta>0) \\ g_c &= 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g'_c &= \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g_q &= (1 - 0.5 \cdot \text{tg} \beta)^5; & g_\gamma &= g_q \\ b_c &= 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b'_c &= \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b_q &= e^{(-2 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}; & b_\gamma &= e^{(-2.7 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)} \\ \text{dove: } k &= \frac{D}{B_f} & (\text{se } \frac{D}{B_f} \leq 1); & k &= \text{arctg} \left(\frac{D}{B_f} \right) & (\text{se } \frac{D}{B_f} > 1) \end{aligned}$$

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 .

7 Distribuzioni di spinte e pressioni

7.1 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	10	10	85	0	1	EQU-1	0.82
1	10	10	85	0	2	EQU-2	0.82
1	10	10	85	0	3	EQU-3	0.88
1	10	10	85	0	4	STR-1	0.75
1	10	10	85	0	5	STR-2	0.75
1	10	10	85	0	6	GEO-1	0.82
1	10	10	85	0	7	SIS-1	0.76
1	10	10	85	0	8	SIS-2	0.83
1	10	10	85	0	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a monte							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_a
1	40	40	105	-20	1	EQU-1	0.82
1	40	40	105	-20	2	EQU-2	0.82
1	40	40	105	-20	3	EQU-3	0.88
1	40	40	105	-20	4	STR-1	0.75
1	40	40	105	-20	5	STR-2	0.75
1	40	40	105	-20	6	GEO-1	0.82
1	40	40	105	-20	7	SIS-1	0.76
1	40	40	105	-20	8	SIS-2	0.83
1	40	40	105	-20	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a valle							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_p
1	30	30	0	-20	1	EQU-1	2.44
1	30	30	0	-20	2	EQU-2	2.44
1	30	30	0	-20	3	EQU-3	2.32
1	30	30	0	-20	4	STR-1	3
1	30	30	0	-20	5	STR-2	3
1	30	30	0	-20	6	GEO-1	2.44
1	30	30	0	-20	7	SIS-1	2.98
1	30	30	0	-20	8	SIS-2	2.42
1	30	30	0	-20	9	SLE-1	3

7.2 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 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.

8.1 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	0	0	0
EQU	A3	M2	R0	2	EQU-2	1.1	0	0	0
EQU	A0	M2	R0	3	EQU-3	1	0	1	0
STR	A1	M1	R1	1	STR-1	1	0	0	0
STR	A1	M1	R1	2	STR-2	1.3	0	0	0
GEO	A2	M2	R2	1	GEO-1	1	0	0	0
SIS	A0	M1	R1	1	SIS-1	1	0	1	0
SIS	A0	M2	R2	2	SIS-2	1	0	1	0
SLE	A0	M0	R0	1	SLE-1	1	0	0	0

8.1.1 Combinazione di carico EQU-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	2	19	0	-6.98
Peso proprio del terreno/acqua a monte	26	48	0	-4.86
Spinta del terreno a valle	0	-10	8.84	0

8.1.2 Combinazione di carico EQU-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	2	19	0	-8.53
Peso proprio del terreno/acqua a monte	26	48	0	-5.95
Spinta del terreno a valle	0	-10	9.03	0

8.1.3 Combinazione di carico EQU-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	2	19	0	-7.75
Peso proprio del terreno/acqua a monte	26	48	0	-5.41
Spinta del terreno a valle	0	-10	8.69	0
Forza di inerzia dovuta al muro	2	19	-0.58	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	26	48	-0.41	0

8.1.4 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm

Peso proprio del muro	2	19	0	-7.75
Peso proprio del terreno/acqua a monte	26	48	0	-5.41
Spinta del terreno a valle	0	-10	12.23	0

8.1.5 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	2	19	0	-10.08
Peso proprio del terreno/acqua a monte	26	48	0	-7.03
Spinta del terreno a valle	0	-10	12.57	0

8.1.6 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	2	19	0	-7.75
Peso proprio del terreno/acqua a monte	26	48	0	-5.41
Spinta del terreno a valle	0	-10	8.93	0

8.1.7 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	2	19	0	-7.75
Peso proprio del terreno/acqua a monte	26	48	0	-5.41
Spinta del terreno a valle	0	-10	12.17	0
Forza di inerzia dovuta al muro	2	19	-0.1	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	26	48	-0.07	0

8.1.8 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	2	19	0	-7.75
Peso proprio del terreno/acqua a monte	26	48	0	-5.41
Spinta del terreno a valle	0	-10	8.89	0
Forza di inerzia dovuta al muro	2	19	-0.1	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	26	48	-0.07	0

9 Verifiche di stabilità locale

9.1 Tensioni trasmesse sul terreno

Moltiplicatore spinta passiva per equilibrio	: 1
Pressione limite sul terreno per abbassamento	: 2 daN/cm ²
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	: 15.8 cm (comb. STR-1)
Momento rispetto al baricentro della fondazione	: -167 daN cm (comb. SIS-2)
Larghezza reagente minima in fondazione	: 58 cm (comb. STR-1)
Tensione max sul terreno allo spigolo di valle	: 0 daN/cmq (comb. STR-1)
Tensione max sul terreno allo spigolo di monte	: 0.54 daN/cm ² (comb. STR-2)

9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2	
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)	
Moltiplicatore spinta passiva per traslazione	: 0
Coefficiente di attrito caratteristico terreno-fondazione	: 0.36
Coefficiente di attrito di progetto terreno-fondazione	: 0.29
Adesione di progetto terreno-fondazione	: 0.128 daN/cm ²

Sforzo normale sul piano di posa della fondazione : 13 daN
 Sforzo tangenziale positivo all'intradosso della fondazione : 0 daN
 Sforzo tangenziale negativo all'intradosso della fondazione : 0 daN
 Coefficiente limite verifica alla traslazione : 1
 Coefficiente di sicurezza alla traslazione : 72.02

9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: EQU-3
 Moltiplicatore spinta passiva per ribaltamento : 0
 Momento ribaltante rispetto allo spigolo di valle : 50 daN cm
 Momento stabilizzante rispetto a spigolo di valle : -550 daN cm
 Coefficiente limite verifica al ribaltamento : 1
 Coefficiente di sicurezza al ribaltamento : 11.01

9.4 Verifica di capacità portante del suolo

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-1
 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 : 20 cm
 Sovraccarico agente sul piano di posa : 0.038 daN/cm²
 Coesione di progetto del suolo di fondazione : 0.128 daN/cm²
 Angolo di attrito di progetto del suolo di fondazione : 24.8 °
 Peso specifico di progetto del suolo di fondazione : 0.0019 daN/cm³
 Inclinazione della risultante rispetto alla normale : 0 °
 Base efficace : 56 cm
 Carico tangenziale al piano di posa : 0 daN/cm
 Carico di progetto della fondazione (normale al P.P.) : 13.2 daN/cm
 Carico ultimo della fondazione : 213.1 daN/cm
 Lunghezza Fondazione per verifica carico limite : 1000 cm
 Coefficiente limite verifica al carico limite : 1
 Coefficiente di sicurezza al carico limite : 16.2

Tabella dei coefficienti di capacità portante

Coefficienti	Coesione	Sovraccarico	Attrito
Coefficienti di capacità portante	$N_c = 20$	$N_q = 10$	$N_\alpha = 7$
Coefficienti di forma	$s_c = 1.03$	$s_q = 1.03$	$s_\alpha = 0.98$
Coefficienti di profondità	$d_c = 1.11$	$d_q = 1.09$	$d_\alpha = 1$
Coefficienti di inclinazione del carico	$i_c = 1$	$i_q = 1$	$i_\alpha = 1$
Coefficienti di inclinazione del piano di posa della fondazione	$b_c = 1$	$b_q = 1$	$b_\alpha = 1$
Coefficienti di inclinazione del pendio	$g_c = 1$	$g_q = 1$	$g_\alpha = 1$

10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2
 Metodo di analisi di stabilità del pendio : Bishop
 Passo dei conci : 50 cm
 Coefficiente di stabilità globale pendio : 5.4
 Coefficiente limite suggerito dalla normativa : 1.1
 X centro della superficie critica : -207 cm
 Y centro della superficie critica : 391 cm
 Raggio della superficie critica : 480 cm
 Forza di bilancio : 128.3 daN/cm
 Volume spostato dalla superficie critica : 5.68 m³/m
 Peso spostato dalla superficie critica : 10969 daN/m

11 Parametri per dimensionamento armatura

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

Rck (resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo)	: 370 daN/cm ²
Modulo elastico longitudinale E _c	: 330194 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 _{maf} /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

12 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_{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_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_t: combinazione di carico critica per la verifica a taglio

V_{Sd}: taglio di calcolo

V_{Rdc}: taglio resistente in assenza di armatura a taglio

V_{Rdmax}: taglio resistente massimo dell'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse

V_{Rds}: 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 _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	20	4.5	3.6	4.5	3.6	ok	STR-2	0	-553	0	-383451	694	ok
0	30	20	8.1	3.6	8.1	3.6	ok	STR-2	0	-358	0	-411401	>999	ok
0	63	20	3.7	3.6	3.7	3.6	no	STR-2	0	-143	0	-377114	>999	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	20	SLE-1	0	-425	0	0	ok	SLE-1	0	-425	-	-	ok
0	30	20	SLE-1	0	-275	0	0	ok	SLE-1	0	-275	-	-	ok
0	63	20	SLE-1	0	-110	0	0	ok	SLE-1	0	-110	-	-	ok

X	Y	H	C _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
0	0	20	SIS-2	-6	9049	-	-	ok
0	30	20	SIS-2	-4	9775	-	-	ok
0	63	20	SIS-2	-1	9011	-	-	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 _{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		
-10	-10	20	3.5	3.6	6.9	3.6	no	STR-2	-1454	-1257	-407363	-352001	280	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	
-10	-10	20	SLE-1	-1323	-1223	0	-1	ok	SLE-1	-1323	-1223	-	-	ok

X	Y	H	C _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
-10	-10	20	STR-1	-77	9147	-	-	ok

Mensola di fondazione a monte (mensola destra) (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		
10	-10	20	4.5	3.6	7.6	3.6	ok	STR-2	6625	0	474725	0	71.7	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	
10	-10	20	SLE-1	6362	0	57	-2	ok	SLE-1	6362	0	-	-	ok

X	Y	H	C _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
10	-10	20	STR-2	338	9546	-	-	ok

Relazione di calcolo muro di controripa – h = 1,20 m

Indice generale

<u>1 Descrizione del software</u>	2
<u>2 Normative di riferimento</u>	2
<u>3 Geometria del muro</u>	3
<u>3.1 Sistema di riferimento</u>	3
<u>3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale</u>	4
<u>3.3 Rappresentazione analitica</u>	4
<u>4 Caratteristiche dei terreni</u>	5
<u>5 Geometria degli strati</u>	5
<u>6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche</u>	6
<u>6.1 Descrizione della normativa sismica</u>	6
<u>6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte</u>	8
<u>6.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza</u>	8
<u>7 Distribuzioni di spinte e pressioni</u>	10
<u>7.1 Coefficienti di spinta</u>	10
<u>7.2 Pressioni</u>	10
<u>8 Risultante delle azioni agenti sul muro</u>	11
<u>8.1 Combinazioni di calcolo</u>	11
<u>8.1.1 Combinazione di carico EQU-1</u>	11
<u>8.1.2 Combinazione di carico EQU-2</u>	11
<u>8.1.3 Combinazione di carico EQU-3</u>	11
<u>8.1.4 Combinazione di carico STR-1</u>	11
<u>8.1.5 Combinazione di carico STR-2</u>	12
<u>8.1.6 Combinazione di carico GEO-1</u>	12
<u>8.1.7 Combinazione di carico SIS-1</u>	12
<u>8.1.8 Combinazione di carico SIS-2</u>	12
<u>9 Verifiche di stabilità locale</u>	12
<u>9.1 Tensioni trasmesse sul terreno</u>	12
<u>9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)</u>	12
<u>9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)</u>	13
<u>9.4 Verifica di capacità portante del suolo</u>	13
<u>10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio</u>	13
<u>11 Parametri per dimensionamento armatura</u>	14
<u>12 Sollecitazioni e verifiche strutturali</u>	14

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: 7.11

Identificatore licenza: WW-3811560

Intestatario della licenza: MOSSONE ING. PIETRO PAOLO - VIA S'ARRULLONI, 5 - CAGLIARI

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)

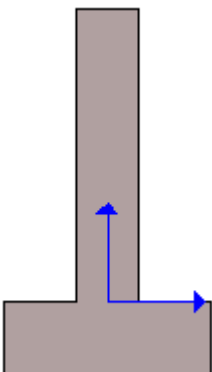
Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 (NTC 2008)

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

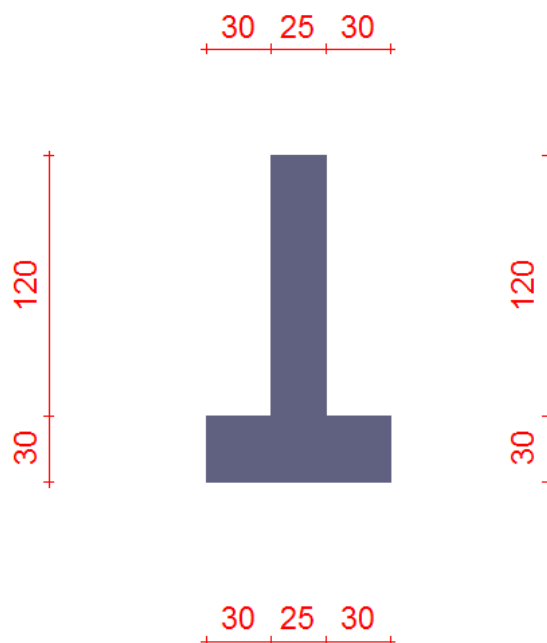
Ordinate Y (esprese in centimetri) positive verso l'alto

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	: 85 cm
Altezza totale del muro	: 150 cm
Peso specifico del muro	: 2500 daN/m ³
Peso specifico delle falde	: 1000 daN/m ³

Paramento

Base inf.	: 25 cm
Base sup.	: 25 cm
Altezza	: 120 cm
Disassamento	: 0 cm

Mensola sinistra in fondazione

Larghezza	: 30 cm
Alt.interna	: 30 cm
Alt.esterna	: 30 cm
Disassamento	: 0 cm

Zoccolo centrale in fondazione

Larghezza	: 25 cm
Altezza a sx	: 30 cm
Altezza a dx	: 30 cm
Sfalsamento	: 0 cm

Mensola destra in fondazione

Larghezza	: 30 cm
Alt.interna	: 30 cm
Alt.esterna	: 30 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)

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)

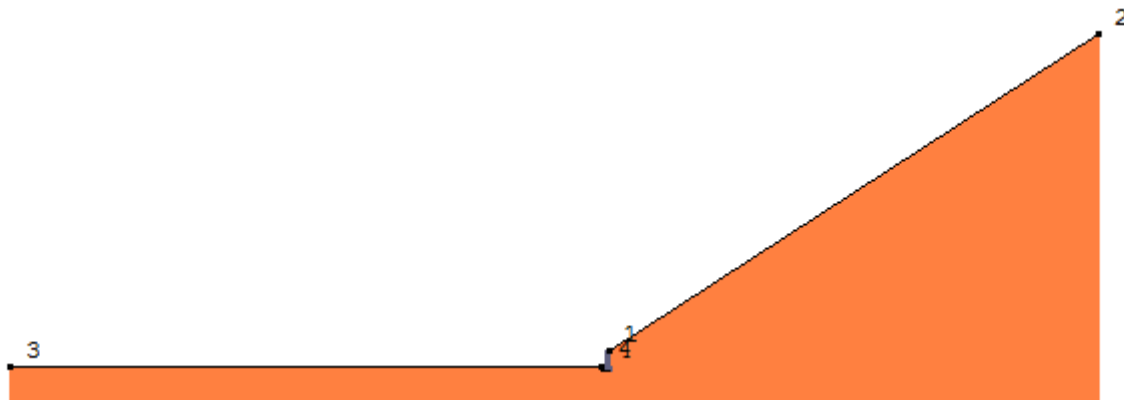
G: Modulo elastico tangenziale del terreno (daN/cm2)

Perm: Permeabilità del terreno (cm/sec)

N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	AI	OCR	Ko	E	G	Perm
1	Terreno Carrareccia	1900	1900	30,00	0,160	0,000	0,00	1,00	1,00	0,50	410	150	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: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	13	120
2	2	3793	2570

Strato n.2, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	-4603	0
2	4	-43	0

Strato n.3, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-43	-30
2	-	-13	-30
3	-	13	-30
4	-	43	-30

6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche

Metodo di calcolo della spinta del terreno : Mononobe-Okabe
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: Cagliari, Orroli

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: 0.05 g

Categoria del suolo di fondazione: B

Coefficiente di amplificazione stratigrafica: 1.5

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 trascurato.

6.1 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.

6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte

La teoria di Mononobe-Okabe fa uso del *metodo dell'equilibrio limite* e può essere considerata una estensione del metodo di Coulomb, in cui alle usuali spinte al contorno del cuneo instabile di terreno vengono sommate anche le azioni inerziali orizzontali e verticali dovute all'accelerazione delle masse.

Le ipotesi che stanno alla base del metodo sono quindi:

1. Terreno isotropo, omogeneo e dotato di attrito e/o coesione.
2. Terreno che, a causa degli spostamenti del muro, si trova in uno stato di equilibrio plastico.
3. Superficie di rottura piana.
4. Superficie superiore del cuneo anche inclinata ma di forma piana.
5. La resistenza per attrito e per coesione si sviluppa uniformemente lungo la superficie di rottura.
6. Può esistere attrito tra paramento del muro e terreno, che si sviluppa al primo spostamento del muro.
7. Il paramento del muro può essere inclinato ma non spezzato in più parti.
8. L'effetto delle accelerazioni k_h e k_v viene intrinsecamente considerato nel baricentro del cuneo instabile.

Le spinte Attiva e Passiva si calcolano come:

$$P_{a/p} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot (1 - k_v) \cdot K_{a/p}$$

il coefficiente $K_{a/p}$ viene calcolato utilizzando la formulazione di Mononobe-Okabe proposta nell'ordinanza 3274 e successiva correzione 3316, in cui i simboli usati sono:

ϕ = angolo di attrito interno del terreno.

ψ = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete interessata del muro.

β = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno.

δ = angolo di attrito terreno-muro.

θ = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Il coefficiente per stati di spinta attiva si divide in due casi:

$$\begin{aligned} \beta \leq \phi - \theta: \quad K_a &= \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \\ \beta > \phi - \theta: \quad K_a &= \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)} \end{aligned}$$

Il coefficiente per stati di spinta passiva è invece:

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \theta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi) \cdot \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

Nel caso di accelerazione sismica solo orizzontale l'angolo θ è unico e la spinta attiva e passiva risulta univocamente determinata; viceversa le formule forniscono due distinti valori, che corrispondono alla presenza di accelerazione sismica verticale verso l'alto e verso il basso.

6.3 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:

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \phi; & N_q &= \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg} \phi)}; & N_\gamma &= 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \phi \\ s_c &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}; & s'_c &= 0.2 \cdot \frac{B}{L}; & s_q &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \text{tg} \phi; & s_\gamma &= 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \\ d_c &= 1 + 0.4 \cdot k; & d'_c &= 0.4 \cdot k; & d_q &= 1 + 2 \cdot k \cdot \text{tg} \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2; & d_\gamma &= 1 \\ i_c &= i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}; & i'_c &= 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{B \cdot L \cdot c_a}}; & i_q &= \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5; \\ i_\gamma &= \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta=0); & i_\gamma &= \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 45^\circ) \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta>0) \\ g_c &= 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g'_c &= \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g_q &= (1 - 0.5 \cdot \text{tg} \beta)^5; & g_\gamma &= g_q \\ b_c &= 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b'_c &= \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b_q &= e^{(-2 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}; & b_\gamma &= e^{(-2.7 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)} \\ \text{dove: } k &= \frac{D}{B_f} & (\text{se } \frac{D}{B_f} \leq 1); & k &= \text{arctg} \left(\frac{D}{B_f} \right) & (\text{se } \frac{D}{B_f} > 1) \end{aligned}$$

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 .

7 Distribuzioni di spinte e pressioni

7.1 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	13	13	120	0	1	EQU-1	0.82
1	13	13	120	0	2	EQU-2	0.82
1	13	13	120	0	3	EQU-3	0.88
1	13	13	120	0	4	STR-1	0.75
1	13	13	120	0	5	STR-2	0.75
1	13	13	120	0	6	GEO-1	0.82
1	13	13	120	0	7	SIS-1	0.76
1	13	13	120	0	8	SIS-2	0.83
1	13	13	120	0	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a monte							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_a
1	43	43	139	-30	1	EQU-1	0.82
1	43	43	139	-30	2	EQU-2	0.82
1	43	43	139	-30	3	EQU-3	0.88
1	43	43	139	-30	4	STR-1	0.75
1	43	43	139	-30	5	STR-2	0.75
1	43	43	139	-30	6	GEO-1	0.82
1	43	43	139	-30	7	SIS-1	0.76
1	43	43	139	-30	8	SIS-2	0.83
1	43	43	139	-30	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a valle							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_p
1	43	43	0	-30	1	EQU-1	2.44
1	43	43	0	-30	2	EQU-2	2.44
1	43	43	0	-30	3	EQU-3	2.32
1	43	43	0	-30	4	STR-1	3
1	43	43	0	-30	5	STR-2	3
1	43	43	0	-30	6	GEO-1	2.44
1	43	43	0	-30	7	SIS-1	2.98
1	43	43	0	-30	8	SIS-2	2.42
1	43	43	0	-30	9	SLE-1	3

7.2 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 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.

8.1 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	0	0	0
EQU	A3	M2	R0	2	EQU-2	1.1	0	0	0
EQU	A0	M2	R0	3	EQU-3	1	0	1	0
STR	A1	M1	R1	1	STR-1	1	0	0	0
STR	A1	M1	R1	2	STR-2	1.3	0	0	0
GEO	A2	M2	R2	1	GEO-1	1	0	0	0
SIS	A0	M1	R1	1	SIS-1	1	0	1	0
SIS	A0	M2	R2	2	SIS-2	1	0	1	0
SLE	A0	M0	R0	1	SLE-1	1	0	0	0

8.1.1 Combinazione di carico EQU-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	26	0	-12.49
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	65	0	-6.65
Spinta del terreno a monte	0	-27	-0.03	0
Spinta del terreno a valle	0	-16	13.89	0

8.1.2 Combinazione di carico EQU-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	26	0	-15.26
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	65	0	-8.13
Spinta del terreno a monte	0	-18	-1.05	0
Spinta del terreno a valle	0	-16	14.31	0

8.1.3 Combinazione di carico EQU-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	26	0	-13.88
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	65	0	-7.39
Spinta del terreno a monte	0	-22	-0.59	0
Spinta del terreno a valle	0	-16	13.69	0
Forza di inerzia dovuta al muro	0	26	-1.04	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	28	65	-0.55	0

8.1.4 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	26	0	-13.88
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	65	0	-7.39
Spinta del terreno a valle	0	-16	19.19	0

8.1.5 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	26	0	-18.04
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	65	0	-9.61
Spinta del terreno a monte	0	-23	-0.37	0
Spinta del terreno a valle	0	-16	19.96	0

8.1.6 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	26	0	-13.88
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	65	0	-7.39
Spinta del terreno a monte	0	-23	-0.35	0
Spinta del terreno a valle	0	-16	14.1	0

8.1.7 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	26	0	-13.88
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	65	0	-7.39
Spinta del terreno a valle	0	-16	19.11	0
Forza di inerzia dovuta al muro	0	26	-0.19	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	28	65	-0.1	0

8.1.8 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	26	0	-13.88
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	65	0	-7.39
Spinta del terreno a monte	0	-22	-0.39	0
Spinta del terreno a valle	0	-16	14.03	0
Forza di inerzia dovuta al muro	0	26	-0.19	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	28	65	-0.1	0

9 Verifiche di stabilità locale

9.1 Tensioni trasmesse sul terreno

Moltiplicatore spinta passiva per equilibrio	: 1
Pressione limite sul terreno per abbassamento	: 2 daN/cm ²
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	: 22.6 cm (comb. STR-1)
Momento rispetto al baricentro della fondazione	: -384 daN cm (comb. SIS-2)
Larghezza reagente minima in fondazione	: 60 cm (comb. STR-1)
Tensione max sul terreno allo spigolo di valle	: 0 daN/cm ² (comb. STR-1)
Tensione max sul terreno allo spigolo di monte	: 0.81 daN/cm ² (comb. STR-2)

9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2
 Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
 Moltiplicatore spinta passiva per traslazione : 0
 Coefficiente di attrito caratteristico terreno-fondazione : 0.36
 Coefficiente di attrito di progetto terreno-fondazione : 0.29
 Adesione di progetto terreno-fondazione : 0.128 daN/cm²
 Sforzo normale sul piano di posa della fondazione : 21 daN
 Sforzo tangenziale positivo all'intradosso della fondazione : 0 daN
 Sforzo tangenziale negativo all'intradosso della fondazione : 1 daN
 Coefficiente limite verifica alla traslazione : 1
 Coefficiente di sicurezza alla traslazione : 25.05

9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: EQU-3
 Moltiplicatore spinta passiva per ribaltamento : 0
 Momento ribaltante rispetto allo spigolo di valle : 115 daN cm
 Momento stabilizzante rispetto a spigolo di valle : -1110 daN cm
 Coefficiente limite verifica al ribaltamento : 1
 Coefficiente di sicurezza al ribaltamento : 9.62

9.4 Verifica di capacità portante del suolo

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-1
 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 : 30 cm
 Sovraccarico agente sul piano di posa : 0.057 daN/cm²
 Coesione di progetto del suolo di fondazione : 0.128 daN/cm²
 Angolo di attrito di progetto del suolo di fondazione : 24.8 °
 Peso specifico di progetto del suolo di fondazione : 0.0019 daN/cm³
 Inclinazione della risultante rispetto alla normale : 1 °
 Base efficace : 66 cm
 Carico tangenziale al piano di posa : 0.4 daN/cm
 Carico di progetto della fondazione (normale al P.P.) : 21.3 daN/cm
 Carico ultimo della fondazione : 274.1 daN/cm
 Lunghezza Fondazione per verifica carico limite : 1000 cm
 Coefficiente limite verifica al carico limite : 1
 Coefficiente di sicurezza al carico limite : 12.89

Tabella dei coefficienti di capacità portante

Coefficienti	Coesione	Sovraccarico	Attrito
Coefficienti di capacità portante	$N_c = 20$	$N_q = 10$	$N_g = 7$
Coefficienti di forma	$s_c = 1.03$	$s_q = 1.03$	$s_g = 0.97$
Coefficienti di profondità	$d_c = 1.14$	$d_q = 1.11$	$d_g = 1$
Coefficienti di inclinazione del carico	$i_c = 1$	$i_q = 1$	$i_g = 1$
Coefficienti di inclinazione del piano di posa della fondazione	$b_c = 1$	$b_q = 1$	$b_g = 1$
Coefficienti di inclinazione del pendio	$g_c = 1$	$g_q = 1$	$g_g = 1$

10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2
 Metodo di analisi di stabilità del pendio : Bishop
 Passo dei conci : 50 cm
 Coefficiente di stabilità globale pendio : 5.34
 Coefficiente limite suggerito dalla normativa : 1.1
 X centro della superficie critica : -307 cm
 Y centro della superficie critica : 459 cm
 Raggio della superficie critica : 601 cm
 Forza di bilancio : 195.34 daN/cm
 Volume spostato dalla superficie critica : 10.86 m³/m
 Peso spostato dalla superficie critica : 20972 daN/m

11 Parametri per dimensionamento armatura

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

Rck (resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo)	: 370 daN/cm ²
Modulo elastico longitudinale Ec	: 330194 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

12 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_t: combinazione di carico critica per la verifica a taglio

V_{Sd}: 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_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	25	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-975	0	-474197	486	ok
0	30	25	8.1	3.6	12.6	3.6	ok	STR-2	0	-731	0	-501899	686	ok
0	60	25	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-488	0	-474197	973	ok
0	90	25	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-244	0	-474197	>999	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	25	SLE-1	0	-750	0	0	ok	SLE-1	0	-750	-	-	ok
0	30	25	SLE-1	0	-563	0	0	ok	SLE-1	0	-563	-	-	ok
0	60	25	SLE-1	0	-375	0	0	ok	SLE-1	0	-375	-	-	ok
0	90	25	SLE-1	0	-188	0	0	ok	SLE-1	0	-188	-	-	ok

X	Y	H	c_t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v_t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
0	0	25	SIS-2	-10	11967	-	-	ok
0	30	25	SIS-2	-8	13335	-	-	ok
0	60	25	SIS-2	-5	11919	-	-	ok
0	90	25	SIS-2	-3	11895	-	-	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		
-13	-15	30	9	3.6	13.6	3.6	ok	STR-2	-5616	-1996	-1438966	-511508	256	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	
-13	-15	30	SLE-1	-4638	-1919	0	-1	ok	SLE-1	-4638	-1919	-	-	ok

X	Y	H	c_t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v_t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
-13	-15	30	STR-1	-212	13351	-	-	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		
13	-15	30	9	3.6	8.6	3.6	ok	STR-1	11975	0	857971	0	71.6	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	
13	-15	30	SLE-1	11975	0	58	-1	ok	SLE-1	11975	0	-	-	ok

X	Y	H	c_t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v_t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
13	-15	30	STR-2	648	13103	-	-	ok

Relazione di calcolo muro di controripa – h = 1,40 m

Indice generale

<u>1 Descrizione del software</u>	2
<u>2 Normative di riferimento</u>	2
<u>3 Geometria del muro</u>	3
<u>3.1 Sistema di riferimento</u>	3
<u>3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale</u>	4
<u>3.3 Rappresentazione analitica</u>	4
<u>4 Caratteristiche dei terreni</u>	5
<u>5 Geometria degli strati</u>	5
<u>6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche</u>	6
<u>6.1 Descrizione della normativa sismica</u>	6
<u>6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte</u>	8
<u>6.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza</u>	8
<u>7 Distribuzioni di spinte e pressioni</u>	10
<u>7.1 Coefficienti di spinta</u>	10
<u>7.2 Pressioni</u>	10
<u>7.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1</u>	11
<u>7.2.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2</u>	11
<u>7.2.3 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-3</u>	11
<u>7.2.4 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-1</u>	12
<u>7.2.5 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-2</u>	12
<u>7.2.6 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-1</u>	13
<u>7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-1</u>	13
<u>7.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-2</u>	13
<u>7.2.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-1</u>	14
<u>8 Risultante delle azioni agenti sul muro</u>	14
<u>8.1 Combinazioni di calcolo</u>	14
<u>8.1.1 Combinazione di carico EQU-1</u>	15
<u>8.1.2 Combinazione di carico EQU-2</u>	15
<u>8.1.3 Combinazione di carico EQU-3</u>	15
<u>8.1.4 Combinazione di carico STR-1</u>	15
<u>8.1.5 Combinazione di carico STR-2</u>	15
<u>8.1.6 Combinazione di carico GEO-1</u>	15
<u>8.1.7 Combinazione di carico SIS-1</u>	16
<u>8.1.8 Combinazione di carico SIS-2</u>	16
<u>9 Verifiche di stabilità locale</u>	16
<u>9.1 Tensioni trasmesse sul terreno</u>	16
<u>9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)</u>	16
<u>9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)</u>	16
<u>9.4 Verifica di capacità portante del suolo</u>	16
<u>10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio</u>	17
<u>11 Parametri per dimensionamento armatura</u>	17
<u>12 Sollecitazioni e verifiche strutturali</u>	17

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: 7.11

Identificatore licenza: WW-3811560

Intestatario della licenza: MOSSONE ING. PIETRO PAOLO - VIA S'ARRULLONI, 5 - CAGLIARI

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)

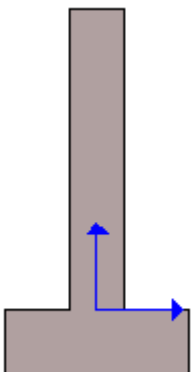
Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 (NTC 2008)

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

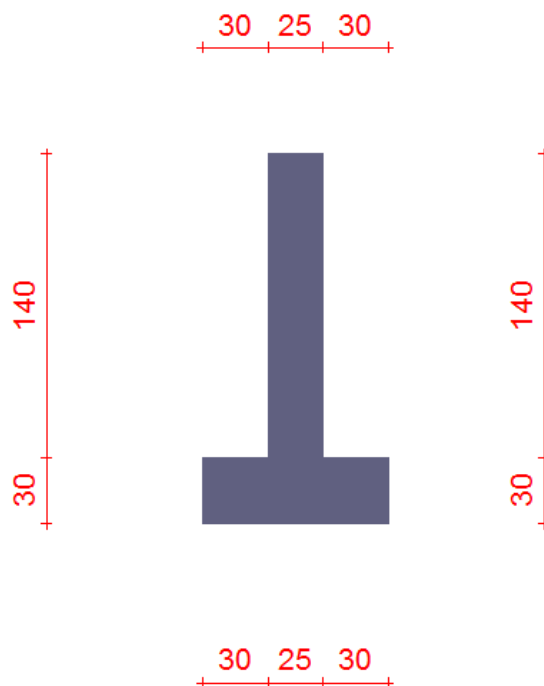
Ordinate Y (esprese in centimetri) positive verso l'alto

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	: 85 cm
Altezza totale del muro	: 170 cm
Peso specifico del muro	: 2500 daN/m ³
Peso specifico delle falde	: 1000 daN/m ³

Paramento

Base inf.	: 25 cm
Base sup.	: 25 cm
Altezza	: 140 cm
Disassamento	: 0 cm

Mensola sinistra in fondazione

Larghezza	: 30 cm
Alt.interna	: 30 cm
Alt.esterna	: 30 cm
Disassamento	: 0 cm

Zoccolo centrale in fondazione

Larghezza	: 25 cm
Altezza a sx	: 30 cm
Altezza a dx	: 30 cm
Sfalsamento	: 0 cm

Mensola destra in fondazione

Larghezza	: 30 cm
Alt.interna	: 30 cm
Alt.esterna	: 30 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)

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)

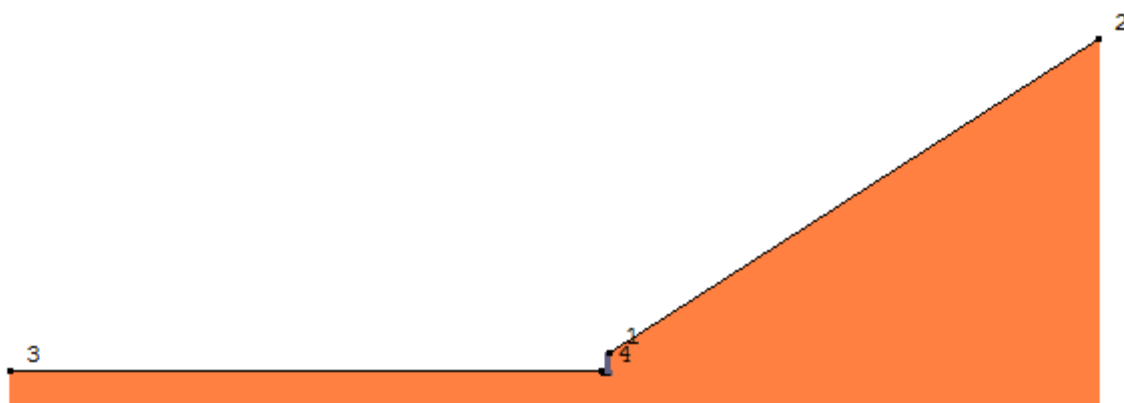
G: Modulo elastico tangenziale del terreno (daN/cm2)

Perm: Permeabilità del terreno (cm/sec)

N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	AI	OCR	Ko	E	G	Perm
1	Terreno Carrareccia	1900	1900	30,00	0,160	0,000	0,00	1,00	1,00	0,50	410	150	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: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	13	140
2	2	3843	2603

Strato n.2, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	-4663	0
2	4	-43	0

Strato n.3, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-43	-30
2	-	-13	-30
3	-	13	-30
4	-	43	-30

6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche

Metodo di calcolo della spinta del terreno : Mononobe-Okabe
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: Cagliari, Orroli
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: 0.05 g
Categoria del suolo di fondazione: B
Coefficiente di amplificazione stratigrafica: 1.5
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 trascurato.

6.1 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.

6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte

La teoria di Mononobe-Okabe fa uso del *metodo dell'equilibrio limite* e può essere considerata una estensione del metodo di Coulomb, in cui alle usuali spinte al contorno del cuneo instabile di terreno vengono sommate anche le azioni inerziali orizzontali e verticali dovute all'accelerazione delle masse.

Le ipotesi che stanno alla base del metodo sono quindi:

1. Terreno isotropo, omogeneo e dotato di attrito e/o coesione.
2. Terreno che, a causa degli spostamenti del muro, si trova in uno stato di equilibrio plastico.
3. Superficie di rottura piana.
4. Superficie superiore del cuneo anche inclinata ma di forma piana.
5. La resistenza per attrito e per coesione si sviluppa uniformemente lungo la superficie di rottura.
6. Può esistere attrito tra paramento del muro e terreno, che si sviluppa al primo spostamento del muro.
7. Il paramento del muro può essere inclinato ma non spezzato in più parti.
8. L'effetto delle accelerazioni k_h e k_v viene intrinsecamente considerato nel baricentro del cuneo instabile.

Le spinte Attiva e Passiva si calcolano come:

$$P_{a/p} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot (1 - k_v) \cdot K_{a/p}$$

il coefficiente $K_{a/p}$ viene calcolato utilizzando la formulazione di Mononobe-Okabe proposta nell'ordinanza 3274 e successiva correzione 3316, in cui i simboli usati sono:

ϕ = angolo di attrito interno del terreno.

ψ = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete interessata del muro.

β = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno.

δ = angolo di attrito terreno-muro.

θ = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Il coefficiente per stati di spinta attiva si divide in due casi:

$$\beta \leq \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

Il coefficiente per stati di spinta passiva è invece:

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \theta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi) \cdot \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

Nel caso di accelerazione sismica solo orizzontale l'angolo θ è unico e la spinta attiva e passiva risulta univocamente determinata; viceversa le formule forniscono due distinti valori, che corrispondono alla presenza di accelerazione sismica verticale verso l'alto e verso il basso.

6.3 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:

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \phi; & N_q &= \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg} \phi)}; & N_\gamma &= 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \phi \\ s_c &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}; & s'_c &= 0.2 \cdot \frac{B}{L}; & s_q &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \text{tg} \phi; & s_\gamma &= 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \\ d_c &= 1 + 0.4 \cdot k; & d'_c &= 0.4 \cdot k; & d_q &= 1 + 2 \cdot k \cdot \text{tg} \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2; & d_\gamma &= 1 \\ i_c &= i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}; & i'_c &= 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{B \cdot L \cdot c_a}}; & i_q &= \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5; \\ i_\gamma &= \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 \quad (\text{se } \eta=0); & i_\gamma &= \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ) \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 \quad (\text{se } \eta>0) \\ g_c &= 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g'_c &= \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g_q &= (1 - 0.5 \cdot \text{tg} \beta)^5; & g_\gamma &= g_q \\ b_c &= 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b'_c &= \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b_q &= e^{(-2 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}; & b_\gamma &= e^{(-2.7 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)} \\ \text{dove: } k &= \frac{D}{B_f} \quad (\text{se } \frac{D}{B_f} \leq 1); & k &= \text{arctg} \left(\frac{D}{B_f} \right) \quad (\text{se } \frac{D}{B_f} > 1) \end{aligned}$$

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 .

7 Distribuzioni di spinte e pressioni

7.1 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	13	13	140	0	1	EQU-1	0.82
1	13	13	140	0	2	EQU-2	0.82
1	13	13	140	0	3	EQU-3	0.88
1	13	13	140	0	4	STR-1	0.75
1	13	13	140	0	5	STR-2	0.75
1	13	13	140	0	6	GEO-1	0.82
1	13	13	140	0	7	SIS-1	0.76
1	13	13	140	0	8	SIS-2	0.83
1	13	13	140	0	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a monte							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_a
1	43	43	159	-30	1	EQU-1	0.82
1	43	43	159	-30	2	EQU-2	0.82
1	43	43	159	-30	3	EQU-3	0.88
1	43	43	159	-30	4	STR-1	0.75
1	43	43	159	-30	5	STR-2	0.75
1	43	43	159	-30	6	GEO-1	0.82
1	43	43	159	-30	7	SIS-1	0.76
1	43	43	159	-30	8	SIS-2	0.83
1	43	43	159	-30	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a valle							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_p
1	43	43	0	-30	1	EQU-1	2.44
1	43	43	0	-30	2	EQU-2	2.44
1	43	43	0	-30	3	EQU-3	2.32
1	43	43	0	-30	4	STR-1	3
1	43	43	0	-30	5	STR-2	3
1	43	43	0	-30	6	GEO-1	2.44
1	43	43	0	-30	7	SIS-1	2.98
1	43	43	0	-30	8	SIS-2	2.42
1	43	43	0	-30	9	SLE-1	3

7.2 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.

7.2.1 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.2 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	13	140	13	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	13	130	13	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	13	120	13	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	13	110	13	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	13	100	13	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	13	90	13	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	13	80	13	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	13	70	13	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	13	60	13	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	13	50	13	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	13	40	13	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	13	30	13	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	20	13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0

7.2.3 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	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 0	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 1	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 2	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 3	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 4	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.4 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	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 0	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 1	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 2	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 3	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 4	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.5 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	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 0	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 1	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 2	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 3	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 4	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.6 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	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-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	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-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	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 0	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 1	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 2	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 3	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 4	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.9 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	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 0	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 1	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 2	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 3	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 4	13	10	13	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8 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.

8.1 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	0	0	0
EQU	A3	M2	R0	2	EQU-2	1.1	0	0	0
EQU	A0	M2	R0	3	EQU-3	1	0	1	0
STR	A1	M1	R1	1	STR-1	1	0	0	0

STR	A1	M1	R1	2	STR-2	1.3	0	0	0
GEO	A2	M2	R2	1	GEO-1	1	0	0	0
SIS	A0	M1	R1	1	SIS-1	1	0	1	0
SIS	A0	M2	R2	2	SIS-2	1	0	1	0
SLE	A0	M0	R0	1	SLE-1	1	0	0	0

8.1.1 Combinazione di carico EQU-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	34	0	-13.61
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	75	0	-7.68
Spinta del terreno a monte	0	-21	-0.44	0
Spinta del terreno a valle	0	-16	13.89	0

8.1.2 Combinazione di carico EQU-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	34	0	-16.64
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	75	0	-9.38
Spinta del terreno a monte	0	-12	-2.57	0
Spinta del terreno a valle	0	-16	14.31	0

8.1.3 Combinazione di carico EQU-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	34	0	-15.13
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	75	0	-8.53
Spinta del terreno a monte	0	-15	-1.78	0
Spinta del terreno a valle	0	-16	13.69	0
Forza di inerzia dovuta al muro	0	34	-1.13	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	28	75	-0.64	0

8.1.4 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	34	0	-15.13
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	75	0	-8.53
Spinta del terreno a valle	0	-16	19.19	0

8.1.5 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	34	0	-19.66
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	75	0	-11.09
Spinta del terreno a monte	0	-17	-1.46	0
Spinta del terreno a valle	0	-16	19.96	0

8.1.6 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	34	0	-15.13
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	75	0	-8.53

Spinta del terreno a monte	0	-16	-1.32	0
Spinta del terreno a valle	0	-16	14.1	0

8.1.7 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	34	0	-15.13
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	75	0	-8.53
Spinta del terreno a valle	0	-16	19.11	0
Forza di inerzia dovuta al muro	0	34	-0.2	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	28	75	-0.12	0

8.1.8 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	34	0	-15.13
Peso proprio del terreno/acqua a monte	28	75	0	-8.53
Spinta del terreno a monte	0	-16	-1.4	0
Spinta del terreno a valle	0	-16	14.03	0
Forza di inerzia dovuta al muro	0	34	-0.2	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	28	75	-0.12	0

9 Verifiche di stabilità locale

9.1 Tensioni trasmesse sul terreno

Moltiplicatore spinta passiva per equilibrio	: 1
Pressione limite sul terreno per abbassamento	: 2 daN/cm ²
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	: 21.7 cm (comb. STR-1)
Momento rispetto al baricentro della fondazione	: -393 daN cm (comb. SIS-2)
Larghezza reagente minima in fondazione	: 63 cm (comb. STR-1)
Tensione max sul terreno allo spigolo di valle	: 0 daN/cm ² (comb. STR-1)
Tensione max sul terreno allo spigolo di monte	: 0.86 daN/cm ² (comb. STR-2)

9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2	
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)	
Moltiplicatore spinta passiva per traslazione	: 0
Coefficiente di attrito caratteristico terreno-fondazione	: 0.36
Coefficiente di attrito di progetto terreno-fondazione	: 0.29
Adesione di progetto terreno-fondazione	: 0.128 daN/cm ²
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	: 24 daN
Sforzo tangenziale positivo all'intradosso della fondazione	: 0 daN
Sforzo tangenziale negativo all'intradosso della fondazione	: 2 daN
Coefficiente limite verifica alla traslazione	: 1
Coefficiente di sicurezza alla traslazione	: 10.35

9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: EQU-3	
Moltiplicatore spinta passiva per ribaltamento	: 0
Momento ribaltante rispetto allo spigolo di valle	: 166 daN cm
Momento stabilizzante rispetto a spigolo di valle	: -1243 daN cm
Coefficiente limite verifica al ribaltamento	: 1
Coefficiente di sicurezza al ribaltamento	: 7.49

9.4 Verifica di capacità portante del suolo

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-1
 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 : 30 cm
 Sovraccarico agente sul piano di posa : 0.057 daN/cm²
 Coesione di progetto del suolo di fondazione : 0.128 daN/cm²
 Angolo di attrito di progetto del suolo di fondazione : 24.8 °
 Peso specifico di progetto del suolo di fondazione : 0.0019 daN/cm³
 Inclinazione della risultante rispetto alla normale : 3.2 °
 Base efficace : 66 cm
 Carico tangenziale al piano di posa : 1.3 daN/cm
 Carico di progetto della fondazione (normale al P.P.) : 23.7 daN/cm
 Carico ultimo della fondazione : 276.9 daN/cm
 Lunghezza Fondazione per verifica carico limite : 1000 cm
 Coefficiente limite verifica al carico limite : 1
 Coefficiente di sicurezza al carico limite : 11.7

Tabella dei coefficienti di capacità portante

Coefficienti	Coesione	Sovraccarico	Attrito
Coefficienti di capacità portante	$N_c = 20$	$N_q = 10$	$N_g = 7$
Coefficienti di forma	$s_c = 1.03$	$s_q = 1.03$	$s_g = 0.97$
Coefficienti di profondità	$d_c = 1.14$	$d_q = 1.11$	$d_g = 1$
Coefficienti di inclinazione del carico	$i_c = 1$	$i_q = 1$	$i_g = 1$
Coefficienti di inclinazione del piano di posa della fondazione	$b_c = 1$	$b_q = 1$	$b_g = 1$
Coefficienti di inclinazione del pendio	$g_c = 1$	$g_q = 1$	$g_g = 1$

10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2
 Metodo di analisi di stabilità del pendio : Bishop
 Passo dei conci : 50 cm
 Coefficiente di stabilità globale pendio : 4.12
 Coefficiente limite suggerito dalla normativa : 1.1
 X centro della superficie critica : -337 cm
 Y centro della superficie critica : 630 cm
 Raggio della superficie critica : 761 cm
 Forza di bilancio : 207.31 daN/cm
 Volume spostato dalla superficie critica : 13.18 m³/m
 Peso spostato dalla superficie critica : 25403 daN/m

11 Parametri per dimensionamento armatura

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

Rck (resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo) : 370 daN/cm²
 Modulo elastico longitudinale Ec : 330194 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

12 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_{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_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_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_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	25	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-1138	-1	-474198	417	ok
0	30	25	8.1	3.6	12.6	3.6	ok	STR-2	0	-894	0	-501899	562	ok
0	60	25	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-650	0	-474197	730	ok
0	90	25	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-406	0	-474197	>999	ok
0	120	25	4.1	3.6	7.6	3.6	ok	STR-2	0	-163	0	-470021	>999	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	25	SLE-1	0	-875	0	0	ok	SLE-1	0	-875	-	-	ok
0	30	25	SLE-1	0	-688	0	0	ok	SLE-1	0	-688	-	-	ok
0	60	25	SLE-1	0	-500	0	0	ok	SLE-1	0	-500	-	-	ok
0	90	25	SLE-1	0	-313	0	0	ok	SLE-1	0	-313	-	-	ok
0	120	25	SLE-1	0	-125	0	0	ok	SLE-1	0	-125	-	-	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	25	SIS-2	-12	11983	-	-	ok
0	30	25	SIS-2	-9	13351	-	-	ok
0	60	25	SIS-2	-7	11935	-	-	ok
0	90	25	SIS-2	-4	11911	-	-	ok
0	120	25	SIS-2	-2	11464	-	-	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		
-13	-15	30	9	3.6	13.6	3.6	ok	STR-2	-5125	-1996	-1337147	-520808	261	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	
-13	-15	30	SLE-1	-4572	-1919	0	-1	ok	SLE-1	-4572	-1919	-	-	ok

X	Y	H	c _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
-13	-15	30	STR-1	-191	13351	-	-	ok

Mensola di fondazione a monte (mensola destra) (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		
13	-15	30	9	3.6	8.6	3.6	ok	STR-1	12162	0	857971	0	70.5	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	
13	-15	30	SLE-1	12162	0	59	-1	ok	SLE-1	12162	0	-	-	ok

X	Y	H	c _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
13	-15	30	STR-1	648	13098	-	-	ok

Relazione di calcolo muro di controripa – h = 1,80 m

Indice generale

<u>1 Descrizione del software</u>	2
<u>2 Normative di riferimento</u>	2
<u>3 Geometria del muro</u>	3
<u>3.1 Sistema di riferimento</u>	3
<u>3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale</u>	4
<u>3.3 Rappresentazione analitica</u>	4
<u>4 Caratteristiche dei terreni</u>	5
<u>5 Geometria degli strati</u>	5
<u>6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche</u>	6
<u>6.1 Descrizione della normativa sismica</u>	6
<u>6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte</u>	8
<u>6.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza</u>	8
<u>7 Distribuzioni di spinte e pressioni</u>	10
<u>7.1 Coefficienti di spinta</u>	10
<u>7.2 Pressioni</u>	10
<u>7.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1</u>	11
<u>7.2.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2</u>	11
<u>7.2.3 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-3</u>	12
<u>7.2.4 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-1</u>	12
<u>7.2.5 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-2</u>	13
<u>7.2.6 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-1</u>	13
<u>7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-1</u>	14
<u>7.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-2</u>	14
<u>7.2.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-1</u>	15
<u>8 Risultante delle azioni agenti sul muro</u>	15
<u>8.1 Combinazioni di calcolo</u>	15
<u>8.1.1 Combinazione di carico EQU-1</u>	16
<u>8.1.2 Combinazione di carico EQU-2</u>	16
<u>8.1.3 Combinazione di carico EQU-3</u>	16
<u>8.1.4 Combinazione di carico STR-1</u>	16
<u>8.1.5 Combinazione di carico STR-2</u>	16
<u>8.1.6 Combinazione di carico GEO-1</u>	17
<u>8.1.7 Combinazione di carico SIS-1</u>	17
<u>8.1.8 Combinazione di carico SIS-2</u>	17
<u>9 Verifiche di stabilità locale</u>	17
<u>9.1 Tensioni trasmesse sul terreno</u>	17
<u>9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)</u>	17
<u>9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)</u>	18
<u>9.4 Verifica di capacità portante del suolo</u>	18
<u>10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio</u>	18
<u>11 Parametri per dimensionamento armatura</u>	18
<u>12 Sollecitazioni e verifiche strutturali</u>	19

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: 7.11

Identificatore licenza: WW-3811560

Intestatario della licenza: MOSSONE ING. PIETRO PAOLO - VIA S'ARRULLONI, 5 - CAGLIARI

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)

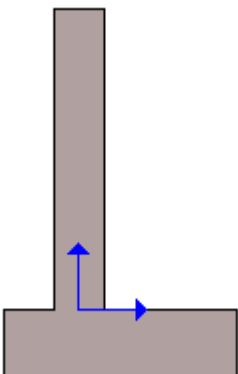
Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 (NTC 2008)

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

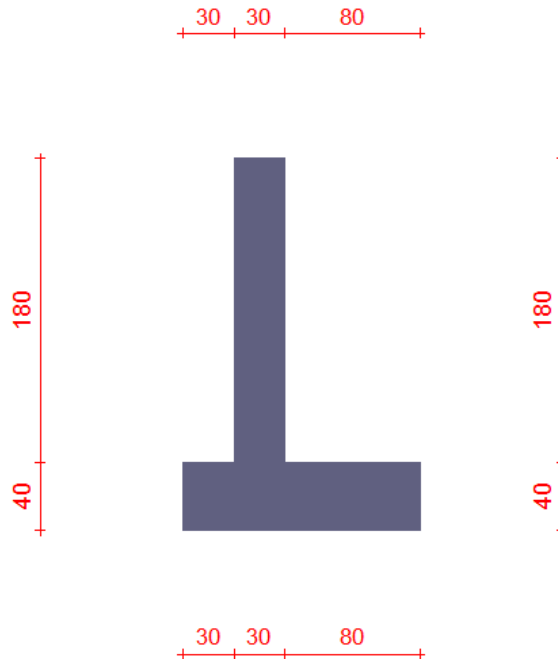
Ordinate Y (esprese in centimetri) positive verso l'alto

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	: 140 cm
Altezza totale del muro	: 220 cm
Peso specifico del muro	: 2500 daN/m ³
Peso specifico delle falde	: 1000 daN/m ³

Paramento

Base inf.	: 30 cm
Base sup.	: 30 cm
Altezza	: 180 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	: 30 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)

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)

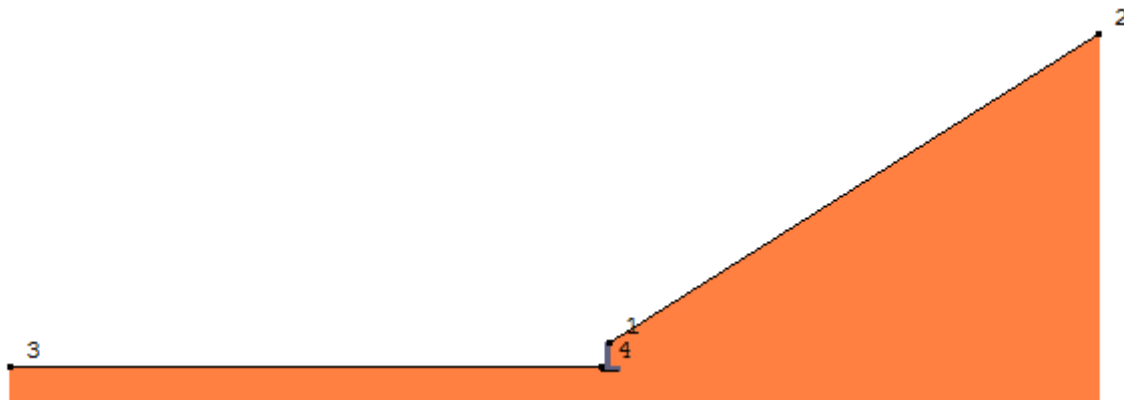
G: Modulo elastico tangenziale del terreno (daN/cm²)

Perm: Permeabilità del terreno (cm/sec)

N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	AI	OCR	Ko	E	G	Perm
1	Terreno Carrareccia	1900	1900	30,00	0,160	0,000	0,00	1,00	1,00	0,50	410	150	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: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	15	180
2	2	3945	2666

Strato n.2, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	-4785	0
2	4	-45	0

Strato n.3, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-45	-40
2	-	-15	-40
3	-	15	-40
4	-	95	-40

6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche

Metodo di calcolo della spinta del terreno : Mononobe-Okabe
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: Cagliari, Orroli

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: 0.05 g

Categoria del suolo di fondazione: B

Coefficiente di amplificazione stratigrafica: 1.5

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 trascurato.

6.1 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.

6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte

La teoria di Mononobe-Okabe fa uso del *metodo dell'equilibrio limite* e può essere considerata una estensione del metodo di Coulomb, in cui alle usuali spinte al contorno del cuneo instabile di terreno vengono sommate anche le azioni inerziali orizzontali e verticali dovute all'accelerazione delle masse.

Le ipotesi che stanno alla base del metodo sono quindi:

1. Terreno isotropo, omogeneo e dotato di attrito e/o coesione.
2. Terreno che, a causa degli spostamenti del muro, si trova in uno stato di equilibrio plastico.
3. Superficie di rottura piana.
4. Superficie superiore del cuneo anche inclinata ma di forma piana.
5. La resistenza per attrito e per coesione si sviluppa uniformemente lungo la superficie di rottura.
6. Può esistere attrito tra paramento del muro e terreno, che si sviluppa al primo spostamento del muro.
7. Il paramento del muro può essere inclinato ma non spezzato in più parti.
8. L'effetto delle accelerazioni k_h e k_v viene intrinsecamente considerato nel baricentro del cuneo instabile.

Le spinte Attiva e Passiva si calcolano come:

$$P_{a/p} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot (1 - k_v) \cdot K_{a/p}$$

il coefficiente $K_{a/p}$ viene calcolato utilizzando la formulazione di Mononobe-Okabe proposta nell'ordinanza 3274 e successiva correzione 3316, in cui i simboli usati sono:

ϕ = angolo di attrito interno del terreno.

ψ = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete interessata del muro.

β = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno.

δ = angolo di attrito terreno-muro.

θ = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Il coefficiente per stati di spinta attiva si divide in due casi:

$$\begin{aligned} \beta \leq \phi - \theta: \quad K_a &= \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \\ \beta > \phi - \theta: \quad K_a &= \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)} \end{aligned}$$

Il coefficiente per stati di spinta passiva è invece:

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \theta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi) \cdot \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

Nel caso di accelerazione sismica solo orizzontale l'angolo θ è unico e la spinta attiva e passiva risulta univocamente determinata; viceversa le formule forniscono due distinti valori, che corrispondono alla presenza di accelerazione sismica verticale verso l'alto e verso il basso.

6.3 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:

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \phi; & N_q &= \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg} \phi)}; & N_\gamma &= 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \phi \\ s_c &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}; & s'_c &= 0.2 \cdot \frac{B}{L}; & s_q &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \text{tg} \phi; & s_\gamma &= 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \\ d_c &= 1 + 0.4 \cdot k; & d'_c &= 0.4 \cdot k; & d_q &= 1 + 2 \cdot k \cdot \text{tg} \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2; & d_\gamma &= 1 \\ i_c &= i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}; & i'_c &= 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{B \cdot L \cdot c_a}}; & i_q &= \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5; \\ i_\gamma &= \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta=0); & i_\gamma &= \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 45^\circ) \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta>0) \\ g_c &= 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g'_c &= \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g_q &= (1 - 0.5 \cdot \text{tg} \beta)^5; & g_\gamma &= g_q \\ b_c &= 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b'_c &= \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b_q &= e^{(-2 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}; & b_\gamma &= e^{(-2.7 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)} \\ \text{dove: } k &= \frac{D}{B_f} & (\text{se } \frac{D}{B_f} \leq 1); & k &= \text{arctg} \left(\frac{D}{B_f} \right) & (\text{se } \frac{D}{B_f} > 1) \end{aligned}$$

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 .

7 Distribuzioni di spinte e pressioni

7.1 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	15	15	180	0	1	EQU-1	0.82
1	15	15	180	0	2	EQU-2	0.82
1	15	15	180	0	3	EQU-3	0.88
1	15	15	180	0	4	STR-1	0.75
1	15	15	180	0	5	STR-2	0.75
1	15	15	180	0	6	GEO-1	0.82
1	15	15	180	0	7	SIS-1	0.76
1	15	15	180	0	8	SIS-2	0.83
1	15	15	180	0	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a monte							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_a
1	95	95	231	-40	1	EQU-1	0.82
1	95	95	231	-40	2	EQU-2	0.82
1	95	95	231	-40	3	EQU-3	0.88
1	95	95	231	-40	4	STR-1	0.75
1	95	95	231	-40	5	STR-2	0.75
1	95	95	231	-40	6	GEO-1	0.82
1	95	95	231	-40	7	SIS-1	0.76
1	95	95	231	-40	8	SIS-2	0.83
1	95	95	231	-40	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a valle							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_p
1	45	45	0	-40	1	EQU-1	2.44
1	45	45	0	-40	2	EQU-2	2.44
1	45	45	0	-40	3	EQU-3	2.32
1	45	45	0	-40	4	STR-1	3
1	45	45	0	-40	5	STR-2	3
1	45	45	0	-40	6	GEO-1	2.44
1	45	45	0	-40	7	SIS-1	2.98
1	45	45	0	-40	8	SIS-2	2.42
1	45	45	0	-40	9	SLE-1	3

7.2 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.

7.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	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	15	180	15	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	170	15	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	160	15	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	150	15	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	140	15	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	130	15	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	120	15	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	110	15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	100	15	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	90	15	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	80	15	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	70	15	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	60	15	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	50	15	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15	40	15	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15	30	15	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	15	20	15	10	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
18	15	10	15	0	-0.01	0	-0.02	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	0

7.2.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	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	15	180	15	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	170	15	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	160	15	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	150	15	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	140	15	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	130	15	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	120	15	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	110	15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	100	15	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	90	15	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	80	15	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	70	15	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	60	15	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	50	15	40	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
15	15	40	15	30	-0.01	0	-0.03	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	0
16	15	30	15	20	-0.03	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.03	0	-0.04	0
17	15	20	15	10	-0.04	0	-0.06	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.06	0

7																
1	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	-0.06	0	-0.08	0
8																

7.2.3 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	15	180	15	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	170	15	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	160	15	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	150	15	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	140	15	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	130	15	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	120	15	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	110	15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	100	15	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	90	15	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	80	15	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	70	15	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	60	15	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	50	15	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15	40	15	30	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
16	15	30	15	20	-0.01	0	-0.03	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	0
17	15	20	15	10	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	-0.03	0	-0.05	0
18	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	-0.05	0	-0.07	0

7.2.4 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	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5																
1	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6																
1	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7																
1	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8																

7.2.5 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	15	180	15	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	170	15	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	160	15	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	150	15	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	140	15	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	130	15	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	120	15	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	110	15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	100	15	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	90	15	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	80	15	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	70	15	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	60	15	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	50	15	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15	40	15	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15	30	15	20	0	0	-0.02	0	0	0	0	0	0	0	-0.02	0
17	15	20	15	10	-0.02	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.04	0
18	15	10	15	0	-0.04	0	-0.06	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.06	0

7.2.6 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	15	180	15	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	170	15	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	160	15	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	150	15	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	140	15	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	130	15	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	120	15	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	110	15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	100	15	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	90	15	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	80	15	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	70	15	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	60	15	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3																
1	15	50	15	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4																
1	15	40	15	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5																
1	15	30	15	20	0	0	-0.02	0	0	0	0	0	0	0	-0.02	0
6																
1	15	20	15	10	-0.02	0	-0.03	0	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.03
7																
1	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	-0.03	0	-0.05
8																

7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-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	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	15	10	15	0	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-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	15	180	15	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	170	15	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	160	15	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	150	15	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	140	15	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	130	15	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	120	15	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	110	15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	100	15	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	90	15	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	80	15	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1																
1	15	70	15	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2																
1	15	60	15	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3																
1	15	50	15	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4																
1	15	40	15	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5																
1	15	30	15	20	0	0	-0.02	0	0	0	0	0	0	0	-0.02	0
6																
1	15	20	15	10	-0.02	0	-0.04	0	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.04
7																
1	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.05
8																

7.2.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-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	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	15	10	15	0	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8 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.

8.1 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	0	0	0
EQU	A3	M2	R0	2	EQU-2	1.1	0	0	0
EQU	A0	M2	R0	3	EQU-3	1	0	1	0
STR	A1	M1	R1	1	STR-1	1	0	0	0
STR	A1	M1	R1	2	STR-2	1.3	0	0	0
GEO	A2	M2	R2	1	GEO-1	1	0	0	0
SIS	A0	M1	R1	1	SIS-1	1	0	1	0
SIS	A0	M2	R2	2	SIS-2	1	0	1	0
SLE	A0	M0	R0	1	SLE-1	1	0	0	0

8.1.1 Combinazione di carico EQU-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	13	34	0	-24.75
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	103	0	-28.09
Spinta del terreno a monte	0	-5	-7.88	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	19.35	0

8.1.2 Combinazione di carico EQU-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	13	34	0	-30.25
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	103	0	-34.33
Spinta del terreno a monte	0	5	-15.86	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	20.1	0

8.1.3 Combinazione di carico EQU-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	13	34	0	-27.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	103	0	-31.21
Spinta del terreno a monte	0	1	-13.55	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	19.14	0
Forza di inerzia dovuta al muro	13	34	-2.06	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	57	103	-2.34	0

8.1.4 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	13	34	0	-27.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	103	0	-31.21
Spinta del terreno a monte	0	-15	-4.14	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	26.73	0

8.1.5 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	13	34	0	-35.75

Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	103	0	-40.57
Spinta del terreno a monte	0	0	-13.58	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	28.1	0

8.1.6 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	13	34	0	-27.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	103	0	-31.21
Spinta del terreno a monte	0	1	-11.71	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	19.72	0

8.1.7 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	13	34	0	-27.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	103	0	-31.21
Spinta del terreno a monte	0	-15	-4.36	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	26.61	0
Forza di inerzia dovuta al muro	13	34	-0.37	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	57	103	-0.42	0

8.1.8 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	13	34	0	-27.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	103	0	-31.21
Spinta del terreno a monte	0	1	-12.03	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	19.62	0
Forza di inerzia dovuta al muro	13	34	-0.37	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	57	103	-0.42	0

9 Verifiche di stabilità locale

9.1 Tensioni trasmesse sul terreno

Moltiplicatore spinta passiva per equilibrio	: 1
Pressione limite sul terreno per abbassamento	: 2 daN/cm ²
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	: 17.9 cm (comb. STR-1)
Momento rispetto al baricentro della fondazione	: -438 daN cm (comb. SIS-2)
Larghezza reagente minima in fondazione	: 140 cm (comb. STR-1)
Tensione max sul terreno allo spigolo di valle	: 0.29 daN/cm ² (comb. STR-2)
Tensione max sul terreno allo spigolo di monte	: 0.8 daN/cm ² (comb. STR-2)

9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2	
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)	
Moltiplicatore spinta passiva per traslazione	: 0
Coefficiente di attrito caratteristico terreno-fondazione	: 0.36
Coefficiente di attrito di progetto terreno-fondazione	: 0.29
Adesione di progetto terreno-fondazione	: 0.128 daN/cm ²
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	: 59 daN
Sforzo tangenziale positivo all'intradosso della fondazione	: 0 daN
Sforzo tangenziale negativo all'intradosso della fondazione	: 13 daN
Coefficiente limite verifica alla traslazione	: 1
Coefficiente di sicurezza alla traslazione	: 2.73

9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: EQU-3

Moltiplicatore spinta passiva per ribaltamento	: 0
Momento ribaltante rispetto allo spigolo di valle	: 1044 daN cm
Momento stabilizzante rispetto a spigolo di valle	: -4759 daN cm
Coefficiente limite verifica al ribaltamento	: 1
Coefficiente di sicurezza al ribaltamento	: 4.56

9.4 Verifica di capacità portante del suolo

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-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	: 0.076 daN/cm ²
Coesione di progetto del suolo di fondazione	: 0.128 daN/cm ²
Angolo di attrito di progetto del suolo di fondazione	: 24.8 °
Peso specifico di progetto del suolo di fondazione	: 0.0019 daN/cm ³
Inclinazione della risultante rispetto alla normale	: 12.3 °
Base efficace	: 138 cm
Carico tangenziale al piano di posa	: 12.8 daN/cm
Carico di progetto della fondazione (normale al P.P.)	: 58.7 daN/cm
Carico ultimo della fondazione	: 428.8 daN/cm
Lunghezza Fondazione per verifica carico limite	: 1000 cm
Coefficiente limite verifica al carico limite	: 1
Coefficiente di sicurezza al carico limite	: 7.3

Tabella dei coefficienti di capacità portante

Coefficienti	Coesione	Sovraccarico	Attrito
Coefficienti di capacità portante	$N_c = 20$	$N_q = 10$	$N_g = 7$
Coefficienti di forma	$s_c = 1$	$s_q = 1$	$s_g = 1$
Coefficienti di profondità	$d_c = 1.11$	$d_q = 1.09$	$d_g = 1$
Coefficienti di inclinazione del carico	$i_c = 0.68$	$i_q = 0.71$	$i_g = 0.61$
Coefficienti di inclinazione del piano di posa della fondazione	$b_c = 1$	$b_q = 1$	$b_g = 1$
Coefficienti di inclinazione del pendio	$g_c = 1$	$g_q = 1$	$g_g = 1$

10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2

Metodo di analisi di stabilità del pendio	: Bishop
Passo dei conci	: 50 cm
Coefficiente di stabilità globale pendio	: 3.24
Coefficiente limite suggerito dalla normativa	: 1.1
X centro della superficie critica	: -316 cm
Y centro della superficie critica	: 600 cm
Raggio della superficie critica	: 761 cm
Forza di bilancio	: 227.29 daN/cm
Volume spostato dalla superficie critica	: 19.03 m ³ /m
Peso spostato dalla superficie critica	: 36812 daN/m

11 Parametri per dimensionamento armatura

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

R _{ck} (resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo)	: 370 daN/cm ²
Modulo elastico longitudinale E _c	: 330194 daN/cm ²
Rapporto E _a /E _c per calcolo tensioni in esercizio	: 15
Rapporto E _a /E _c 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

12 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_t: 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

V_{Sd}: taglio di calcolo

V_{Rdc}: taglio resistente in assenza di armatura a taglio

V_{Rdmax}: taglio resistente massimo dell'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse

V_{Rds}: 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 _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	30	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	880	-1755	270705	-540067	308	ok
0	30	30	8.1	3.6	12.6	3.6	ok	STR-2	1	-1463	501	-588326	402	ok

0	60	30	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-1170	0	-560608	479	ok
0	90	30	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-878	0	-560608	639	ok
0	120	30	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-585	0	-560608	958	ok
0	150	30	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-293	0	-560608	>999	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	30	SLE-1	0	-1350	0	0	ok	SLE-1	0	-1350	-	-	ok
0	30	30	SLE-1	0	-1125	0	0	ok	SLE-1	0	-1125	-	-	ok
0	60	30	SLE-1	0	-900	0	0	ok	SLE-1	0	-900	-	-	ok
0	90	30	SLE-1	0	-675	0	0	ok	SLE-1	0	-675	-	-	ok
0	120	30	SLE-1	0	-450	0	0	ok	SLE-1	0	-450	-	-	ok
0	150	30	SLE-1	0	-225	0	0	ok	SLE-1	0	-225	-	-	ok

X	Y	H	C _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
0	0	30	SIS-2	-103	13276	-	-	ok
0	30	30	SIS-2	-17	14657	-	-	ok
0	60	30	SIS-2	-12	13217	-	-	ok
0	90	30	SIS-2	-9	13187	-	-	ok
0	120	30	SIS-2	-6	13158	-	-	ok
0	150	30	SIS-2	-3	13128	-	-	ok

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

X	Y	H	A _s	C _s	A _l	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		
-15	-20	40	12.6	3.7	13.6	3.6	ok	STR-2	5070	-2810	1301734	-721390	257	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	
-15	-20	40	SLE-1	-1055	-2673	0	-1	ok	SLE-1	-1055	-2673	-	-	ok

X	Y	H	C _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
-15	-20	40	STR-2	655	17526	-	-	ok

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

X	Y	H	A _s	C _s	A _l	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		
15	-20	40	12.6	3.7	9	3.6	ok	STR-1	35078	-320	1476245	-13464	42.1	ok
45	-20	40	12.6	3.7	4.5	3.6	no	STR-1	17470	-320	948276	-17365	54.3	ok
75	-20	40	12.2	3.7	4.5	3.6	no	STR-2	662	-748	665935	-752604	>999	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	
15	-20	40	SLE-1	35078	-320	99	-2	ok	SLE-1	35078	-320	-	-	ok
45	-20	40	SLE-1	17470	-320	79	-1	ok	SLE-1	17470	-320	-	-	ok
75	-20	40	SLE-1	2834	-320	0	0	ok	SLE-1	2834	-320	-	-	ok

X	Y	H	C _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
15	-20	40	STR-1	535	16266	-	-	ok
45	-20	40	STR-1	588	16266	-	-	ok
75	-20	40	STR-1	337	16266	-	-	ok

Relazione di calcolo muro di controripa – h = 1,90 m

Indice generale

<u>1 Descrizione del software</u>	2
<u>2 Normative di riferimento</u>	2
<u>3 Geometria del muro</u>	3
<u>3.1 Sistema di riferimento</u>	3
<u>3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale</u>	4
<u>3.3 Rappresentazione analitica</u>	4
<u>4 Caratteristiche dei terreni</u>	5
<u>5 Geometria degli strati</u>	5
<u>6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche</u>	6
<u>6.1 Descrizione della normativa sismica</u>	6
<u>6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte</u>	8
<u>6.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza</u>	8
<u>7 Distribuzioni di spinte e pressioni</u>	10
<u>7.1 Coefficienti di spinta</u>	10
<u>7.2 Pressioni</u>	10
<u>7.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1</u>	11
<u>7.2.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2</u>	11
<u>7.2.3 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-3</u>	12
<u>7.2.4 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-1</u>	12
<u>7.2.5 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-2</u>	13
<u>7.2.6 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-1</u>	13
<u>7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-1</u>	14
<u>7.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-2</u>	14
<u>7.2.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-1</u>	15
<u>8 Risultante delle azioni agenti sul muro</u>	16
<u>8.1 Combinazioni di calcolo</u>	16
<u>8.1.1 Combinazione di carico EQU-1</u>	16
<u>8.1.2 Combinazione di carico EQU-2</u>	16
<u>8.1.3 Combinazione di carico EQU-3</u>	16
<u>8.1.4 Combinazione di carico STR-1</u>	17
<u>8.1.5 Combinazione di carico STR-2</u>	17
<u>8.1.6 Combinazione di carico GEO-1</u>	17
<u>8.1.7 Combinazione di carico SIS-1</u>	17
<u>8.1.8 Combinazione di carico SIS-2</u>	17
<u>9 Verifiche di stabilità locale</u>	17
<u>9.1 Tensioni trasmesse sul terreno</u>	17
<u>9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)</u>	18
<u>9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)</u>	18
<u>9.4 Verifica di capacità portante del suolo</u>	18
<u>10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio</u>	18
<u>11 Parametri per dimensionamento armatura</u>	19
<u>12 Sollecitazioni e verifiche strutturali</u>	19

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: 7.11

Identificatore licenza: WW-3811560

Intestatario della licenza: MOSSONE ING. PIETRO PAOLO - VIA S'ARRULLONI, 5 - CAGLIARI

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)

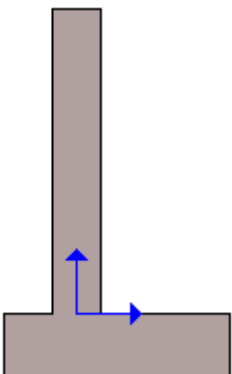
Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 (NTC 2008)

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

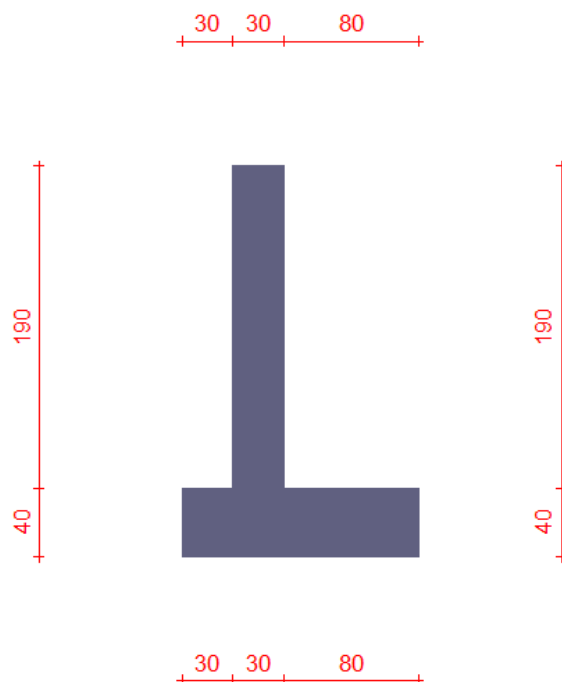
Ordinate Y (esprese in centimetri) positive verso l'alto

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	: 140 cm
Altezza totale del muro	: 230 cm
Peso specifico del muro	: 2500 daN/m ³
Peso specifico delle falde	: 1000 daN/m ³

Paramento

Base inf.	: 30 cm
Base sup.	: 30 cm
Altezza	: 190 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	: 30 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)

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)

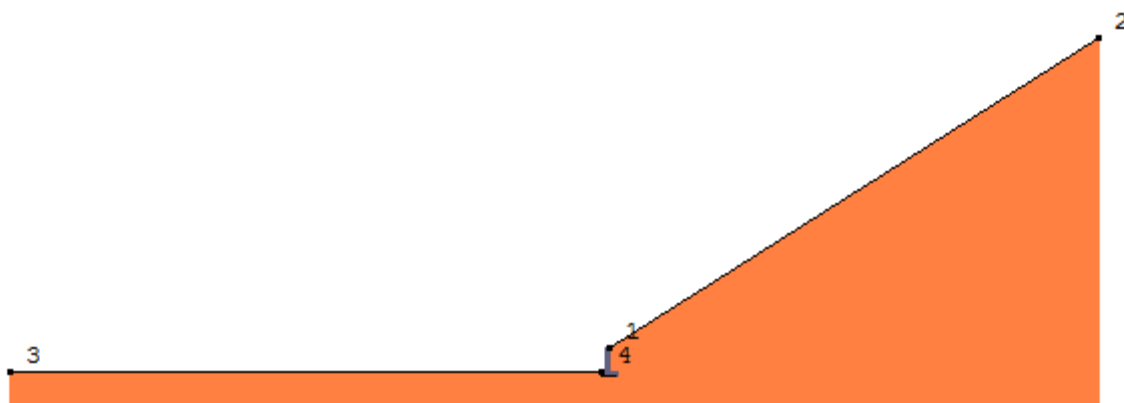
G: Modulo elastico tangenziale del terreno (daN/cm²)

Perm: Permeabilità del terreno (cm/sec)

N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	AI	OCR	Ko	E	G	Perm
1	Terreno Carrareccia	1900	1900	30,00	0,160	0,000	0,00	1,00	1,00	0,50	410	150	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: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	15	190
2	2	3970	2697

Strato n.2, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	-4815	0
2	4	-45	0

Strato n.3, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-45	-40
2	-	-15	-40
3	-	15	-40
4	-	95	-40

6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche

Metodo di calcolo della spinta del terreno : Mononobe-Okabe
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: Cagliari, Orroli

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: 0.05 g

Categoria del suolo di fondazione: B

Coefficiente di amplificazione stratigrafica: 1.5

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 trascurato.

6.1 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.

6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte

La teoria di Mononobe-Okabe fa uso del *metodo dell'equilibrio limite* e può essere considerata una estensione del metodo di Coulomb, in cui alle usuali spinte al contorno del cuneo instabile di terreno vengono sommate anche le azioni inerziali orizzontali e verticali dovute all'accelerazione delle masse.

Le ipotesi che stanno alla base del metodo sono quindi:

1. Terreno isotropo, omogeneo e dotato di attrito e/o coesione.
2. Terreno che, a causa degli spostamenti del muro, si trova in uno stato di equilibrio plastico.
3. Superficie di rottura piana.
4. Superficie superiore del cuneo anche inclinata ma di forma piana.
5. La resistenza per attrito e per coesione si sviluppa uniformemente lungo la superficie di rottura.
6. Può esistere attrito tra paramento del muro e terreno, che si sviluppa al primo spostamento del muro.
7. Il paramento del muro può essere inclinato ma non spezzato in più parti.
8. L'effetto delle accelerazioni k_h e k_v viene intrinsecamente considerato nel baricentro del cuneo instabile.

Le spinte Attiva e Passiva si calcolano come:

$$P_{a/p} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot (1 - k_v) \cdot K_{a/p}$$

il coefficiente $K_{a/p}$ viene calcolato utilizzando la formulazione di Mononobe-Okabe proposta nell'ordinanza 3274 e successiva correzione 3316, in cui i simboli usati sono:

ϕ = angolo di attrito interno del terreno.

ψ = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete interessata del muro.

β = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno.

δ = angolo di attrito terreno-muro.

θ = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Il coefficiente per stati di spinta attiva si divide in due casi:

$$\beta \leq \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

Il coefficiente per stati di spinta passiva è invece:

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \theta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi) \cdot \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

Nel caso di accelerazione sismica solo orizzontale l'angolo θ è unico e la spinta attiva e passiva risulta univocamente determinata; viceversa le formule forniscono due distinti valori, che corrispondono alla presenza di accelerazione sismica verticale verso l'alto e verso il basso.

6.3 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:

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \phi; & N_q &= \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg} \phi)}; & N_\gamma &= 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \phi \\ s_c &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}; & s'_c &= 0.2 \cdot \frac{B}{L}; & s_q &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \text{tg} \phi; & s_\gamma &= 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \\ d_c &= 1 + 0.4 \cdot k; & d'_c &= 0.4 \cdot k; & d_q &= 1 + 2 \cdot k \cdot \text{tg} \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2; & d_\gamma &= 1 \\ i_c &= i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}; & i'_c &= 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{B \cdot L \cdot c_a}}; & i_q &= \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5; \\ i_\gamma &= \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 \quad (\text{se } \eta=0); & i_\gamma &= \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ) \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 \quad (\text{se } \eta>0) \\ g_c &= 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g'_c &= \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g_q &= (1 - 0.5 \cdot \text{tg} \beta)^5; & g_\gamma &= g_q \\ b_c &= 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b'_c &= \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b_q &= e^{(-2 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}; & b_\gamma &= e^{(-2.7 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)} \\ \text{dove: } k &= \frac{D}{B_f} \quad (\text{se } \frac{D}{B_f} \leq 1); & k &= \text{arctg} \left(\frac{D}{B_f} \right) \quad (\text{se } \frac{D}{B_f} > 1) \end{aligned}$$

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 .

7 Distribuzioni di spinte e pressioni

7.1 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	15	15	190	0	1	EQU-1	0.82
1	15	15	190	0	2	EQU-2	0.82
1	15	15	190	0	3	EQU-3	0.88
1	15	15	190	0	4	STR-1	0.75
1	15	15	190	0	5	STR-2	0.75
1	15	15	190	0	6	GEO-1	0.82
1	15	15	190	0	7	SIS-1	0.76
1	15	15	190	0	8	SIS-2	0.83
1	15	15	190	0	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a monte							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_a
1	95	95	241	-40	1	EQU-1	0.82
1	95	95	241	-40	2	EQU-2	0.82
1	95	95	241	-40	3	EQU-3	0.88
1	95	95	241	-40	4	STR-1	0.75
1	95	95	241	-40	5	STR-2	0.75
1	95	95	241	-40	6	GEO-1	0.82
1	95	95	241	-40	7	SIS-1	0.76
1	95	95	241	-40	8	SIS-2	0.83
1	95	95	241	-40	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a valle							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_p
1	45	45	0	-40	1	EQU-1	2.44
1	45	45	0	-40	2	EQU-2	2.44
1	45	45	0	-40	3	EQU-3	2.32
1	45	45	0	-40	4	STR-1	3
1	45	45	0	-40	5	STR-2	3
1	45	45	0	-40	6	GEO-1	2.44
1	45	45	0	-40	7	SIS-1	2.98
1	45	45	0	-40	8	SIS-2	2.42
1	45	45	0	-40	9	SLE-1	3

7.2 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.

7.2.1 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	15	190	15	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	180	15	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	170	15	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	160	15	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	150	15	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	140	15	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	130	15	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	120	15	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	110	15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	100	15	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	90	15	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	80	15	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	70	15	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	60	15	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15	50	15	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15	40	15	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	15	30	15	20	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
18	15	20	15	10	-0.01	0	-0.02	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	0
19	15	10	15	0	-0.02	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.04	0

7.2.2 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	15	190	15	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	180	15	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	170	15	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	160	15	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	150	15	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	140	15	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	130	15	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	120	15	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	110	15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	100	15	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	90	15	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	80	15	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	70	15	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	60	15	50	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
15	15	50	15	40	-0.01	0	-0.03	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	0

1 6	15	40	15	30	-0.03	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.03	0	-0.04	0
1 7	15	30	15	20	-0.04	0	-0.06	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.06	0
1 8	15	20	15	10	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	-0.06	0	-0.08	0
1 9	15	10	15	0	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	-0.08	0	-0.09	0

7.2.3 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	15	190	15	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	180	15	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	170	15	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	160	15	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	150	15	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	140	15	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	130	15	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	120	15	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	110	15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 0	15	100	15	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 1	15	90	15	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 2	15	80	15	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 3	15	70	15	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 4	15	60	15	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 5	15	50	15	40	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
1 6	15	40	15	30	-0.01	0	-0.03	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	0
1 7	15	30	15	20	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	-0.03	0	-0.05	0
1 8	15	20	15	10	-0.05	0	-0.06	0	0	0	0	0	-0.05	0	-0.06	0
1 9	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	-0.06	0	-0.08	0

7.2.4 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	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 0	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 1	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1 2	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 3	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 4	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 5	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 6	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 7	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 8	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 9	15	10	15	0	-0.06	0	-0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.5 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	15	190	15	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	180	15	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	170	15	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	160	15	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	150	15	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	140	15	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	130	15	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	120	15	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	110	15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 0	15	100	15	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 1	15	90	15	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 2	15	80	15	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 3	15	70	15	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 4	15	60	15	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 5	15	50	15	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 6	15	40	15	30	0	0	-0.02	0	0	0	0	0	0	0	-0.02	0
1 7	15	30	15	20	-0.02	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.04	0
1 8	15	20	15	10	-0.04	0	-0.06	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.06	0
1 9	15	10	15	0	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	-0.06	0	-0.07	0

7.2.6 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	15	190	15	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	180	15	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	170	15	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	160	15	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	150	15	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6	15	140	15	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	130	15	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	120	15	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	110	15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	100	15	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	90	15	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	80	15	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	70	15	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	60	15	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15	50	15	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15	40	15	30	0	0	-0.02	0	0	0	0	0	0	0	-0.02	0
17	15	30	15	20	-0.02	0	-0.03	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.03	0
18	15	20	15	10	-0.03	0	-0.05	0	0	0	0	0	-0.03	0	-0.05	0
19	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	-0.05	0	-0.07	0

7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-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	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.8 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	15	190	15	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	180	15	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	170	15	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	160	15	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	150	15	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	140	15	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	130	15	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	120	15	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	110	15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	100	15	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	90	15	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	80	15	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	70	15	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	60	15	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15	50	15	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15	40	15	30	0	0	-0.02	0	0	0	0	0	0	0	-0.02	0
17	15	30	15	20	-0.02	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.04	0
18	15	20	15	10	-0.04	0	-0.05	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.05	0
19	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	-0.05	0	-0.07	0

7.2.9 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	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1 7	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 8	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 9	15	10	15	0	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8 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.

8.1 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	0	0	0
EQU	A3	M2	R0	2	EQU-2	1.1	0	0	0
EQU	A0	M2	R0	3	EQU-3	1	0	1	0
STR	A1	M1	R1	1	STR-1	1	0	0	0
STR	A1	M1	R1	2	STR-2	1.3	0	0	0
GEO	A2	M2	R2	1	GEO-1	1	0	0	0
SIS	A0	M1	R1	1	SIS-1	1	0	1	0
SIS	A0	M2	R2	2	SIS-2	1	0	1	0
SLE	A0	M0	R0	1	SLE-1	1	0	0	0

8.1.1 Combinazione di carico EQU-1

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	12	38	0	-25.43
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	108	0	-29.46
Spinta del terreno a monte	0	-1	-9.46	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	19.35	0

8.1.2 Combinazione di carico EQU-2

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	12	38	0	-31.08
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	108	0	-36.01
Spinta del terreno a monte	0	9	-18.32	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	20.1	0

8.1.3 Combinazione di carico EQU-3

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	12	38	0	-28.25
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	108	0	-32.74

Spinta del terreno a monte	0	4	-15.8	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	19.14	0
Forza di inerzia dovuta al muro	12	38	-2.12	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	57	108	-2.46	0

8.1.4 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	12	38	0	-28.25
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	108	0	-32.74
Spinta del terreno a monte	0	-11	-5.31	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	26.73	0

8.1.5 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	12	38	0	-36.73
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	108	0	-42.56
Spinta del terreno a monte	0	4	-15.95	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	28.1	0

8.1.6 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	12	38	0	-28.25
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	108	0	-32.74
Spinta del terreno a monte	0	4	-13.72	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	19.72	0

8.1.7 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	12	38	0	-28.25
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	108	0	-32.74
Spinta del terreno a monte	0	-11	-5.58	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	26.61	0
Forza di inerzia dovuta al muro	12	38	-0.38	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	57	108	-0.44	0

8.1.8 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	12	38	0	-28.25
Peso proprio del terreno/acqua a monte	57	108	0	-32.74
Spinta del terreno a monte	0	4	-14.09	0
Spinta del terreno a valle	0	-21	19.62	0
Forza di inerzia dovuta al muro	12	38	-0.38	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	57	108	-0.44	0

9 Verifiche di stabilità locale

9.1 Tensioni trasmesse sul terreno

Moltiplicatore spinta passiva per equilibrio	: 1
Pressione limite sul terreno per abbassamento	: 2 daN/cm ²
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	: 16.9 cm (comb. STR-1)
Momento rispetto al baricentro della fondazione	: -327 daN cm (comb. SIS-2)
Larghezza reagente minima in fondazione	: 140 cm (comb. STR-1)
Tensione max sul terreno allo spigolo di valle	: 0.35 daN/cm ² (comb. STR-2)
Tensione max sul terreno allo spigolo di monte	: 0.78 daN/cm ² (comb. STR-2)

9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2
 Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)

Moltiplicatore spinta passiva per traslazione	: 0
Coefficiente di attrito caratteristico terreno-fondazione	: 0.36
Coefficiente di attrito di progetto terreno-fondazione	: 0.29
Adesione di progetto terreno-fondazione	: 0.128 daN/cm ²
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	: 61 daN
Sforzo tangenziale positivo all'intradosso della fondazione	: 0 daN
Sforzo tangenziale negativo all'intradosso della fondazione	: 15 daN
Coefficiente limite verifica alla traslazione	: 1
Coefficiente di sicurezza alla traslazione	: 2.39

9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: EQU-3

Moltiplicatore spinta passiva per ribaltamento	: 0
Momento ribaltante rispetto allo spigolo di valle	: 1231 daN cm
Momento stabilizzante rispetto a spigolo di valle	: -4946 daN cm
Coefficiente limite verifica al ribaltamento	: 1
Coefficiente di sicurezza al ribaltamento	: 4.02

9.4 Verifica di capacità portante del suolo

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-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	: 0.076 daN/cm ²
Coesione di progetto del suolo di fondazione	: 0.128 daN/cm ²
Angolo di attrito di progetto del suolo di fondazione	: 24.8 °
Peso specifico di progetto del suolo di fondazione	: 0.0019 daN/cm ³
Inclinazione della risultante rispetto alla normale	: 13.7 °
Base efficace	: 139 cm
Carico tangenziale al piano di posa	: 14.9 daN/cm
Carico di progetto della fondazione (normale al P.P.)	: 61 daN/cm
Carico ultimo della fondazione	: 409.1 daN/cm
Lunghezza Fondazione per verifica carico limite	: 1000 cm
Coefficiente limite verifica al carico limite	: 1
Coefficiente di sicurezza al carico limite	: 6.71

Tabella dei coefficienti di capacità portante

Coefficienti	Coesione	Sovraccarico	Attrito
Coefficienti di capacità portante	$N_c = 20$	$N_q = 10$	$N_\phi = 7$
Coefficienti di forma	$s_c = 1$	$s_q = 1$	$s_\phi = 1$
Coefficienti di profondità	$d_c = 1.11$	$d_q = 1.09$	$d_\phi = 1$
Coefficienti di inclinazione del carico	$i_c = 0.64$	$i_q = 0.68$	$i_\phi = 0.57$
Coefficienti di inclinazione del piano di posa della fondazione	$b_c = 1$	$b_q = 1$	$b_\phi = 1$
Coefficienti di inclinazione del pendio	$g_c = 1$	$g_q = 1$	$g_\phi = 1$

10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2

Metodo di analisi di stabilità del pendio	: Bishop
Passo dei conci	: 50 cm
Coefficiente di stabilità globale pendio	: 3.84
Coefficiente limite suggerito dalla normativa	: 1.1
X centro della superficie critica	: -513 cm
Y centro della superficie critica	: 865 cm
Raggio della superficie critica	: 1090 cm
Forza di bilancio	: 372.29 daN/cm
Volume spostato dalla superficie critica	: 31.04 m ³ /m
Peso spostato dalla superficie critica	: 59661 daN/m

11 Parametri per dimensionamento armatura

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

Rck (resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo)	: 370 daN/cm ²
Modulo elastico longitudinale Ec	: 330194 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

12 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_i : 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

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_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	30	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	2052	-1853	571814	-516238	279	ok
0	30	30	8.1	3.6	12.6	3.6	ok	STR-2	40	-1560	14902	-587230	376	ok
0	60	30	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-1268	0	-560608	442	ok
0	90	30	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-975	0	-560608	575	ok
0	120	30	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-683	0	-560608	821	ok
0	150	30	4.5	3.6	9	3.6	ok	STR-2	0	-390	0	-560608	>999	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	30	SLE-1	0	-1425	0	0	ok	SLE-1	0	-1425	-	-	ok
0	30	30	SLE-1	0	-1200	0	0	ok	SLE-1	0	-1200	-	-	ok
0	60	30	SLE-1	0	-975	0	0	ok	SLE-1	0	-975	-	-	ok
0	90	30	SLE-1	0	-750	0	0	ok	SLE-1	0	-750	-	-	ok
0	120	30	SLE-1	0	-525	0	0	ok	SLE-1	0	-525	-	-	ok
0	150	30	SLE-1	0	-300	0	0	ok	SLE-1	0	-300	-	-	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	30	SIS-2	-164	13286	-	-	ok
0	30	30	SIS-2	-29	14667	-	-	ok
0	60	30	SIS-2	-13	13227	-	-	ok
0	90	30	SIS-2	-10	13197	-	-	ok
0	120	30	SIS-2	-7	13167	-	-	ok
0	150	30	SIS-2	-4	13138	-	-	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_{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		
-15	-20	40	12.6	3.7	13.6	3.6	ok	STR-2	7367	-2810	1809729	-690239	246	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	
-15	-20	40	SLE-1	-82	-2673	0	-1	ok	SLE-1	-82	-2673	-	-	ok

X	Y	H	c_t	V_{Sd}	VR_{dc}	VR_{dmax}	VR_{ds}	v_t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
-15	-20	40	STR-2	801	17526	-	-	ok

Mensola di fondazione a monte (mensola destra) (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		
15	-20	40	12.6	3.7	9	3.6	ok	STR-1	32929	-378	1549676	-17771	47.1	ok
45	-20	40	12.6	3.7	4.5	3.6	no	STR-1	16516	-378	1071579	-24499	64.9	ok

75	-20	40	12.2	3.7	4.5	3.6	no	STR-2	-45	-823	-39768	-733084	890	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	
15	-20	40	SLE-1	32929	-378	89	-2	ok	SLE-1	32929	-378	-	-	ok
45	-20	40	SLE-1	16516	-378	67	-1	ok	SLE-1	16516	-378	-	-	ok
75	-20	40	SLE-1	2663	-378	0	0	ok	SLE-1	2663	-378	-	-	ok

X	Y	H	C_t	V_{Sd}	V_{Rdc}	V_{Rdmax}	V_{Rds}	v_t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
15	-20	40	STR-1	491	16273	-	-	ok
45	-20	40	STR-1	554	16273	-	-	ok
75	-20	40	STR-1	320	16273	-	-	ok

TABULATI DI CALCOLO MURI DI SOTTOSCARPA

Sistemazione della Carrareccia Nuraghe Arrubiu – Diga Flumendosa

Relazione di calcolo muri di sottoscarpa – h = 1,00 m

Indice generale

<u>1 Descrizione del software</u>	2
<u>2 Normative di riferimento</u>	2
<u>3 Geometria del muro</u>	3
<u>3.1 Sistema di riferimento</u>	3
<u>3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale</u>	4
<u>3.3 Rappresentazione analitica</u>	4
<u>4 Caratteristiche dei terreni</u>	5
<u>5 Geometria degli strati</u>	5
<u>6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche</u>	6
<u>6.1 Descrizione della normativa sismica</u>	6
<u>6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte</u>	8
<u>6.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza</u>	9
<u>7 Distribuzioni di spinte e pressioni</u>	10
<u>7.1 Coefficienti di spinta</u>	10
<u>7.2 Pressioni</u>	11
<u>7.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1</u>	11
<u>7.2.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2</u>	11
<u>7.2.3 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-3</u>	12
<u>7.2.4 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-1</u>	12
<u>7.2.5 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-2</u>	12
<u>7.2.6 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-1</u>	12
<u>7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-1</u>	13
<u>7.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-2</u>	13
<u>7.2.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-1</u>	13
<u>8 Risultante delle azioni agenti sul muro</u>	13
<u>8.1 Combinazioni di calcolo</u>	14
<u>8.1.1 Combinazione di carico EQU-1</u>	14
<u>8.1.2 Combinazione di carico EQU-2</u>	14
<u>8.1.3 Combinazione di carico EQU-3</u>	14
<u>8.1.4 Combinazione di carico STR-1</u>	14
<u>8.1.5 Combinazione di carico STR-2</u>	15
<u>8.1.6 Combinazione di carico GEO-1</u>	15
<u>8.1.7 Combinazione di carico SIS-1</u>	15
<u>8.1.8 Combinazione di carico SIS-2</u>	15
<u>9 Verifiche di stabilità locale</u>	15
<u>9.1 Tensioni trasmesse sul terreno</u>	15
<u>9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)</u>	15
<u>9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)</u>	16
<u>9.4 Verifica di capacità portante del suolo</u>	16
<u>10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio</u>	16
<u>11 Parametri per dimensionamento armatura</u>	17
<u>12 Sollecitazioni e verifiche strutturali</u>	17

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: 7.11

Identificatore licenza: WW-3811560

Intestatario della licenza: MOSSONE ING. PIETRO PAOLO - VIA S'ARRULLONI, 5 - CAGLIARI

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)

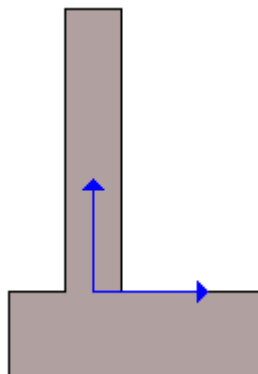
Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 (NTC 2008)

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

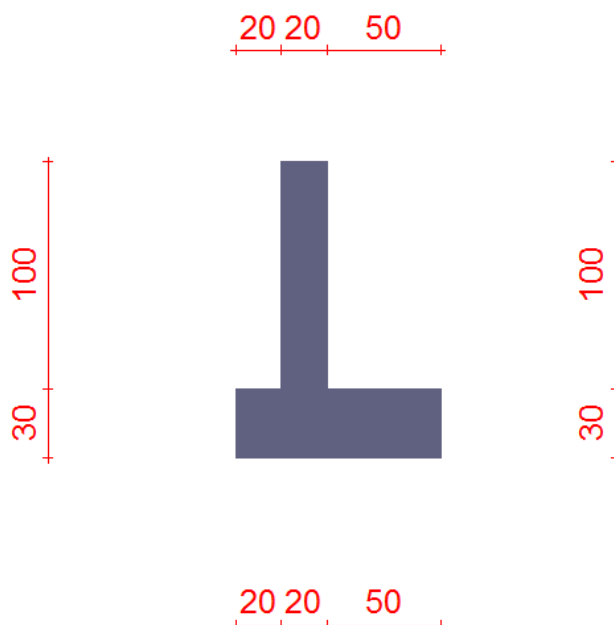
Ordinate Y (esprese in centimetri) positive verso l'alto

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	: 90 cm
Altezza totale del muro	: 130 cm
Peso specifico del muro	: 2500 daN/m ³
Peso specifico delle falde	: 1000 daN/m ³

Paramento

Base inf.	: 20 cm
Base sup.	: 20 cm
Altezza	: 100 cm
Disassamento	: 0 cm

Mensola sinistra in fondazione

Larghezza	: 20 cm
Alt.interna	: 30 cm
Alt.esterna	: 30 cm
Disassamento	: 0 cm

Zoccolo centrale in fondazione

Larghezza	: 20 cm
Altezza a sx	: 30 cm
Altezza a dx	: 30 cm
Sfalsamento	: 0 cm

Mensola destra in fondazione

Larghezza	: 50 cm
Alt.interna	: 30 cm
Alt.esterna	: 30 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)

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)

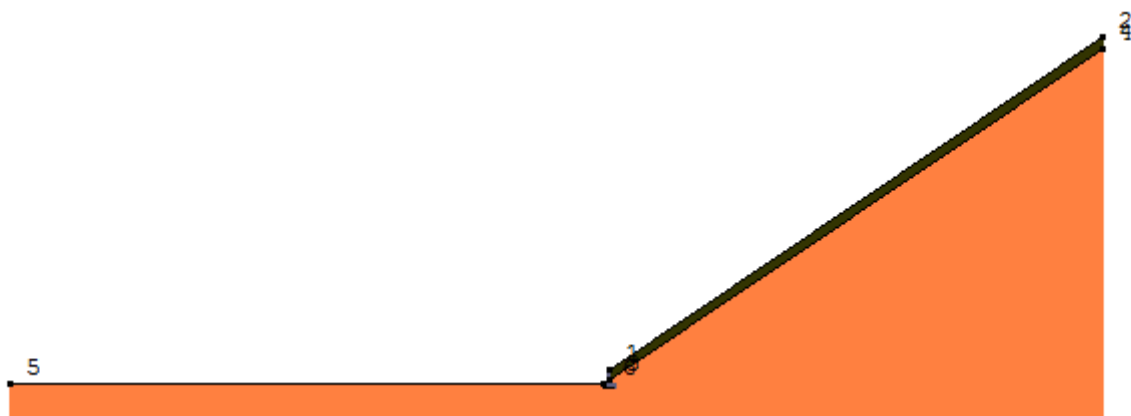
G: Modulo elastico tangenziale del terreno (daN/cm²)

Perm: Permeabilità del terreno (cm/sec)

N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	AI	OCR	Ko	E	G	Perm
1	Terreno Carrareccia	1900	1900	30,00	0,160	0,000	0,00	1,00	1,00	0,50	410	150	3,30E-01
2	Tout Venant	1700	1700	35,00	0,000	0,000	20,00	1,00	1,00	0,43	300	115	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: Tout Venant

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	10	100
2	2	3741	2616

Strato n.2, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	10	20
2	4	3741	2536

Strato n.3, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	5	-4530	0
2	6	-30	0

Strato n.4, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-30	-30
2	-	-10	-30
3	-	10	-30
4	-	60	-30

6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche

Metodo di calcolo della spinta del terreno : Mononobe-Okabe
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: Cagliari, Orroli

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: 0.05 g

Categoria del suolo di fondazione: B

Coefficiente di amplificazione stratigrafica: 1.5

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 trascurato.

6.1 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.

6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte

La teoria di Mononobe-Okabe fa uso del *metodo dell'equilibrio limite* e può essere considerata una estensione del metodo di Coulomb, in cui alle usuali spinte al contorno del cuneo instabile di terreno vengono sommate anche le azioni inerziali orizzontali e verticali dovute all'accelerazione delle masse.

Le ipotesi che stanno alla base del metodo sono quindi:

1. Terreno isotropo, omogeneo e dotato di attrito e/o coesione.
2. Terreno che, a causa degli spostamenti del muro, si trova in uno stato di equilibrio plastico.
3. Superficie di rottura piana.
4. Superficie superiore del cuneo anche inclinata ma di forma piana.
5. La resistenza per attrito e per coesione si sviluppa uniformemente lungo la superficie di rottura.
6. Può esistere attrito tra paramento del muro e terreno, che si sviluppa al primo spostamento del muro.
7. Il paramento del muro può essere inclinato ma non spezzato in più parti.
8. L'effetto delle accelerazioni k_h e k_v viene intrinsecamente considerato nel baricentro del cuneo instabile.

Le spinte Attiva e Passiva si calcolano come:

$$P_{a/p} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot (1 - k_v) \cdot K_{a/p}$$

il coefficiente $K_{a/p}$ viene calcolato utilizzando la formulazione di Mononobe-Okabe proposta nell'ordinanza 3274 e successiva correzione 3316, in cui i simboli usati sono:

ϕ = angolo di attrito interno del terreno.

ψ = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete interessata del muro.

β = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno.

δ = angolo di attrito terreno-muro.

θ = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Il coefficiente per stati di spinta attiva si divide in due casi:

$$\beta \leq \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

Il coefficiente per stati di spinta passiva è invece:

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \theta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi) \cdot \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

Nel caso di accelerazione sismica solo orizzontale l'angolo θ è unico e la spinta attiva e passiva risulta univocamente determinata; viceversa le formule forniscono due distinti valori, che corrispondono alla presenza di accelerazione sismica verticale verso l'alto e verso il basso.

6.3 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:

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \phi; & N_q &= \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg} \phi)}; & N_\gamma &= 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \phi \\ s_c &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}; & s'_c &= 0.2 \cdot \frac{B}{L}; & s_q &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \text{tg} \phi; & s_\gamma &= 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \\ d_c &= 1 + 0.4 \cdot k; & d'_c &= 0.4 \cdot k; & d_q &= 1 + 2 \cdot k \cdot \text{tg} \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2; & d_\gamma &= 1 \\ i_c &= i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}; & i'_c &= 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{B \cdot L \cdot c_a}}; & i_q &= \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5; \\ i_\gamma &= \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta=0); & i_\gamma &= \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ) \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta>0) \\ g_c &= 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g'_c &= \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g_q &= (1 - 0.5 \cdot \text{tg} \beta)^5; & g_\gamma &= g_q \\ b_c &= 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b'_c &= \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b_q &= e^{(-2 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}; & b_\gamma &= e^{(-2.7 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)} \end{aligned}$$

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

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 .

7 Distribuzioni di spinte e pressioni

7.1 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	10	10	100	20	1	EQU-1	0.79
2	10	10	20	0	1	EQU-1	0.82
1	10	10	100	20	2	EQU-2	0.79
2	10	10	20	0	2	EQU-2	0.82
1	10	10	100	20	3	EQU-3	0.88
2	10	10	20	0	3	EQU-3	0.88
1	10	10	100	20	4	STR-1	0.55
2	10	10	20	0	4	STR-1	0.75
1	10	10	100	20	5	STR-2	0.55
2	10	10	20	0	5	STR-2	0.75
1	10	10	100	20	6	GEO-1	0.79
2	10	10	20	0	6	GEO-1	0.82
1	10	10	100	20	7	SIS-1	0.65
2	10	10	20	0	7	SIS-1	0.76
1	10	10	100	20	8	SIS-2	0.81
2	10	10	20	0	8	SIS-2	0.83
1	10	10	100	20	9	SLE-1	0.55
2	10	10	20	0	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a monte							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_a
1	60	60	134	54	1	EQU-1	0.79
2	60	60	54	-30	1	EQU-1	0.82
1	60	60	134	54	2	EQU-2	0.79
2	60	60	54	-30	2	EQU-2	0.82
1	60	60	134	54	3	EQU-3	0.88
2	60	60	54	-30	3	EQU-3	0.88
1	60	60	134	54	4	STR-1	0.55
2	60	60	54	-30	4	STR-1	0.75
1	60	60	134	54	5	STR-2	0.55
2	60	60	54	-30	5	STR-2	0.75
1	60	60	134	54	6	GEO-1	0.79
2	60	60	54	-30	6	GEO-1	0.82

1	60	60	134	54	7	SIS-1	0.65
2	60	60	54	-30	7	SIS-1	0.76
1	60	60	134	54	8	SIS-2	0.81
2	60	60	54	-30	8	SIS-2	0.83
1	60	60	134	54	9	SLE-1	0.55
2	60	60	54	-30	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a valle							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K _p
1	30	30	0	-30	1	EQU-1	2.44
1	30	30	0	-30	2	EQU-2	2.44
1	30	30	0	-30	3	EQU-3	2.32
1	30	30	0	-30	4	STR-1	3
1	30	30	0	-30	5	STR-2	3
1	30	30	0	-30	6	GEO-1	2.44
1	30	30	0	-30	7	SIS-1	2.98
1	30	30	0	-30	8	SIS-2	2.42
1	30	30	0	-30	9	SLE-1	3

7.2 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.

7.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	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	10	100	10	90	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	10	90	10	80	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	10	80	10	70	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	10	70	10	60	-0.03	-0.01	-0.05	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.05	-0.01
5	10	60	10	50	-0.05	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.01	-0.06	-0.02
6	10	50	10	40	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
7	10	40	10	30	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02
8	10	30	10	20	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03
9	10	20	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	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	10	100	10	90	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	10	90	10	80	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	10	80	10	70	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	10	70	10	60	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02
5	10	60	10	50	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
6	10	50	10	40	-0.07	-0.02	-0.09	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.09	-0.02
7	10	40	10	30	-0.09	-0.02	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.02	-0.1	-0.03
8	10	30	10	20	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03
9	10	20	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.3 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	10	100	10	90	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	10	90	10	80	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	10	80	10	70	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	10	70	10	60	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02
5	10	60	10	50	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
6	10	50	10	40	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02
7	10	40	10	30	-0.08	-0.02	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.1	-0.03
8	10	30	10	20	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03
9	10	20	10	10	-0.01	0	-0.01	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	0
10	10	10	10	0	-0.01	0	-0.01	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	0

7.2.4 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	10	100	10	90	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	10	90	10	80	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	10	80	10	70	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	10	70	10	60	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
5	10	60	10	50	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02
6	10	50	10	40	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02
7	10	40	10	30	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
8	10	30	10	20	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03
9	10	20	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.5 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	10	100	10	90	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	10	90	10	80	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	10	80	10	70	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	10	70	10	60	-0.03	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.05	-0.02
5	10	60	10	50	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
6	10	50	10	40	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03
7	10	40	10	30	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03
8	10	30	10	20	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
9	10	20	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.6 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	10	100	10	90	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	10	90	10	80	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	10	80	10	70	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	10	70	10	60	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02
5	10	60	10	50	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
6	10	50	10	40	-0.06	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.08	-0.02
7	10	40	10	30	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03

8	10	30	10	20	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03
9	10	20	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-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	10	100	10	90	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	10	90	10	80	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	10	80	10	70	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	10	70	10	60	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
5	10	60	10	50	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02
6	10	50	10	40	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
7	10	40	10	30	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
8	10	30	10	20	-0.07	-0.02	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.03
9	10	20	10	10	-0.01	0	-0.01	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	0
10	10	10	10	0	-0.01	0	-0.01	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.01	0

7.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-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	10	100	10	90	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	10	90	10	80	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	10	80	10	70	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	10	70	10	60	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02
5	10	60	10	50	-0.05	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.07	-0.02
6	10	50	10	40	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02
7	10	40	10	30	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03
8	10	30	10	20	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03
9	10	20	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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

8 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.

8.1 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	0	0	0
EQU	A3	M2	R0	2	EQU-2	1.1	0	0	0
EQU	A0	M2	R0	3	EQU-3	1	0	1	0
STR	A1	M1	R1	1	STR-1	1	0	0	0
STR	A1	M1	R1	2	STR-2	1.3	0	0	0
GEO	A2	M2	R2	1	GEO-1	1	0	0	0
SIS	A0	M1	R1	1	SIS-1	1	0	1	0
SIS	A0	M2	R2	2	SIS-2	1	0	1	0
SLE	A0	M0	R0	1	SLE-1	1	0	0	0

8.1.1 Combinazione di carico EQU-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	9	13	0	-10.58
Peso proprio del terreno/acqua a monte	36	57	0	-9.27
Spinta del terreno a monte	60	80	-3.73	-1.09
Spinta del terreno a valle	0	-16	13.89	0

8.1.2 Combinazione di carico EQU-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	9	13	0	-12.93
Peso proprio del terreno/acqua a monte	36	57	0	-11.33
Spinta del terreno a monte	60	73	-4.92	-1.33
Spinta del terreno a valle	0	-16	14.31	0

8.1.3 Combinazione di carico EQU-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	9	13	0	-11.75
Peso proprio del terreno/acqua a monte	36	57	0	-10.3
Spinta del terreno a monte	60	73	-4.73	-1.34
Spinta del terreno a valle	0	-16	13.69	0
Forza di inerzia dovuta al muro	9	13	-0.88	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	36	57	-0.77	0

8.1.4 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	9	13	0	-11.75
Peso proprio del terreno/acqua a monte	36	57	0	-10.3
Spinta del terreno a monte	60	80	-2.83	-1.03

Spinta del terreno a valle	0	-16	19.19	0
----------------------------	---	-----	-------	---

8.1.5 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	9	13	0	-15.28
Peso proprio del terreno/acqua a monte	36	57	0	-13.39
Spinta del terreno a monte	60	79	-3.73	-1.34
Spinta del terreno a valle	0	-16	19.96	0

8.1.6 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	9	13	0	-11.75
Peso proprio del terreno/acqua a monte	36	57	0	-10.3
Spinta del terreno a monte	60	79	-4.19	-1.21
Spinta del terreno a valle	0	-16	14.1	0

8.1.7 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	9	13	0	-11.75
Peso proprio del terreno/acqua a monte	36	57	0	-10.3
Spinta del terreno a monte	60	72	-3.3	-1.2
Spinta del terreno a valle	0	-16	19.11	0
Forza di inerzia dovuta al muro	9	13	-0.16	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	36	57	-0.14	0

8.1.8 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	9	13	0	-11.75
Peso proprio del terreno/acqua a monte	36	57	0	-10.3
Spinta del terreno a monte	60	78	-4.28	-1.23
Spinta del terreno a valle	0	-16	14.03	0
Forza di inerzia dovuta al muro	9	13	-0.16	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	36	57	-0.14	0

9 Verifiche di stabilità locale

9.1 Tensioni trasmesse sul terreno

Moltiplicatore spinta passiva per equilibrio	: 1
Pressione limite sul terreno per abbassamento	: 2 daN/cm ²
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	: 6.6 cm (comb. STR-1)
Momento rispetto al baricentro della fondazione	: 81 daN cm (comb. SIS-2)
Larghezza reagente minima in fondazione	: 90 cm (comb. STR-1)
Tensione max sul terreno allo spigolo di valle	: 0.32 daN/cm ² (comb. SIS-2)
Tensione max sul terreno allo spigolo di monte	: 0.43 daN/cm ² (comb. STR-2)

9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2	
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)	
Moltiplicatore spinta passiva per traslazione	: 0

Coefficiente di attrito caratteristico terreno-fondazione : 0.36
 Coefficiente di attrito di progetto terreno-fondazione : 0.29
 Adesione di progetto terreno-fondazione : 0.128 daN/cm²
 Sforzo normale sul piano di posa della fondazione : 23 daN
 Sforzo tangenziale positivo all'intradosso della fondazione : 0 daN
 Sforzo tangenziale negativo all'intradosso della fondazione : 5 daN
 Coefficiente limite verifica alla traslazione : 1
 Coefficiente di sicurezza alla traslazione : 4

9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: EQU-3
 Moltiplicatore spinta passiva per ribaltamento : 0
 Momento ribaltante rispetto allo spigolo di valle : 471 daN cm
 Momento stabilizzante rispetto a spigolo di valle : -1137 daN cm
 Coefficiente limite verifica al ribaltamento : 1
 Coefficiente di sicurezza al ribaltamento : 2.41

9.4 Verifica di capacità portante del suolo

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-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 : 30 cm
 Sovraccarico agente sul piano di posa : 0.057 daN/cm²
 Coesione di progetto del suolo di fondazione : 0.128 daN/cm²
 Angolo di attrito di progetto del suolo di fondazione : 24.8 °
 Peso specifico di progetto del suolo di fondazione : 0.0019 daN/cm³
 Inclinazione della risultante rispetto alla normale : 11.1 °
 Base efficace : 66 cm
 Carico tangenziale al piano di posa : 4.6 daN/cm
 Carico di progetto della fondazione (normale al P.P.) : 23.3 daN/cm
 Carico ultimo della fondazione : 192.4 daN/cm
 Lunghezza Fondazione per verifica carico limite : 1000 cm
 Coefficiente limite verifica al carico limite : 1
 Coefficiente di sicurezza al carico limite : 8.26

Tabella dei coefficienti di capacità portante

Coefficienti	Coesione	Sovraccarico	Attrito
Coefficienti di capacità portante	$N_c = 20$	$N_q = 10$	$N_\phi = 7$
Coefficienti di forma	$s_c = 1$	$s_q = 1$	$s_\phi = 1$
Coefficienti di profondità	$d_c = 1.13$	$d_q = 1.1$	$d_\phi = 1$
Coefficienti di inclinazione del carico	$i_c = 0.73$	$i_q = 0.75$	$i_\phi = 0.67$
Coefficienti di inclinazione del piano di posa della fondazione	$b_c = 1$	$b_q = 1$	$b_\phi = 1$
Coefficienti di inclinazione del pendio	$g_c = 1$	$g_q = 1$	$g_\phi = 1$

10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2
 Metodo di analisi di stabilità del pendio : Bishop
 Passo dei conci : 100 cm
 Coefficiente di stabilità globale pendio : 5.64
 Coefficiente limite suggerito dalla normativa : 1.1
 X centro della superficie critica : -250 cm
 Y centro della superficie critica : 353 cm
 Raggio della superficie critica : 493 cm
 Forza di bilancio : 162.87 daN/cm
 Volume spostato dalla superficie critica : 9.17 m³/m
 Peso spostato dalla superficie critica : 17381 daN/m

11 Parametri per dimensionamento armatura

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

Rck (resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo)	: 370 daN/cm ²
Modulo elastico longitudinale Ec	: 330194 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

12 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_t: 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_t: combinazione di carico critica per la verifica a taglio

V_{Sd}: taglio di calcolo

V_{Rdc}: taglio resistente in assenza di armatura a taglio

V_{Rdmax}: taglio resistente massimo dell'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse

V_{Rds}: 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 _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	20	6.2	3.7	6.2	3.7	ok	SIS-2	18698	-623	522241	-17398	27.9	ok
0	30	20	10.3	3.7	10.3	3.7	ok	SIS-2	6720	-443	1059692	-69930	158	ok
0	60	20	6.2	3.7	6.2	3.7	ok	SIS-2	1146	-231	1054876	-212154	920	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 _t
cm	cm	cm		daN cm	daN	daN/cm ²	daN/cm ²			daN cm	daN	cm	mm	
0	0	20	SLE-1	12183	-603	86	-3	ok	SLE-1	12183	-603	-	-	ok
0	30	20	SLE-1	4270	-429	10	-1	ok	SLE-1	4270	-429	-	-	ok
0	60	20	SLE-1	686	-226	0	0	ok	SLE-1	686	-226	-	-	ok

X	Y	H	C _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
0	0	20	SIS-2	-429	9018	-	-	ok
0	30	20	SIS-2	-326	10575	-	-	ok
0	60	20	SIS-2	-107	8970	-	-	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		
-10	-15	30	5.4	3.7	10.8	3.7	ok	STR-2	1483	-1996	398963	-537094	269	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 _t
cm	cm	cm		daN cm	daN	daN/cm ²	daN/cm ²			daN cm	daN	cm	mm	
-10	-15	30	SLE-1	413	-1919	0	-1	ok	SLE-1	413	-1919	-	-	ok

X	Y	H	C _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
-10	-15	30	SIS-2	461	13937	-	-	ok

Mensola di fondazione a monte (mensola destra) (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		
10	-15	30	11.2	3.7	12.3	3.7	ok	SIS-2	-8949	-13	-1120655	-1624	125	ok
40	-15	30	10.8	3.7	5.4	3.7	no	SIS-2	-2015	-10	-1127120	-5556	559	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 _t
cm	cm	cm		daN cm	daN	daN/cm ²	daN/cm ²			daN cm	daN	cm	mm	
10	-15	30	SLE-1	4530	0	16	0	ok	SLE-1	4530	0	-	-	ok
40	-15	30	SLE-1	973	0	7	0	ok	SLE-1	973	0	-	-	ok

X	Y	H	C _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
10	-15	30	SIS-2	-246	13942	-	-	ok
40	-15	30	SIS-2	-177	13756	-	-	ok

Relazione di calcolo muro di sottoscarpa – h = 1,75 m

Indice generale

<u>1 Descrizione del software</u>	2
<u>2 Normative di riferimento</u>	2
<u>3 Geometria del muro</u>	3
<u>3.1 Sistema di riferimento</u>	3
<u>3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale</u>	4
<u>3.3 Rappresentazione analitica</u>	4
<u>4 Caratteristiche dei terreni</u>	5
<u>5 Geometria degli strati</u>	5
<u>6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche</u>	6
<u>6.1 Descrizione della normativa sismica</u>	6
<u>6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte</u>	8
<u>6.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza</u>	9
<u>7 Distribuzioni di spinte e pressioni</u>	10
<u>7.1 Coefficienti di spinta</u>	10
<u>7.2 Pressioni</u>	11
<u>7.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1</u>	11
<u>7.2.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2</u>	12
<u>7.2.3 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-3</u>	12
<u>7.2.4 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-1</u>	13
<u>7.2.5 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-2</u>	13
<u>7.2.6 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-1</u>	14
<u>7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-1</u>	14
<u>7.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-2</u>	15
<u>7.2.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-1</u>	15
<u>8 Risultante delle azioni agenti sul muro</u>	16
<u>8.1 Combinazioni di calcolo</u>	16
<u>8.1.1 Combinazione di carico EQU-1</u>	16
<u>8.1.2 Combinazione di carico EQU-2</u>	16
<u>8.1.3 Combinazione di carico EQU-3</u>	17
<u>8.1.4 Combinazione di carico STR-1</u>	17
<u>8.1.5 Combinazione di carico STR-2</u>	17
<u>8.1.6 Combinazione di carico GEO-1</u>	17
<u>8.1.7 Combinazione di carico SIS-1</u>	17
<u>8.1.8 Combinazione di carico SIS-2</u>	17
<u>9 Verifiche di stabilità locale</u>	18
<u>9.1 Tensioni trasmesse sul terreno</u>	18
<u>9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)</u>	18
<u>9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)</u>	18
<u>9.4 Verifica di capacità portante del suolo</u>	18
<u>10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio</u>	19
<u>11 Parametri per dimensionamento armatura</u>	19
<u>12 Sollecitazioni e verifiche strutturali</u>	19

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: 7.11

Identificatore licenza: WW-3811560

Intestatario della licenza: MOSSONE ING. PIETRO PAOLO - VIA S'ARRULLONI, 5 - CAGLIARI

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)

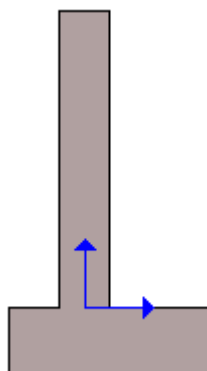
Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 (NTC 2008)

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

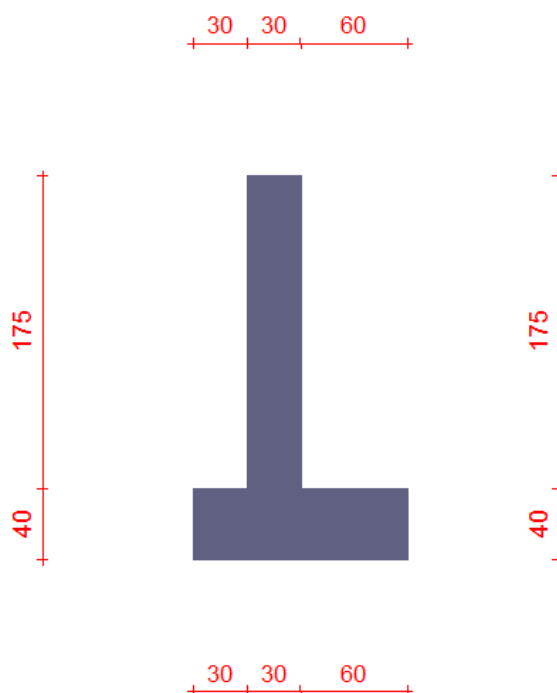
Ordinate Y (esprese in centimetri) positive verso l'alto

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	: 120 cm
Altezza totale del muro	: 215 cm
Peso specifico del muro	: 2500 daN/m ³
Peso specifico delle falde	: 1000 daN/m ³

Paramento

Base inf.	: 30 cm
Base sup.	: 30 cm
Altezza	: 175 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	: 30 cm
Altezza a sx	: 40 cm
Altezza a dx	: 40 cm
Sfalsamento	: 0 cm

Mensola destra in fondazione

Larghezza	: 60 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)

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)

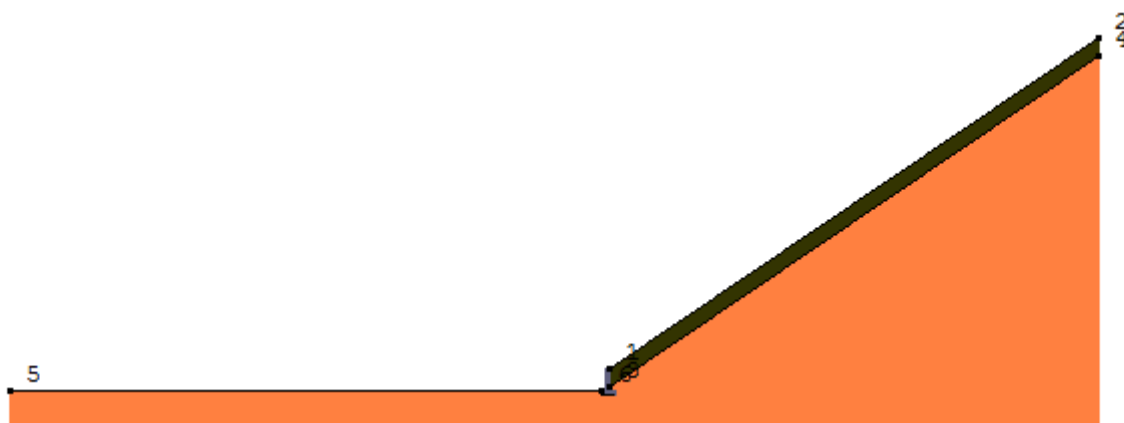
G: Modulo elastico tangenziale del terreno (daN/cm²)

Perm: Permeabilità del terreno (cm/sec)

N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	AI	OCR	Ko	E	G	Perm
1	Terreno Carrareccia	1900	1900	30,00	0,160	0,000	0,00	1,00	1,00	0,50	410	150	3,30E-01
2	Tout Venant	1700	1700	35,00	0,000	0,000	20,00	1,00	1,00	0,43	300	115	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: Tout Venant

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	15	175
2	2	3932	2817

Strato n.2, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	15	25
2	4	3932	2667

Strato n.3, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	5	-4770	0
2	6	-45	0

Strato n.4, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-45	-40
2	-	-15	-40
3	-	15	-40
4	-	75	-40

6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche

Metodo di calcolo della spinta del terreno : Mononobe-Okabe
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: Cagliari, Orroli

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: 0.05 g

Categoria del suolo di fondazione: B

Coefficiente di amplificazione stratigrafica: 1.5

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 trascurato.

6.1 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.

6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte

La teoria di Mononobe-Okabe fa uso del *metodo dell'equilibrio limite* e può essere considerata una estensione del metodo di Coulomb, in cui alle usuali spinte al contorno del cuneo instabile di terreno vengono sommate anche le azioni inerziali orizzontali e verticali dovute all'accelerazione delle masse.

Le ipotesi che stanno alla base del metodo sono quindi:

1. Terreno isotropo, omogeneo e dotato di attrito e/o coesione.
2. Terreno che, a causa degli spostamenti del muro, si trova in uno stato di equilibrio plastico.
3. Superficie di rottura piana.
4. Superficie superiore del cuneo anche inclinata ma di forma piana.
5. La resistenza per attrito e per coesione si sviluppa uniformemente lungo la superficie di rottura.
6. Può esistere attrito tra paramento del muro e terreno, che si sviluppa al primo spostamento del muro.
7. Il paramento del muro può essere inclinato ma non spezzato in più parti.
8. L'effetto delle accelerazioni k_h e k_v viene intrinsecamente considerato nel baricentro del cuneo instabile.

Le spinte Attiva e Passiva si calcolano come:

$$P_{a/p} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot (1 - k_v) \cdot K_{a/p}$$

il coefficiente $K_{a/p}$ viene calcolato utilizzando la formulazione di Mononobe-Okabe proposta nell'ordinanza 3274 e successiva correzione 3316, in cui i simboli usati sono:

ϕ = angolo di attrito interno del terreno.

ψ = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete interessata del muro.

β = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno.

δ = angolo di attrito terreno-muro.

θ = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Il coefficiente per stati di spinta attiva si divide in due casi:

$$\beta \leq \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

Il coefficiente per stati di spinta passiva è invece:

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \theta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi) \cdot \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

Nel caso di accelerazione sismica solo orizzontale l'angolo θ è unico e la spinta attiva e passiva risulta univocamente determinata; viceversa le formule forniscono due distinti valori, che corrispondono alla presenza di accelerazione sismica verticale verso l'alto e verso il basso.

6.3 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:

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \phi; & N_q &= \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg} \phi)}; & N_\gamma &= 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \phi \\ s_c &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}; & s'_c &= 0.2 \cdot \frac{B}{L}; & s_q &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \text{tg} \phi; & s_\gamma &= 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \\ d_c &= 1 + 0.4 \cdot k; & d'_c &= 0.4 \cdot k; & d_q &= 1 + 2 \cdot k \cdot \text{tg} \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2; & d_\gamma &= 1 \\ i_c &= i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}; & i'_c &= 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{B \cdot L \cdot c_a}}; & i_q &= \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5; \\ i_\gamma &= \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta=0); & i_\gamma &= \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ) \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta>0) \\ g_c &= 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g'_c &= \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g_q &= (1 - 0.5 \cdot \text{tg} \beta)^5; & g_\gamma &= g_q \\ b_c &= 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b'_c &= \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b_q &= e^{(-2 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}; & b_\gamma &= e^{(-2.7 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)} \end{aligned}$$

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

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 .

7 Distribuzioni di spinte e pressioni

7.1 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	15	15	175	25	1	EQU-1	0.79
2	15	15	25	0	1	EQU-1	0.82
1	15	15	175	25	2	EQU-2	0.79
2	15	15	25	0	2	EQU-2	0.82
1	15	15	175	25	3	EQU-3	0.88
2	15	15	25	0	3	EQU-3	0.88
1	15	15	175	25	4	STR-1	0.55
2	15	15	25	0	4	STR-1	0.75
1	15	15	175	25	5	STR-2	0.55
2	15	15	25	0	5	STR-2	0.75
1	15	15	175	25	6	GEO-1	0.79
2	15	15	25	0	6	GEO-1	0.82
1	15	15	175	25	7	SIS-1	0.65
2	15	15	25	0	7	SIS-1	0.76
1	15	15	175	25	8	SIS-2	0.81
2	15	15	25	0	8	SIS-2	0.83
1	15	15	175	25	9	SLE-1	0.55
2	15	15	25	0	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a monte							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_a
1	75	75	215	65	1	EQU-1	0.79
2	75	75	65	-40	1	EQU-1	0.82
1	75	75	215	65	2	EQU-2	0.79
2	75	75	65	-40	2	EQU-2	0.82
1	75	75	215	65	3	EQU-3	0.88
2	75	75	65	-40	3	EQU-3	0.88
1	75	75	215	65	4	STR-1	0.55
2	75	75	65	-40	4	STR-1	0.75
1	75	75	215	65	5	STR-2	0.55
2	75	75	65	-40	5	STR-2	0.75
1	75	75	215	65	6	GEO-1	0.79
2	75	75	65	-40	6	GEO-1	0.82

1	75	75	215	65	7	SIS-1	0.65
2	75	75	65	-40	7	SIS-1	0.76
1	75	75	215	65	8	SIS-2	0.81
2	75	75	65	-40	8	SIS-2	0.83
1	75	75	215	65	9	SLE-1	0.55
2	75	75	65	-40	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a valle							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K _p
1	45	45	0	-40	1	EQU-1	2.44
1	45	45	0	-40	2	EQU-2	2.44
1	45	45	0	-40	3	EQU-3	2.32
1	45	45	0	-40	4	STR-1	3
1	45	45	0	-40	5	STR-2	3
1	45	45	0	-40	6	GEO-1	2.44
1	45	45	0	-40	7	SIS-1	2.98
1	45	45	0	-40	8	SIS-2	2.42
1	45	45	0	-40	9	SLE-1	3

7.2 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.

7.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	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	15	175	15	165	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	165	15	155	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	15	155	15	145	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	15	145	15	135	-0.03	-0.01	-0.05	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.05	-0.01
5	15	135	15	125	-0.05	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.01	-0.06	-0.02
6	15	125	15	115	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
7	15	115	15	105	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02
8	15	105	15	95	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03
9	15	95	15	85	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03
10	15	85	15	75	-0.1	-0.03	-0.12	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.12	-0.03
11	15	75	15	65	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04
12	15	65	15	55	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
13	15	55	15	45	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04
14	15	45	15	35	-0.15	-0.04	-0.16	-0.05	0	0	0	0	-0.15	-0.04	-0.16	-0.05
15	15	35	15	25	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05
16	15	25	15	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	15	17	15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	15	8	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	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	15	175	15	165	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	165	15	155	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	15	155	15	145	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	15	145	15	135	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02
5	15	135	15	125	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
6	15	125	15	115	-0.07	-0.02	-0.09	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.09	-0.02
7	15	115	15	105	-0.09	-0.02	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.02	-0.1	-0.03
8	15	105	15	95	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03
9	15	95	15	85	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04
10	15	85	15	75	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
11	15	75	15	65	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05
12	15	65	15	55	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05
13	15	55	15	45	-0.17	-0.05	-0.19	-0.05	0	0	0	0	-0.17	-0.05	-0.19	-0.05
14	15	45	15	35	-0.19	-0.05	-0.2	-0.06	0	0	0	0	-0.19	-0.05	-0.2	-0.06
15	15	35	15	25	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06	0	0	0	0	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06
16	15	25	15	17	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
17	15	17	15	8	-0.01	0	-0.03	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	0
18	15	8	15	0	-0.03	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.03	0	-0.04	0

7.2.3 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-3

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	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	15	175	15	165	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	165	15	155	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	15	155	15	145	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	15	145	15	135	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02
5	15	135	15	125	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
6	15	125	15	115	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02
7	15	115	15	105	-0.08	-0.02	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.1	-0.03
8	15	105	15	95	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03
9	15	95	15	85	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04
10	15	85	15	75	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
11	15	75	15	65	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04
12	15	65	15	55	-0.15	-0.04	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.15	-0.04	-0.17	-0.05
13	15	55	15	45	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05	0	0	0	0	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05
14	15	45	15	35	-0.18	-0.05	-0.2	-0.06	0	0	0	0	-0.18	-0.05	-0.2	-0.06
15	15	35	15	25	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06	0	0	0	0	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06
16	15	25	15	17	-0.02	0	-0.02	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.02	0
17	15	17	15	8	-0.02	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.02	0	-0.02	-0.01

7																
1	15	8	15	0	-0.02	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.04	-0.01
8																

7.2.4 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	15	175	15	165	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	165	15	155	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	15	155	15	145	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	15	145	15	135	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
5	15	135	15	125	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02
6	15	125	15	115	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02
7	15	115	15	105	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
8	15	105	15	95	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03
9	15	95	15	85	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03
10	15	85	15	75	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
11	15	75	15	65	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04
12	15	65	15	55	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04
13	15	55	15	45	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04
14	15	45	15	35	-0.12	-0.04	-0.12	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.12	-0.05
15	15	35	15	25	-0.12	-0.05	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.05	-0.13	-0.05
16	15	25	15	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	15	17	15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	15	8	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.2.5 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	15	175	15	165	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	165	15	155	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	15	155	15	145	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	15	145	15	135	-0.03	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.05	-0.02
5	15	135	15	125	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
6	15	125	15	115	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03
7	15	115	15	105	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03
8	15	105	15	95	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
9	15	95	15	85	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04
10	15	85	15	75	-0.1	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.12	-0.04
11	15	75	15	65	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05
12	15	65	15	55	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05
13	15	55	15	45	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05
14	15	45	15	35	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06
15	15	35	15	25	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06	0	0	0	0	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06

5																
1	15	25	15	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6																
1	15	17	15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7																
1	15	8	15	0	0	0	-0.02	0	0	0	0	0	0	0	-0.02	0
8																

7.2.6 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	15	175	15	165	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	165	15	155	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	15	155	15	145	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	15	145	15	135	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02
5	15	135	15	125	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
6	15	125	15	115	-0.06	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.08	-0.02
7	15	115	15	105	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03
8	15	105	15	95	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03
9	15	95	15	85	-0.1	-0.03	-0.12	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.12	-0.03
10	15	85	15	75	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04
11	15	75	15	65	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
12	15	65	15	55	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05
13	15	55	15	45	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05
14	15	45	15	35	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05	0	0	0	0	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05
15	15	35	15	25	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06	0	0	0	0	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06
16	15	25	15	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	15	17	15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	15	8	15	0	0	0	-0.02	0	0	0	0	0	0	0	-0.02	0

7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-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	15	175	15	165	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	165	15	155	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	15	155	15	145	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	15	145	15	135	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
5	15	135	15	125	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02
6	15	125	15	115	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
7	15	115	15	105	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03
8	15	105	15	95	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03
9	15	95	15	85	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
10	15	85	15	75	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04
11	15	75	15	65	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04
12	15	65	15	55	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04
13	15	55	15	45	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05

3																
1	15	45	15	35	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05
4																
1	15	35	15	25	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05
5																
1	15	25	15	17	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01
6																
1	15	17	15	8	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01
7																
1	15	8	15	0	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01
8																

7.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-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	15	175	15	165	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	165	15	155	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	15	155	15	145	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	15	145	15	135	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02
5	15	135	15	125	-0.05	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.07	-0.02
6	15	125	15	115	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02
7	15	115	15	105	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03
8	15	105	15	95	-0.09	-0.03	-0.11	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.11	-0.03
9	15	95	15	85	-0.11	-0.03	-0.12	-0.03	0	0	0	0	-0.11	-0.03	-0.12	-0.03
10	15	85	15	75	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04
11	15	75	15	65	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
12	15	65	15	55	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05
13	15	55	15	45	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05
14	15	45	15	35	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05	0	0	0	0	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05
15	15	35	15	25	-0.18	-0.05	-0.2	-0.06	0	0	0	0	-0.18	-0.05	-0.2	-0.06
16	15	25	15	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	15	17	15	8	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
18	15	8	15	0	-0.01	0	-0.02	0	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	0

7.2.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-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	15	175	15	165	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	165	15	155	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	15	155	15	145	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	15	145	15	135	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
5	15	135	15	125	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02
6	15	125	15	115	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02
7	15	115	15	105	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
8	15	105	15	95	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03
9	15	95	15	85	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03
10	15	85	15	75	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
11	15	75	15	65	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04

1																
1	15	65	15	55	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04
2																
1	15	55	15	45	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04
3																
1	15	45	15	35	-0.12	-0.04	-0.12	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.12	-0.05
4																
1	15	35	15	25	-0.12	-0.05	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.05	-0.13	-0.05
5																
1	15	25	15	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6																
1	15	17	15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7																
1	15	8	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8																

8 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.

8.1 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	0	0	0
EQU	A3	M2	R0	2	EQU-2	1.1	0	0	0
EQU	A0	M2	R0	3	EQU-3	1	0	1	0
STR	A1	M1	R1	1	STR-1	1	0	0	0
STR	A1	M1	R1	2	STR-2	1.3	0	0	0
GEO	A2	M2	R2	1	GEO-1	1	0	0	0
SIS	A0	M1	R1	1	SIS-1	1	0	1	0
SIS	A0	M2	R2	2	SIS-2	1	0	1	0
SLE	A0	M0	R0	1	SLE-1	1	0	0	0

8.1.1 Combinazione di carico EQU-1

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	7	36	0	-22.61
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	96	0	-18.41
Spinta del terreno a monte	75	85	-17.05	-3.81
Spinta del terreno a valle	0	-21	19.35	0

8.1.2 Combinazione di carico EQU-2

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	7	36	0	-27.64
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	96	0	-22.5

Spinta del terreno a monte	75	71	-25.47	-4.66
Spinta del terreno a valle	0	-21	20.1	0

8.1.3 Combinazione di carico EQU-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	7	36	0	-25.13
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	96	0	-20.46
Spinta del terreno a monte	75	73	-23.92	-4.71
Spinta del terreno a valle	0	-21	19.14	0
Forza di inerzia dovuta al muro	7	36	-1.88	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	46	96	-1.53	0

8.1.4 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	7	36	0	-25.13
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	96	0	-20.46
Spinta del terreno a monte	75	97	-11.42	-3.62
Spinta del terreno a valle	0	-21	26.73	0

8.1.5 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	7	36	0	-32.66
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	96	0	-26.59
Spinta del terreno a monte	75	69	-20.48	-4.71
Spinta del terreno a valle	0	-21	28.1	0

8.1.6 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	7	36	0	-25.13
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	96	0	-20.46
Spinta del terreno a monte	75	77	-21.1	-4.24
Spinta del terreno a valle	0	-21	19.72	0

8.1.7 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	7	36	0	-25.13
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	96	0	-20.46
Spinta del terreno a monte	75	90	-13.18	-4.22
Spinta del terreno a valle	0	-21	26.61	0
Forza di inerzia dovuta al muro	7	36	-0.34	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	46	96	-0.28	0

8.1.8 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	7	36	0	-25.13
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	96	0	-20.46

Spinta del terreno a monte	75	76	-21.59	-4.32
Spinta del terreno a valle	0	-21	19.62	0
Forza di inerzia dovuta al muro	7	36	-0.34	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	46	96	-0.28	0

9 Verifiche di stabilità locale

9.1 Tensioni trasmesse sul terreno

Moltiplicatore spinta passiva per equilibrio	: 1
Pressione limite sul terreno per abbassamento	: 2 daN/cm ²
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	: 30.1 cm (comb. SIS-2)
Momento rispetto al baricentro della fondazione	: 1501 daN cm (comb. SIS-2)
Larghezza reagente minima in fondazione	: 90 cm (comb. SIS-2)
Tensione max sul terreno allo spigolo di valle	: 1.11 daN/cm ² (comb. SIS-2)
Tensione max sul terreno allo spigolo di monte	: 0.24 daN/cm ² (comb. STR-1)

9.2 Verifica allo scorrimento (traslazione del muro)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2	
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)	
Moltiplicatore spinta passiva per traslazione	: 0
Coefficiente di attrito caratteristico terreno-fondazione	: 0.36
Coefficiente di attrito di progetto terreno-fondazione	: 0.29
Adesione di progetto terreno-fondazione	: 0.128 daN/cm ²
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	: 50 daN
Sforzo tangenziale positivo all'intradosso della fondazione	: 0 daN
Sforzo tangenziale negativo all'intradosso della fondazione	: 22 daN
Coefficiente limite verifica alla traslazione	: 1
Coefficiente di sicurezza alla traslazione	: 1.35

9.3 Verifica a ribaltamento (come equilibrio del corpo rigido)

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: EQU-3	
Moltiplicatore spinta passiva per ribaltamento	: 0
Momento ribaltante rispetto allo spigolo di valle	: 2492 daN cm
Momento stabilizzante rispetto a spigolo di valle	: -3175 daN cm
Coefficiente limite verifica al ribaltamento	: 1
Coefficiente di sicurezza al ribaltamento	: 1.27

9.4 Verifica di capacità portante del suolo

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-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	: 0.076 daN/cm ²
Coesione di progetto del suolo di fondazione	: 0.128 daN/cm ²
Angolo di attrito di progetto del suolo di fondazione	: 24.8 °
Peso specifico di progetto del suolo di fondazione	: 0.0019 daN/cm ³
Inclinazione della risultante rispetto alla normale	: 24 °
Base efficace	: 45 cm
Carico tangenziale al piano di posa	: 22.2 daN/cm
Carico di progetto della fondazione (normale al P.P.)	: 49.9 daN/cm
Carico ultimo della fondazione	: 59.1 daN/cm
Lunghezza Fondazione per verifica carico limite	: 1000 cm
Coefficiente limite verifica al carico limite	: 1
Coefficiente di sicurezza al carico limite	: 1.18

Tabella dei coefficienti di capacità portante

Coefficienti	Coesione	Sovraccarico	Attrito
Coefficienti di capacità portante	N _c = 20	N _q = 10	N _γ = 7

Coefficienti di forma	$s_c = 1$	$s_g = 1$	$s_g = 1$
Coefficienti di profondità	$d_c = 1.13$	$d_g = 1.1$	$d_g = 1$
Coefficienti di inclinazione del carico	$i_c = 0.31$	$i_g = 0.38$	$i_g = 0.24$
Coefficienti di inclinazione del piano di posa della fondazione	$b_c = 1$	$b_g = 1$	$b_g = 1$
Coefficienti di inclinazione del pendio	$g_c = 1$	$g_g = 1$	$g_g = 1$

10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2

Metodo di analisi di stabilità del pendio	: Bishop
Passo dei conci	: 100 cm
Coefficiente di stabilità globale pendio	: 4.09
Coefficiente limite suggerito dalla normativa	: 1.1
X centro della superficie critica	: -409 cm
Y centro della superficie critica	: 619 cm
Raggio della superficie critica	: 818 cm
Forza di bilancio	: 271.92 daN/cm
Volume spostato dalla superficie critica	: 21.7 m ³ /m
Peso spostato dalla superficie critica	: 40832 daN/m

11 Parametri per dimensionamento armatura

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

Rck (resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo)	: 370 daN/cm ²
Modulo elastico longitudinale Ec	: 330194 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

12 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_i : combinazione di carico critica per la verifica di fessurazione
 M_i : momento di calcolo per la verifica di fessurazione
 N_i : sforzo normale di calcolo per la verifica di fessurazione
 S_{rm} : interasse delle fessure
 W_k : ampiezza caratteristica delle fessure
 v_i : 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_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	30	6.2	3.7	6.2	3.7	ok	SIS-2	106047	-1745	788049	-12964	7.43	ok
0	25	30	6.2	3.7	6.2	3.7	ok	SIS-2	68583	-1555	873111	-19794	12.7	ok
0	55	30	10.4	3.7	10.4	3.7	ok	SIS-2	34435	-1175	1683876	-57463	48.9	ok
0	85	30	6.2	3.7	6.2	3.7	ok	SIS-2	14050	-830	1828326	-107978	130	ok
0	115	30	6.2	3.7	6.2	3.7	ok	SIS-2	3880	-519	2315341	-309587	597	ok
0	145	30	6.2	3.7	6.2	3.7	ok	STR-2	235	-311	408076	-540437	>999	ok

X	Y	H	c_{es}	M_e	N_e	σ_f	σ_c	v_{es}	c_i	M_i	N_i	S_{rm}	W_k	v_i
cm	cm	cm		daN cm	daN	daN/cm ²	daN/cm ²			daN cm	daN	cm	mm	
0	0	30	SLE-1	69224	-1675	333	-9	ok	SLE-1	69224	-1675	-	-	ok
0	25	30	SLE-1	44340	-1487	182	-6	ok	SLE-1	44340	-1487	-	-	ok
0	55	30	SLE-1	22006	-1132	41	-2	ok	SLE-1	22006	-1132	-	-	ok
0	85	30	SLE-1	8795	-805	8	-1	ok	SLE-1	8795	-805	-	-	ok
0	115	30	SLE-1	2316	-508	0	0	ok	SLE-1	2316	-508	-	-	ok
0	145	30	SLE-1	181	-239	0	0	ok	SLE-1	181	-239	-	-	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	30	SIS-2	-1514	13295	-	-	ok
0	25	30	SIS-2	-1493	13270	-	-	ok
0	55	30	SIS-2	-958	13740	-	-	ok
0	85	30	SIS-2	-541	13175	-	-	ok
0	115	30	SIS-2	-243	13134	-	-	ok
0	145	30	SIS-2	-62	13098	-	-	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		
-15	-20	40	12.3	3.7	12.3	3.7	ok	SIS-2	37560	-1958	4766848	-248523	127	ok

X	Y	H	c_{es}	M_e	N_e	σ_f	σ_c	v_{es}	c_i	M_i	N_i	S_{rm}	W_k	v_i
cm	cm	cm		daN cm	daN	daN/cm ²	daN/cm ²			daN cm	daN	cm	mm	
-15	-20	40	SLE-1	17296	-2673	0	-1	ok	SLE-1	17296	-2673	-	-	ok

X	Y	H	c_t	V_{Sd}	VR_{dc}	VR_{dmax}	VR_{ds}	v_t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
-15	-20	40	SIS-2	-1514	13295	-	-	ok

-15	-20	40	SIS-2	2479	16842	-	-	ok
-----	-----	----	-------	------	-------	---	---	----

Mensola di fondazione a monte (mensola destra) (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		
15	-20	40	12.3	3.7	12	3.7	ok	SIS-2	-77226	-469	-1861744	-11300	24.1	ok
45	-20	40	12.3	3.7	6.2	3.7	ok	GEO-1	-21797	-446	-2512396	-51452	115	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	
15	-20	40	SLE-1	-29059	-144	66	-2	ok	SLE-1	-29059	-144	-	-	ok
45	-20	40	SLE-1	-9688	-144	18	-1	ok	SLE-1	-9688	-144	-	-	ok

X	Y	H	C _t	V _{Sd}	V _{Rdc}	V _{Rdmax}	V _{Rds}	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
15	-20	40	SIS-2	-2100	16639	-	-	ok
45	-20	40	SIS-2	-1383	16639	-	-	ok

Relazione di calcolo muro di sottoscarpa – h = 2,55 m

Indice generale

<u>1 Descrizione del software</u>	2
<u>2 Normative di riferimento</u>	2
<u>3 Geometria del muro</u>	3
<u>3.1 Sistema di riferimento</u>	3
<u>3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale</u>	4
<u>3.3 Rappresentazione analitica</u>	4
<u>4 Caratteristiche dei terreni</u>	5
<u>5 Geometria degli strati</u>	5
<u>6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche</u>	6
<u>6.1 Descrizione della normativa sismica</u>	6
<u>6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte</u>	8
<u>6.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza</u>	9
<u>7 Distribuzioni di spinte e pressioni</u>	10
<u>7.1 Coefficienti di spinta</u>	10
<u>7.2 Pressioni</u>	11
<u>7.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1</u>	11
<u>7.2.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2</u>	12
<u>7.2.3 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-3</u>	12
<u>7.2.4 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-1</u>	13
<u>7.2.5 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-2</u>	14
<u>7.2.6 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-1</u>	14
<u>7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-1</u>	15
<u>7.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-2</u>	16
<u>7.2.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-1</u>	17
<u>8 Risultante delle azioni agenti sul muro</u>	17
<u>8.1 Combinazioni di calcolo</u>	17
<u>8.1.1 Combinazione di carico EQU-1</u>	18
<u>8.1.2 Combinazione di carico EQU-2</u>	18
<u>8.1.3 Combinazione di carico EQU-3</u>	18
<u>8.1.4 Combinazione di carico STR-1</u>	18
<u>8.1.5 Combinazione di carico STR-2</u>	18
<u>8.1.6 Combinazione di carico GEO-1</u>	19
<u>8.1.7 Combinazione di carico SIS-1</u>	19
<u>8.1.8 Combinazione di carico SIS-2</u>	19
<u>9 Verifiche di stabilità locale</u>	19
<u>10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio</u>	19
<u>11 Parametri per dimensionamento armatura</u>	19
<u>12 Sollecitazioni e verifiche strutturali</u>	20
<u>13 Dimensionamento pali</u>	21
<u>13.1 Fila di pali n.1</u>	22
<u>13.2 Fila di pali n.2</u>	23

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: 7.11

Identificatore licenza: WW-3811560

Intestatario della licenza: MOSSONE ING. PIETRO PAOLO - VIA S'ARRULLONI, 5 - CAGLIARI

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)

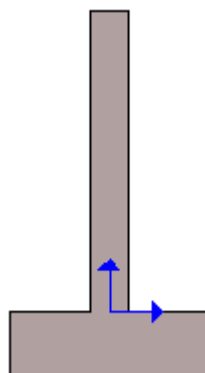
Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 (NTC 2008)

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

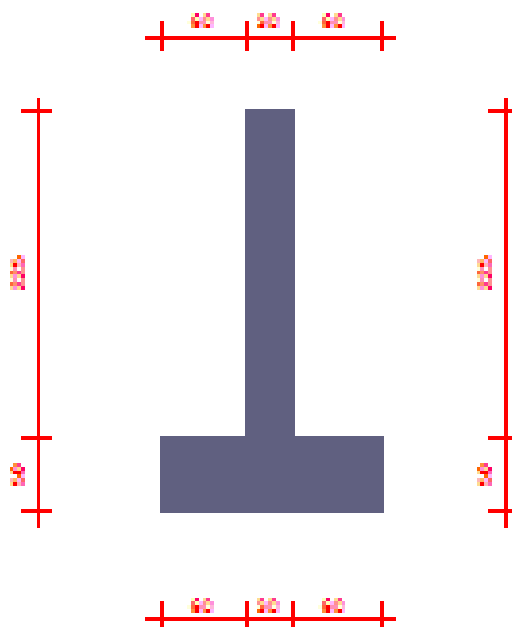
Ordinate Y (esprese in centimetri) positive verso l'alto

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	: 150 cm
Altezza totale del muro	: 275 cm
Peso specifico del muro	: 2500 daN/m ³
Peso specifico delle falde	: 1000 daN/m ³

Paramento

Base inf.	: 30 cm
Base sup.	: 30 cm
Altezza	: 225 cm
Disassamento	: 0 cm

Mensola sinistra in fondazione

Larghezza	: 60 cm
Alt.interna	: 50 cm
Alt.esterna	: 50 cm
Disassamento	: 0 cm

Zoccolo centrale in fondazione

Larghezza	: 30 cm
Altezza a sx	: 50 cm
Altezza a dx	: 50 cm
Sfalsamento	: 0 cm

Mensola destra in fondazione

Larghezza	: 60 cm
Alt.interna	: 50 cm
Alt.esterna	: 50 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)

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)

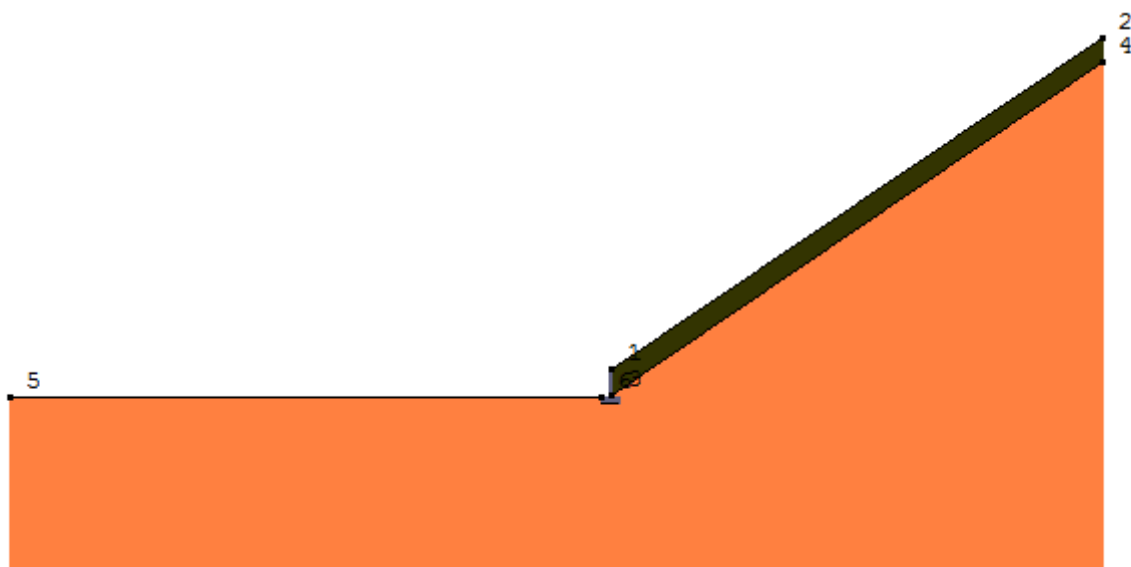
G: Modulo elastico tangenziale del terreno (daN/cm2)

Perm: Permeabilità del terreno (cm/sec)

N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	AI	OCR	Ko	E	G	Perm
1	Terreno Carrareccia	1900	1900	30,00	0,160	0,000	0,00	1,00	1,00	0,50	410	150	3,30E-01
2	Tout Venant	1700	1700	35,00	0,000	0,000	20,00	1,00	1,00	0,43	300	115	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: Tout Venant

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	15	225
2	2	4057	2951

Strato n.2, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	15	25
2	4	4057	2751

Strato n.3, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	5	-4950	0
2	6	-75	0

Strato n.4, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-75	-50
2	-	-15	-50
3	-	15	-50
4	-	75	-50

6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche

Metodo di calcolo della spinta del terreno : Mononobe-Okabe
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: Cagliari, Orroli

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: 0.05 g

Categoria del suolo di fondazione: B

Coefficiente di amplificazione stratigrafica: 1.5

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 trascurato.

6.1 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.

6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte

La teoria di Mononobe-Okabe fa uso del *metodo dell'equilibrio limite* e può essere considerata una estensione del metodo di Coulomb, in cui alle usuali spinte al contorno del cuneo instabile di terreno vengono sommate anche le azioni inerziali orizzontali e verticali dovute all'accelerazione delle masse.

Le ipotesi che stanno alla base del metodo sono quindi:

1. Terreno isotropo, omogeneo e dotato di attrito e/o coesione.
2. Terreno che, a causa degli spostamenti del muro, si trova in uno stato di equilibrio plastico.
3. Superficie di rottura piana.
4. Superficie superiore del cuneo anche inclinata ma di forma piana.
5. La resistenza per attrito e per coesione si sviluppa uniformemente lungo la superficie di rottura.
6. Può esistere attrito tra paramento del muro e terreno, che si sviluppa al primo spostamento del muro.
7. Il paramento del muro può essere inclinato ma non spezzato in più parti.
8. L'effetto delle accelerazioni k_h e k_v viene intrinsecamente considerato nel baricentro del cuneo instabile.

Le spinte Attiva e Passiva si calcolano come:

$$P_{a/p} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot (1 - k_v) \cdot K_{a/p}$$

il coefficiente $K_{a/p}$ viene calcolato utilizzando la formulazione di Mononobe-Okabe proposta nell'ordinanza 3274 e successiva correzione 3316, in cui i simboli usati sono:

ϕ = angolo di attrito interno del terreno.

ψ = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete interessata del muro.

β = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno.

δ = angolo di attrito terreno-muro.

θ = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Il coefficiente per stati di spinta attiva si divide in due casi:

$$\beta \leq \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

Il coefficiente per stati di spinta passiva è invece:

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \theta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi) \cdot \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

Nel caso di accelerazione sismica solo orizzontale l'angolo θ è unico e la spinta attiva e passiva risulta univocamente determinata; viceversa le formule forniscono due distinti valori, che corrispondono alla presenza di accelerazione sismica verticale verso l'alto e verso il basso.

6.3 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:

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \phi; & N_q &= \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg} \phi)}; & N_\gamma &= 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \phi \\ s_c &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}; & s'_c &= 0.2 \cdot \frac{B}{L}; & s_q &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \text{tg} \phi; & s_\gamma &= 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \\ d_c &= 1 + 0.4 \cdot k; & d'_c &= 0.4 \cdot k; & d_q &= 1 + 2 \cdot k \cdot \text{tg} \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2; & d_\gamma &= 1 \\ i_c &= i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}; & i'_c &= 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{B \cdot L \cdot c_a}}; & i_q &= \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5; \\ i_\gamma &= \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta=0); & i_\gamma &= \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ) \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta>0) \\ g_c &= 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g'_c &= \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g_q &= (1 - 0.5 \cdot \text{tg} \beta)^5; & g_\gamma &= g_q \\ b_c &= 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b'_c &= \frac{\eta^\circ}{147^\circ}; & b_q &= e^{(-2 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}; & b_\gamma &= e^{(-2.7 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)} \end{aligned}$$

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

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 .

7 Distribuzioni di spinte e pressioni

7.1 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	15	15	225	25	1	EQU-1	0.79
2	15	15	25	0	1	EQU-1	0.82
1	15	15	225	25	2	EQU-2	0.79
2	15	15	25	0	2	EQU-2	0.82
1	15	15	225	25	3	EQU-3	0.88
2	15	15	25	0	3	EQU-3	0.88
1	15	15	225	25	4	STR-1	0.55
2	15	15	25	0	4	STR-1	0.75
1	15	15	225	25	5	STR-2	0.55
2	15	15	25	0	5	STR-2	0.75
1	15	15	225	25	6	GEO-1	0.79
2	15	15	25	0	6	GEO-1	0.82
1	15	15	225	25	7	SIS-1	0.65
2	15	15	25	0	7	SIS-1	0.76
1	15	15	225	25	8	SIS-2	0.81
2	15	15	25	0	8	SIS-2	0.83
1	15	15	225	25	9	SLE-1	0.55
2	15	15	25	0	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a monte							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K_a
1	75	75	265	65	1	EQU-1	0.79
2	75	75	65	-50	1	EQU-1	0.82
1	75	75	265	65	2	EQU-2	0.79
2	75	75	65	-50	2	EQU-2	0.82
1	75	75	265	65	3	EQU-3	0.88
2	75	75	65	-50	3	EQU-3	0.88
1	75	75	265	65	4	STR-1	0.55
2	75	75	65	-50	4	STR-1	0.75
1	75	75	265	65	5	STR-2	0.55
2	75	75	65	-50	5	STR-2	0.75
1	75	75	265	65	6	GEO-1	0.79
2	75	75	65	-50	6	GEO-1	0.82

1	75	75	265	65	7	SIS-1	0.65
2	75	75	65	-50	7	SIS-1	0.76
1	75	75	265	65	8	SIS-2	0.81
2	75	75	65	-50	8	SIS-2	0.83
1	75	75	265	65	9	SLE-1	0.55
2	75	75	65	-50	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a valle							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K _p
1	75	75	0	-50	1	EQU-1	2.44
1	75	75	0	-50	2	EQU-2	2.44
1	75	75	0	-50	3	EQU-3	2.32
1	75	75	0	-50	4	STR-1	3
1	75	75	0	-50	5	STR-2	3
1	75	75	0	-50	6	GEO-1	2.44
1	75	75	0	-50	7	SIS-1	2.98
1	75	75	0	-50	8	SIS-2	2.42
1	75	75	0	-50	9	SLE-1	3

7.2 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.

7.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	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	15	225	15	215	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	215	15	205	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	15	205	15	195	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	15	195	15	185	-0.03	-0.01	-0.05	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.05	-0.01
5	15	185	15	175	-0.05	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.01	-0.06	-0.02
6	15	175	15	165	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
7	15	165	15	155	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02
8	15	155	15	145	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03
9	15	145	15	135	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03
10	15	135	15	125	-0.1	-0.03	-0.12	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.12	-0.03
11	15	125	15	115	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04
12	15	115	15	105	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
13	15	105	15	95	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04
14	15	95	15	85	-0.15	-0.04	-0.16	-0.05	0	0	0	0	-0.15	-0.04	-0.16	-0.05
15	15	85	15	75	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05
16	15	75	15	65	-0.17	-0.05	-0.19	-0.05	0	0	0	0	-0.17	-0.05	-0.19	-0.05
17	15	65	15	55	-0.19	-0.05	-0.2	-0.06	0	0	0	0	-0.19	-0.05	-0.2	-0.06
18	15	55	15	45	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06	0	0	0	0	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06
19	15	45	15	35	-0.21	-0.06	-0.22	-0.06	0	0	0	0	-0.21	-0.06	-0.22	-0.06

20	15	35	15	25	-0.22	-0.06	-0.23	-0.07	0	0	0	0	-0.22	-0.06	-0.23	-0.07
21	15	25	15	17	-0.02	0	-0.03	0	0	0	0	0	-0.02	0	-0.03	0
22	15	17	15	8	-0.03	0	-0.04	0	0	0	0	0	-0.03	0	-0.04	0
23	15	8	15	0	-0.04	0	-0.06	0	0	0	0	0	-0.04	0	-0.06	0

7.2.2 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	15	225	15	215	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	215	15	205	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	15	205	15	195	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	15	195	15	185	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02
5	15	185	15	175	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
6	15	175	15	165	-0.07	-0.02	-0.09	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.09	-0.02
7	15	165	15	155	-0.09	-0.02	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.02	-0.1	-0.03
8	15	155	15	145	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03
9	15	145	15	135	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04
10	15	135	15	125	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
11	15	125	15	115	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05
12	15	115	15	105	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05
13	15	105	15	95	-0.17	-0.05	-0.19	-0.05	0	0	0	0	-0.17	-0.05	-0.19	-0.05
14	15	95	15	85	-0.19	-0.05	-0.2	-0.06	0	0	0	0	-0.19	-0.05	-0.2	-0.06
15	15	85	15	75	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06	0	0	0	0	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06
16	15	75	15	65	-0.21	-0.06	-0.23	-0.07	0	0	0	0	-0.21	-0.06	-0.23	-0.07
17	15	65	15	55	-0.23	-0.07	-0.24	-0.07	0	0	0	0	-0.23	-0.07	-0.24	-0.07
18	15	55	15	45	-0.24	-0.07	-0.26	-0.07	0	0	0	0	-0.24	-0.07	-0.26	-0.07
19	15	45	15	35	-0.26	-0.07	-0.27	-0.08	0	0	0	0	-0.26	-0.07	-0.27	-0.08
20	15	35	15	25	-0.27	-0.08	-0.28	-0.08	0	0	0	0	-0.27	-0.08	-0.28	-0.08
21	15	25	15	17	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	-0.08	0	-0.09	0
22	15	17	15	8	-0.09	0	-0.1	0	0	0	0	0	-0.09	0	-0.1	0
23	15	8	15	0	-0.1	0	-0.12	0	0	0	0	0	-0.1	0	-0.12	0

7.2.3 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	15	225	15	215	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	215	15	205	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	15	205	15	195	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	15	195	15	185	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02
5	15	185	15	175	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02

6	15	175	15	165	-0.07	-0.02	-0.09	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.09	-0.02
7	15	165	15	155	-0.09	-0.02	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.02	-0.1	-0.03
8	15	155	15	145	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03
9	15	145	15	135	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04
10	15	135	15	125	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
11	15	125	15	115	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05
12	15	115	15	105	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05
13	15	105	15	95	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05	0	0	0	0	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05
14	15	95	15	85	-0.18	-0.05	-0.2	-0.06	0	0	0	0	-0.18	-0.05	-0.2	-0.06
15	15	85	15	75	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06	0	0	0	0	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06
16	15	75	15	65	-0.21	-0.06	-0.23	-0.07	0	0	0	0	-0.21	-0.06	-0.23	-0.07
17	15	65	15	55	-0.23	-0.07	-0.24	-0.07	0	0	0	0	-0.23	-0.07	-0.24	-0.07
18	15	55	15	45	-0.24	-0.07	-0.26	-0.07	0	0	0	0	-0.24	-0.07	-0.26	-0.07
19	15	45	15	35	-0.26	-0.07	-0.27	-0.08	0	0	0	0	-0.26	-0.07	-0.27	-0.08
20	15	35	15	25	-0.27	-0.08	-0.28	-0.08	0	0	0	0	-0.27	-0.08	-0.28	-0.08
21	15	25	15	17	-0.07	-0.01	-0.09	-0.01	0	0	0	0	-0.07	-0.01	-0.09	-0.01
22	15	17	15	8	-0.09	-0.01	-0.1	-0.01	0	0	0	0	-0.09	-0.01	-0.1	-0.01
23	15	8	15	0	-0.1	-0.01	-0.12	-0.01	0	0	0	0	-0.1	-0.01	-0.12	-0.01

7.2.4 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	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	15	225	15	215	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	215	15	205	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	15	205	15	195	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	15	195	15	185	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
5	15	185	15	175	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02
6	15	175	15	165	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02
7	15	165	15	155	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
8	15	155	15	145	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03
9	15	145	15	135	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03
10	15	135	15	125	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
11	15	125	15	115	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04
12	15	115	15	105	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04
13	15	105	15	95	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04
14	15	95	15	85	-0.12	-0.04	-0.12	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.12	-0.05
15	15	85	15	75	-0.12	-0.05	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.05	-0.13	-0.05
16	15	75	15	65	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05
17	15	65	15	55	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05

7																
1	15	55	15	45	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06
8																
1	15	45	15	35	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06	0	0	0	0	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06
9																
2	15	35	15	25	-0.17	-0.06	-0.18	-0.06	0	0	0	0	-0.17	-0.06	-0.18	-0.06
0																
2	15	25	15	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1																
2	15	17	15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2																
3	15	8	15	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
3																

7.2.5 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	15	225	15	215	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	215	15	205	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	15	205	15	195	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	15	195	15	185	-0.03	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.05	-0.02
5	15	185	15	175	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
6	15	175	15	165	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03
7	15	165	15	155	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03
8	15	155	15	145	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
9	15	145	15	135	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04
10	15	135	15	125	-0.1	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.12	-0.04
11	15	125	15	115	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05
12	15	115	15	105	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05
13	15	105	15	95	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05
14	15	95	15	85	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06
15	15	85	15	75	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06	0	0	0	0	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06
16	15	75	15	65	-0.17	-0.06	-0.18	-0.07	0	0	0	0	-0.17	-0.06	-0.18	-0.07
17	15	65	15	55	-0.18	-0.07	-0.2	-0.07	0	0	0	0	-0.18	-0.07	-0.2	-0.07
18	15	55	15	45	-0.2	-0.07	-0.21	-0.08	0	0	0	0	-0.2	-0.07	-0.21	-0.08
19	15	45	15	35	-0.21	-0.08	-0.22	-0.08	0	0	0	0	-0.21	-0.08	-0.22	-0.08
20	15	35	15	25	-0.22	-0.08	-0.23	-0.08	0	0	0	0	-0.22	-0.08	-0.23	-0.08
21	15	25	15	17	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	-0.05	0	-0.07	0
22	15	17	15	8	-0.07	0	-0.09	0	0	0	0	0	-0.07	0	-0.09	0
23	15	8	15	0	-0.09	0	-0.1	0	0	0	0	0	-0.09	0	-0.1	0

7.2.6 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	15	225	15	215	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	215	15	205	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	15	205	15	195	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	15	195	15	185	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02
5	15	185	15	175	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
6	15	175	15	165	-0.06	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.08	-0.02
7	15	165	15	155	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03
8	15	155	15	145	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03
9	15	145	15	135	-0.1	-0.03	-0.12	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.12	-0.03
10	15	135	15	125	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04
11	15	125	15	115	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
12	15	115	15	105	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05
13	15	105	15	95	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05
14	15	95	15	85	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05	0	0	0	0	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05
15	15	85	15	75	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06	0	0	0	0	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06
16	15	75	15	65	-0.19	-0.06	-0.21	-0.06	0	0	0	0	-0.19	-0.06	-0.21	-0.06
17	15	65	15	55	-0.21	-0.06	-0.22	-0.06	0	0	0	0	-0.21	-0.06	-0.22	-0.06
18	15	55	15	45	-0.22	-0.06	-0.23	-0.07	0	0	0	0	-0.22	-0.06	-0.23	-0.07
19	15	45	15	35	-0.23	-0.07	-0.25	-0.07	0	0	0	0	-0.23	-0.07	-0.25	-0.07
20	15	35	15	25	-0.25	-0.07	-0.26	-0.08	0	0	0	0	-0.25	-0.07	-0.26	-0.08
21	15	25	15	17	-0.05	0	-0.06	0	0	0	0	0	-0.05	0	-0.06	0
22	15	17	15	8	-0.06	0	-0.07	0	0	0	0	0	-0.06	0	-0.07	0
23	15	8	15	0	-0.07	0	-0.09	0	0	0	0	0	-0.07	0	-0.09	0

7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-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	15	225	15	215	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	215	15	205	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	15	205	15	195	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	15	195	15	185	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
5	15	185	15	175	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02
6	15	175	15	165	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
7	15	165	15	155	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03
8	15	155	15	145	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03
9	15	145	15	135	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
10	15	135	15	125	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04
11	15	125	15	115	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04
12	15	115	15	105	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04
13	15	105	15	95	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05
14	15	95	15	85	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05

1 5	15	85	15	75	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05
1 6	15	75	15	65	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06
1 7	15	65	15	55	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06	0	0	0	0	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06
1 8	15	55	15	45	-0.17	-0.06	-0.18	-0.07	0	0	0	0	-0.17	-0.06	-0.18	-0.07
1 9	15	45	15	35	-0.18	-0.07	-0.19	-0.07	0	0	0	0	-0.18	-0.07	-0.19	-0.07
2 0	15	35	15	25	-0.19	-0.07	-0.2	-0.07	0	0	0	0	-0.19	-0.07	-0.2	-0.07
2 1	15	25	15	17	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01
2 2	15	17	15	8	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
2 3	15	8	15	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01

7.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-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	15	225	15	215	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	215	15	205	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	15	205	15	195	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	15	195	15	185	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02
5	15	185	15	175	-0.05	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.07	-0.02
6	15	175	15	165	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02
7	15	165	15	155	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03
8	15	155	15	145	-0.09	-0.03	-0.11	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.11	-0.03
9	15	145	15	135	-0.11	-0.03	-0.12	-0.03	0	0	0	0	-0.11	-0.03	-0.12	-0.03
1 0	15	135	15	125	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04
1 1	15	125	15	115	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
1 2	15	115	15	105	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.16	-0.05
1 3	15	105	15	95	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05
1 4	15	95	15	85	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05	0	0	0	0	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05
1 5	15	85	15	75	-0.18	-0.05	-0.2	-0.06	0	0	0	0	-0.18	-0.05	-0.2	-0.06
1 6	15	75	15	65	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06	0	0	0	0	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06
1 7	15	65	15	55	-0.21	-0.06	-0.22	-0.07	0	0	0	0	-0.21	-0.06	-0.22	-0.07
1 8	15	55	15	45	-0.22	-0.07	-0.24	-0.07	0	0	0	0	-0.22	-0.07	-0.24	-0.07
1 9	15	45	15	35	-0.24	-0.07	-0.25	-0.07	0	0	0	0	-0.24	-0.07	-0.25	-0.07
2 0	15	35	15	25	-0.25	-0.07	-0.26	-0.08	0	0	0	0	-0.25	-0.07	-0.26	-0.08
2 1	15	25	15	17	-0.05	0	-0.07	0	0	0	0	0	-0.05	0	-0.07	0
2 2	15	17	15	8	-0.07	0	-0.08	0	0	0	0	0	-0.07	0	-0.08	0
2 3	15	8	15	0	-0.08	0	-0.09	0	0	0	0	0	-0.08	0	-0.09	0

7.2.9 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	15	225	15	215	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	15	215	15	205	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	15	205	15	195	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	15	195	15	185	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
5	15	185	15	175	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.04	-0.02
6	15	175	15	165	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02
7	15	165	15	155	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
8	15	155	15	145	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03
9	15	145	15	135	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03
10	15	135	15	125	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
11	15	125	15	115	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04
12	15	115	15	105	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04
13	15	105	15	95	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04
14	15	95	15	85	-0.12	-0.04	-0.12	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.12	-0.05
15	15	85	15	75	-0.12	-0.05	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.05	-0.13	-0.05
16	15	75	15	65	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05
17	15	65	15	55	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05
18	15	55	15	45	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06
19	15	45	15	35	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06	0	0	0	0	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06
20	15	35	15	25	-0.17	-0.06	-0.18	-0.06	0	0	0	0	-0.17	-0.06	-0.18	-0.06
21	15	25	15	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	15	17	15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	15	8	15	0	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0

8 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.

8.1 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	0	0	0
EQU	A3	M2	R0	2	EQU-2	1.1	0	0	0
EQU	A0	M2	R0	3	EQU-3	1	0	1	0
STR	A1	M1	R1	1	STR-1	1	0	0	0
STR	A1	M1	R1	2	STR-2	1.3	0	0	0
GEO	A2	M2	R2	1	GEO-1	1	0	0	0
SIS	A0	M1	R1	1	SIS-1	1	0	1	0
SIS	A0	M2	R2	2	SIS-2	1	0	1	0
SLE	A0	M0	R0	1	SLE-1	1	0	0	0

8.1.1 Combinazione di carico EQU-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	40	0	-32.06
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	121	0	-23
Spinta del terreno a monte	75	85	-34.97	-6.78
Spinta del terreno a valle	0	-27	25.24	0

8.1.2 Combinazione di carico EQU-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	40	0	-39.19
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	121	0	-28.11
Spinta del terreno a monte	75	76	-48.71	-8.29
Spinta del terreno a valle	0	-27	26.4	0

8.1.3 Combinazione di carico EQU-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	40	0	-35.63
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	121	0	-25.56
Spinta del terreno a monte	75	77	-46.77	-8.36
Spinta del terreno a valle	0	-27	25.03	0
Forza di inerzia dovuta al muro	0	40	-2.67	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	46	121	-1.92	0

8.1.4 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	40	0	-35.63
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	121	0	-25.56
Spinta del terreno a monte	75	89	-24.83	-6.44
Spinta del terreno a valle	0	-27	34.84	0

8.1.5 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	40	0	-46.31
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	121	0	-33.22
Spinta del terreno a monte	75	71	-41.63	-8.37
Spinta del terreno a valle	0	-27	36.98	0

8.1.6 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	40	0	-35.63
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	121	0	-25.56
Spinta del terreno a monte	75	80	-41.84	-7.54
Spinta del terreno a valle	0	-27	25.82	0

8.1.7 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	40	0	-35.63
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	121	0	-25.56
Spinta del terreno a monte	75	85	-28.08	-7.5
Spinta del terreno a valle	0	-27	34.67	0
Forza di inerzia dovuta al muro	0	40	-0.48	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	46	121	-0.35	0

8.1.8 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	40	0	-35.63
Peso proprio del terreno/acqua a monte	46	121	0	-25.56
Spinta del terreno a monte	75	79	-42.7	-7.68
Spinta del terreno a valle	0	-27	25.68	0
Forza di inerzia dovuta al muro	0	40	-0.48	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	46	121	-0.35	0

9 Verifiche di stabilità locale

Non è stata condotta nessuna verifica locale (scorrimento, rotazione, carico limite fondazione) per la presenza di vincoli esterni.

10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2

Metodo di analisi di stabilità del pendio	: Bishop
Passo dei conci	: 100 cm
Coefficiente di stabilità globale pendio	: 4.05
Coefficiente limite suggerito dalla normativa	: 1.1
X centro della superficie critica	: -379 cm
Y centro della superficie critica	: 737 cm
Raggio della superficie critica	: 909 cm
Forza di bilancio	: 421.92 daN/cm
Volume spostato dalla superficie critica	: 24.73 m ³ /m
Peso spostato dalla superficie critica	: 46060 daN/m

11 Parametri per dimensionamento armatura

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

Rck (resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo)	: 370 daN/cm ²
Modulo elastico longitudinale Ec	: 330194 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
$f_{ct,eff}/f_{ctm}$ per calcolo ampiezza fessure	: 0.83
Limite σ_{mac}/f_{ck}	: 0.45
Limite σ_{maf}/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

12 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_{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_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_t : combinazione di carico critica per la verifica a taglio

V_{Sd} : taglio di calcolo

V_{Rdc} : taglio resistente in assenza di armatura a taglio

V_{Rdmax} : taglio resistente massimo dell'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse

V_{Rds} : 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_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	30	8	3.8	8	3.8	ok	STR-2	275290	-1518	860155	-4742	3.12	ok
0	25	30	8	3.8	8	3.8	ok	STR-2	201434	-1603	889060	-7074	4.41	ok
0	55	30	14.8	3.8	14.8	3.8	ok	STR-2	123917	-1130	1588973	-14495	12.8	ok

0	85	30	8	3.8	8	3.8	ok	STR-2	68707	-1239	1029440	-18571	15	ok
0	115	30	8	3.8	8	3.8	ok	STR-2	35976	-827	1113236	-25602	30.9	ok
0	145	30	8	3.8	8	3.8	ok	SIS-2	12924	-382	1241792	-36745	96.1	ok
0	175	30	8	3.8	8	3.8	ok	STR-2	3581	-1063	1533631	-455306	428	ok
0	205	30	6.1	3.8	6.1	3.8	ok	STR-2	819	-301	1270120	-466754	>999	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	30	SLE-1	162613	-1128	779	-19	ok	SLE-1	165494	-3445	-	-	ok
0	25	30	SLE-1	119139	-1185	549	-14	ok	SLE-1	121188	-3425	-	-	ok
0	55	30	SLE-1	73421	-857	185	-6	ok	SLE-1	74656	-2489	-	-	ok
0	85	30	SLE-1	40653	-930	156	-5	ok	SLE-1	41430	-2415	-	-	ok
0	115	30	SLE-1	21242	-636	73	-2	ok	SLE-1	21739	-1547	-	-	ok
0	145	30	SLE-1	8143	-407	19	-1	ok	SLE-1	8358	-819	-	-	ok
0	175	30	SLE-1	2181	-767	0	0	ok	SLE-1	2181	-767	-	-	ok
0	205	30	SLE-1	512	-222	0	0	ok	SLE-1	512	-222	-	-	ok

X	Y	H	c _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
0	0	30	STR-2	2958	13232	-	-	ok
0	25	30	STR-2	2958	13243	-	-	ok
0	55	30	STR-2	1866	15601	-	-	ok
0	85	30	STR-2	1852	13266	-	-	ok
0	115	30	STR-2	960	13321	-	-	ok
0	145	30	STR-2	348	13183	-	-	ok
0	175	30	STR-2	348	13173	-	-	ok
0	205	30	SIS-2	43	13055	-	-	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		
-45	-25	50	16.1	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	44774	-4094	6660355	-608993	149	ok
-15	-25	50	16.1	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	221177	-4165	4552588	-85721	20.6	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	
-45	-25	50	SLE-1	28051	-3222	0	-1	ok	SLE-1	28051	-3222	-	-	ok
-15	-25	50	SLE-1	139287	-3153	118	-5	ok	SLE-1	139287	-3153	-	-	ok

X	Y	H	c _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
-45	-25	50	STR-2	-6773	20825	-	-	ok
-15	-25	50	STR-2	-6773	20827	-	-	ok

Mensola di fondazione a monte (mensola destra) (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		
15	-25	50	16.1	3.8	16.1	3.8	ok	SIS-2	-74671	-559	-3303131	-24736	44.2	ok
45	-25	50	16.1	3.8	13.7	3.8	ok	STR-2	-45825	-1125	-5461629	-134081	119	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	
15	-25	50	SLE-1	-40145	-1365	24	-1	ok	SLE-1	-40145	-1365	-	-	ok
45	-25	50	SLE-1	-28486	-654	24	-1	ok	SLE-1	-28486	-654	-	-	ok

X	Y	H	c _t	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
15	-25	50	STR-2	-1739	20393	-	-	ok
45	-25	50	STR-2	-1535	20405	-	-	ok

13 Dimensionamento pali

13 Dimensionamento pali

13.1 Fila di pali n.1

Tipologia: micropalo tubolare iniettato con cls	
Materiale del tubolare in acciaio	: S235
Resistenza del tubolare in acciaio	: 2350 daN/cm ²
Diametro esterno del tubolare in acciaio	: 11.4 cm
Spessore del tubolare	: 10 mm
Diametro di perforazione	: 22 cm
Lunghezza esterna	: 600 cm
Interasse tra pali	: 150 cm
Spostamento dal bordo sinistro	: 20 cm
Sfalsamento rispetto a sezione iniziale	: 40 cm
Inclinazione	: 0 °
Rck calcestruzzo palo	: 400 daN/cm ²
Modulo elastico calcestruzzo palo	: 360500 daN/cm ²

Sollecitazioni in testa al palo

Vengono elencate in forma tabellare le sollecitazioni del palo nel nodo di collegamento con la mensola di fondazione. Per ogni palo della fila viene data la sollecitazione per ogni combinazione di carico presente. La posizione del palo nella fila viene indicata tramite la distanza rispetto alla sezione iniziale del muro. I valori momento e taglio sono specificati in valore assoluto.

Pos	Comb	N	M	T
cm		daN	daN cm	daN
40	1	-5522	0	299
40	2	-7795	0	976
40	3	-7630	0	982
40	4	-5185	0	348
40	5	-8042	0	612
40	6	-6611	0	670
40	7	-5772	0	128
40	8	-6792	0	738
40	9	-5185	0	348
190	1	-5543	0	299
190	2	-7816	0	976
190	3	-7652	0	982
190	4	-5209	0	348
190	5	-8070	0	612
190	6	-6634	0	670
190	7	-5797	0	128
190	8	-6813	0	738
190	9	-5209	0	348
340	1	-5520	0	299
340	2	-7792	1	976
340	3	-7628	1	982
340	4	-5184	1	348
340	5	-8040	0	612
340	6	-6609	1	670
340	7	-5771	0	128
340	8	-6789	1	738
340	9	-5184	1	348
490	1	-5452	0	299
490	2	-7724	0	976
490	3	-7557	0	982
490	4	-5109	0	347
490	5	-7952	0	612
490	6	-6538	0	670
490	7	-5691	0	128
490	8	-6721	0	738
490	9	-5109	0	347

13.2 Fila di pali n.2

Tipologia: micropalo tubolare iniettato con cls	
Materiale del tubolare in acciaio	: S235
Resistenza del tubolare in acciaio	: 2350 daN/cm ²
Diametro esterno del tubolare in acciaio	: 11.4 cm
Spessore del tubolare	: 10 mm
Diametro di perforazione	: 22 cm
Lunghezza esterna	: 600 cm
Interasse tra pali	: 150 cm
Spostamento dal bordo sinistro	: 116.9 cm
Sfalsamento rispetto a sezione iniziale	: 40 cm
Inclinazione	: 10 °
Rck calcestruzzo palo	: 400 daN/cm ²
Modulo elastico calcestruzzo palo	: 360500 daN/cm ²

Sollecitazioni in testa al palo

Vengono elencate in forma tabellare le sollecitazioni del palo nel nodo di collegamento con la mensola di fondazione. Per ogni palo della fila viene data la sollecitazione per ogni combinazione di carico presente. La posizione del palo nella fila viene indicata tramite la distanza rispetto alla sezione iniziale del muro. I valori momento e taglio sono specificati in valore assoluto.

Pos	Comb	N	M	T
cm		daN	daN cm	daN
40	1	-1787	0	490
40	2	-1837	0	1743
40	3	-803	0	1758
40	4	-3429	0	551
40	5	-4417	0	963
40	6	-1831	0	1045
40	7	-2943	0	189
40	8	-1650	0	1158
40	9	-3429	0	551
190	1	-1799	0	490
190	2	-1852	0	1743
190	3	-814	0	1758
190	4	-3447	0	551
190	5	-4442	0	963
190	6	-1845	0	1045
190	7	-2959	0	189
190	8	-1663	0	1158
190	9	-3447	0	551
340	1	-1789	0	490
340	2	-1843	2	1743
340	3	-810	2	1758
340	4	-3428	1	551
340	5	-4419	1	963
340	6	-1835	1	1044
340	7	-2943	0	189
340	8	-1655	1	1158
340	9	-3428	1	551
490	1	-1754	0	490
490	2	-1803	0	1743
490	3	-785	0	1757
490	4	-3371	0	551
490	5	-4343	0	962
490	6	-1798	0	1044
490	7	-2891	0	189
490	8	-1620	0	1157
490	9	-3371	0	551

Relazione di calcolo muro di sottoscarpa – h = 3,55 m

Indice generale

<u>1 Descrizione del software</u>	2
<u>2 Normative di riferimento</u>	2
<u>3 Geometria del muro</u>	3
<u>3.1 Sistema di riferimento</u>	3
<u>3.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale</u>	4
<u>3.3 Rappresentazione analitica</u>	4
<u>4 Caratteristiche dei terreni</u>	5
<u>5 Geometria degli strati</u>	5
<u>6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche</u>	6
<u>6.1 Descrizione della normativa sismica</u>	6
<u>6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte</u>	8
<u>6.3 Descrizione del metodo di calcolo della portanza</u>	9
<u>7 Distribuzioni di spinte e pressioni</u>	10
<u>7.1 Coefficienti di spinta</u>	10
<u>7.2 Pressioni</u>	11
<u>7.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1</u>	11
<u>7.2.2 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-2</u>	12
<u>7.2.3 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-3</u>	13
<u>7.2.4 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-1</u>	14
<u>7.2.5 Pressioni sul paramento a monte in combinazione STR-2</u>	16
<u>7.2.6 Pressioni sul paramento a monte in combinazione GEO-1</u>	17
<u>7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-1</u>	18
<u>7.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-2</u>	19
<u>7.2.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-1</u>	20
<u>8 Risultante delle azioni agenti sul muro</u>	21
<u>8.1 Combinazioni di calcolo</u>	21
<u>8.1.1 Combinazione di carico EQU-1</u>	22
<u>8.1.2 Combinazione di carico EQU-2</u>	22
<u>8.1.3 Combinazione di carico EQU-3</u>	22
<u>8.1.4 Combinazione di carico STR-1</u>	22
<u>8.1.5 Combinazione di carico STR-2</u>	23
<u>8.1.6 Combinazione di carico GEO-1</u>	23
<u>8.1.7 Combinazione di carico SIS-1</u>	23
<u>8.1.8 Combinazione di carico SIS-2</u>	23
<u>9 Verifiche di stabilità locale</u>	23
<u>10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio</u>	23
<u>11 Parametri per dimensionamento armatura</u>	24
<u>12 Sollecitazioni e verifiche strutturali</u>	24
<u>13 Dimensionamento pali</u>	26
<u>13.1 Fila di pali n.1</u>	26
<u>13.2 Fila di pali n.2</u>	27

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: 7.11

Identificatore licenza: WW-3811560

Intestatario della licenza: MOSSONE ING. PIETRO PAOLO - VIA S'ARRULLONI, 5 - CAGLIARI

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)

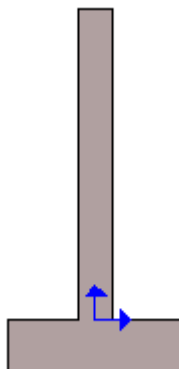
Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 (NTC 2008)

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

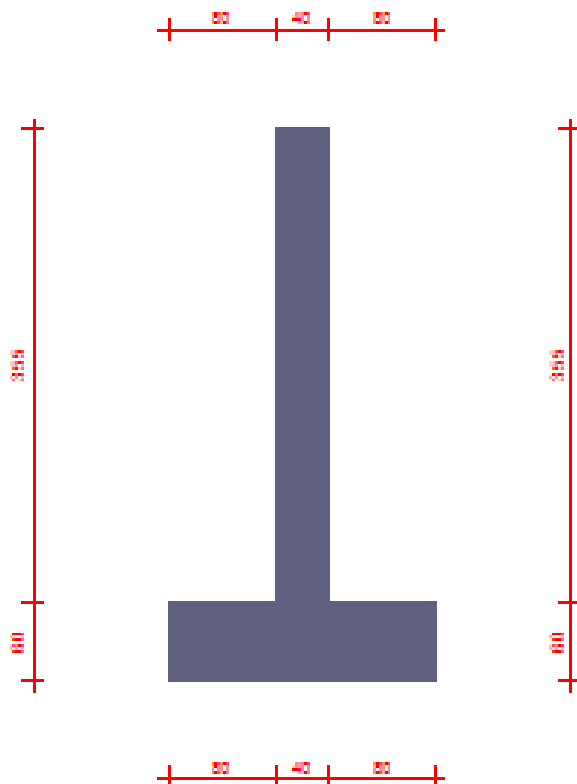
Ordinate Y (espresse in centimetri) positive verso l'alto

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	: 200 cm
Altezza totale del muro	: 415 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	: 355 cm
Disassamento	: 0 cm

Mensola sinistra in fondazione

Larghezza	: 80 cm
Alt.interna	: 60 cm
Alt.esterna	: 60 cm
Disassamento	: 0 cm

Zoccolo centrale in fondazione

Larghezza	: 40 cm
-----------	---------

Altezza a sx : 60 cm
 Altezza a dx : 60 cm
 Sfalsamento : 0 cm

Mensola destra in fondazione

Larghezza : 80 cm
 Alt.interna : 60 cm
 Alt.esterna : 60 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/cls (-)

OCR: Coefficiente di sovraconsolidazione del terreno (-)

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

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

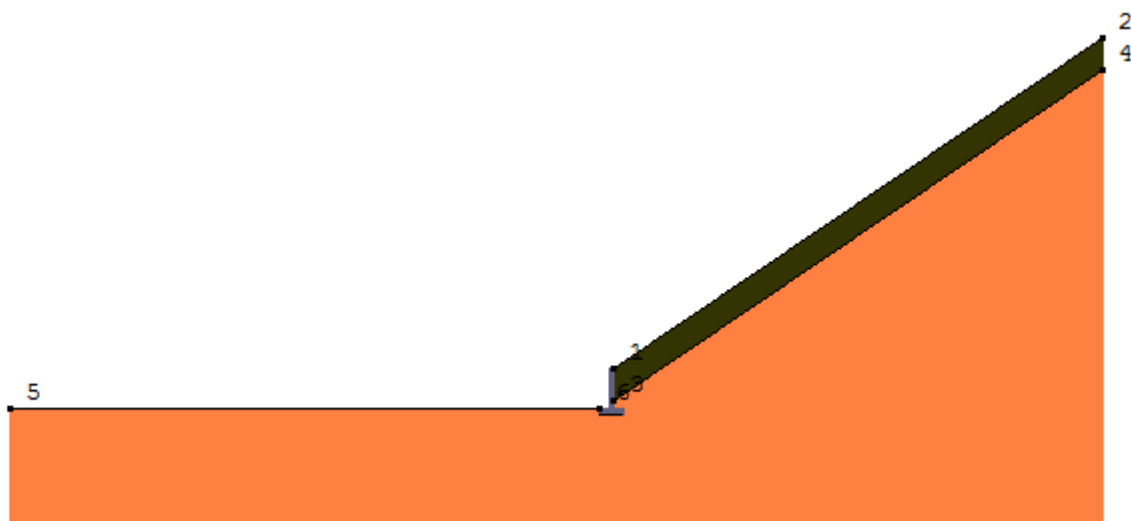
G: Modulo elastico tangenziale del terreno (daN/cm²)

Perm: Permeabilità del terreno (cm/sec)

N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	Al	OCR	Ko	E	G	Perm
1	Terreno Carrareccia	1900	1900	30,00	0,160	0,000	0,00	1,00	1,00	0,50	410	150	3,30E-01
2	Tout Venant	1700	1700	35,00	0,000	0,000	20,00	1,00	1,00	0,43	300	115	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: Tout Venant

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	20	355
2	2	4385	3299

Strato n.2, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	20	72
2	4	4385	3016

Strato n.3, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	5	-5365	0
2	6	-100	0

Strato n.4, materiale sottostante: Terreno Carrareccia

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-100	-60
2	-	-20	-60
3	-	20	-60
4	-	100	-60

6 Metodi di calcolo delle azioni e delle verifiche

Metodo di calcolo della spinta del terreno : Mononobe-Okabe
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: Cagliari, Orroli

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: 0.05 g

Categoria del suolo di fondazione: B

Coefficiente di amplificazione stratigrafica: 1.5

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 trascurato.

6.1 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.

6.2 Descrizione del metodo di calcolo delle spinte

La teoria di Mononobe-Okabe fa uso del *metodo dell'equilibrio limite* e può essere considerata una estensione del metodo di Coulomb, in cui alle usuali spinte al contorno del cuneo instabile di terreno vengono sommate anche le azioni inerziali orizzontali e verticali dovute all'accelerazione delle masse.

Le ipotesi che stanno alla base del metodo sono quindi:

1. Terreno isotropo, omogeneo e dotato di attrito e/o coesione.
2. Terreno che, a causa degli spostamenti del muro, si trova in uno stato di equilibrio plastico.
3. Superficie di rottura piana.
4. Superficie superiore del cuneo anche inclinata ma di forma piana.
5. La resistenza per attrito e per coesione si sviluppa uniformemente lungo la superficie di rottura.
6. Può esistere attrito tra paramento del muro e terreno, che si sviluppa al primo spostamento del muro.
7. Il paramento del muro può essere inclinato ma non spezzato in più parti.
8. L'effetto delle accelerazioni k_h e k_v viene intrinsecamente considerato nel baricentro del cuneo instabile.

Le spinte Attiva e Passiva si calcolano come:

$$P_{a/p} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot (1 - k_v) \cdot K_{a/p}$$

il coefficiente $K_{a/p}$ viene calcolato utilizzando la formulazione di Mononobe-Okabe proposta nell'ordinanza 3274 e successiva correzione 3316, in cui i simboli usati sono:

ϕ = angolo di attrito interno del terreno.

ψ = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete interessata del muro.

β = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno.

δ = angolo di attrito terreno-muro.

θ = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Il coefficiente per stati di spinta attiva si divide in due casi:

$$\beta \leq \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

Il coefficiente per stati di spinta passiva è invece:

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \theta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi) \cdot \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

Nel caso di accelerazione sismica solo orizzontale l'angolo θ è unico e la spinta attiva e passiva risulta univocamente determinata; viceversa le formule forniscono due distinti valori, che corrispondono alla presenza di accelerazione sismica verticale verso l'alto e verso il basso.

6.3 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:

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \phi; & N_q &= \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg} \phi)}; & N_\gamma &= 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \phi \\ s_c &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}; & s'_c &= 0.2 \cdot \frac{B}{L}; & s_q &= 1 + \frac{B}{L} \cdot \text{tg} \phi; & s_\gamma &= 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \\ d_c &= 1 + 0.4 \cdot k; & d'_c &= 0.4 \cdot k; & d_q &= 1 + 2 \cdot k \cdot \text{tg} \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2; & d_\gamma &= 1 \\ i_c &= i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}; & i'_c &= 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{B \cdot L \cdot c_a}}; & i_q &= \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5; \\ i_\gamma &= \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta=0); & i_\gamma &= \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ) \cdot H}{V + B \cdot L \cdot c_a \cdot \text{ctg} \phi} \right)^5 & (\text{se } \eta>0) \\ g_c &= 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g'_c &= \frac{\beta^\circ}{147^\circ}; & g_q &= (1 - 0.5 \cdot \text{tg} \beta)^5; & g_\gamma &= g_q \end{aligned}$$

$$b_c = 1 - \frac{\eta^o}{147^o}; \quad b'_c = \frac{\eta^o}{147^o}; \quad b_q = e^{(-2 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}; \quad b_\gamma = e^{(-2 \cdot 7 \cdot \eta \cdot \text{tg} \phi)}$$

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

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 .

7 Distribuzioni di spinte e pressioni

7.1 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	355	72	1	EQU-1	0.79
2	20	20	72	0	1	EQU-1	0.82
1	20	20	355	72	2	EQU-2	0.79
2	20	20	72	0	2	EQU-2	0.82
1	20	20	355	72	3	EQU-3	0.88
2	20	20	72	0	3	EQU-3	0.88
1	20	20	355	72	4	STR-1	0.55
2	20	20	72	0	4	STR-1	0.75
1	20	20	355	72	5	STR-2	0.55
2	20	20	72	0	5	STR-2	0.75
1	20	20	355	72	6	GEO-1	0.79
2	20	20	72	0	6	GEO-1	0.82
1	20	20	355	72	7	SIS-1	0.65
2	20	20	72	0	7	SIS-1	0.76
1	20	20	355	72	8	SIS-2	0.81
2	20	20	72	0	8	SIS-2	0.83
1	20	20	355	72	9	SLE-1	0.55
2	20	20	72	0	9	SLE-1	0.75

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	409	126	1	EQU-1	0.79
2	100	100	126	-60	1	EQU-1	0.82
1	100	100	409	126	2	EQU-2	0.79
2	100	100	126	-60	2	EQU-2	0.82
1	100	100	409	126	3	EQU-3	0.88
2	100	100	126	-60	3	EQU-3	0.88
1	100	100	409	126	4	STR-1	0.55
2	100	100	126	-60	4	STR-1	0.75
1	100	100	409	126	5	STR-2	0.55

2	100	100	126	-60	5	STR-2	0.75
1	100	100	409	126	6	GEO-1	0.79
2	100	100	126	-60	6	GEO-1	0.82
1	100	100	409	126	7	SIS-1	0.65
2	100	100	126	-60	7	SIS-1	0.76
1	100	100	409	126	8	SIS-2	0.81
2	100	100	126	-60	8	SIS-2	0.83
1	100	100	409	126	9	SLE-1	0.55
2	100	100	126	-60	9	SLE-1	0.75

Coefficienti di spinta sul filo mensola a valle							
Strato	Tratto di calcolo				Combinazione		Coefficiente
N.	Xini	Xfin	Yini	Yfin	Index	Nome	K _p
1	100	100	0	-60	1	EQU-1	2.44
1	100	100	0	-60	2	EQU-2	2.44
1	100	100	0	-60	3	EQU-3	2.32
1	100	100	0	-60	4	STR-1	3
1	100	100	0	-60	5	STR-2	3
1	100	100	0	-60	6	GEO-1	2.44
1	100	100	0	-60	7	SIS-1	2.98
1	100	100	0	-60	8	SIS-2	2.42
1	100	100	0	-60	9	SLE-1	3

7.2 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.

7.2.1 Pressioni sul paramento a monte in combinazione EQU-1

N.	tratto di calcolo				terreno				acqua				totale			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	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	355	20	345	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	20	345	20	335	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	20	335	20	326	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	20	326	20	316	-0.03	-0.01	-0.05	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.05	-0.01
5	20	316	20	306	-0.05	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.01	-0.06	-0.02
6	20	306	20	296	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
7	20	296	20	287	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02
8	20	287	20	277	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03
9	20	277	20	267	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03
10	20	267	20	257	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03
11	20	257	20	248	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04
12	20	248	20	238	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
13	20	238	20	228	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04
14	20	228	20	218	-0.15	-0.04	-0.16	-0.05	0	0	0	0	-0.15	-0.04	-0.16	-0.05
15	20	218	20	209	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.16	-0.05	-0.17	-0.05
16	20	209	20	199	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05	0	0	0	0	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05
17	20	199	20	189	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06	0	0	0	0	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06
18	20	189	20	179	-0.19	-0.06	-0.2	-0.06	0	0	0	0	-0.19	-0.06	-0.2	-0.06

8																
19	20	179	20	170	-0.2	-0.06	-0.22	-0.06	0	0	0	0	-0.2	-0.06	-0.22	-0.06
20	20	170	20	160	-0.22	-0.06	-0.23	-0.07	0	0	0	0	-0.22	-0.06	-0.23	-0.07
21	20	160	20	150	-0.23	-0.07	-0.24	-0.07	0	0	0	0	-0.23	-0.07	-0.24	-0.07
22	20	150	20	140	-0.24	-0.07	-0.25	-0.07	0	0	0	0	-0.24	-0.07	-0.25	-0.07
23	20	140	20	131	-0.25	-0.07	-0.26	-0.08	0	0	0	0	-0.25	-0.07	-0.26	-0.08
24	20	131	20	121	-0.26	-0.08	-0.27	-0.08	0	0	0	0	-0.26	-0.08	-0.27	-0.08
25	20	121	20	111	-0.27	-0.08	-0.28	-0.08	0	0	0	0	-0.27	-0.08	-0.28	-0.08
26	20	111	20	101	-0.28	-0.08	-0.3	-0.09	0	0	0	0	-0.28	-0.08	-0.3	-0.09
27	20	101	20	92	-0.3	-0.09	-0.31	-0.09	0	0	0	0	-0.3	-0.09	-0.31	-0.09
28	20	92	20	82	-0.31	-0.09	-0.32	-0.09	0	0	0	0	-0.31	-0.09	-0.32	-0.09
29	20	82	20	72	-0.32	-0.09	-0.33	-0.1	0	0	0	0	-0.32	-0.09	-0.33	-0.1
30	20	72	20	63	-0.12	0	-0.14	0	0	0	0	0	-0.12	0	-0.14	0
31	20	63	20	54	-0.14	0	-0.15	0	0	0	0	0	-0.14	0	-0.15	0
32	20	54	20	45	-0.15	0	-0.16	0	0	0	0	0	-0.15	0	-0.16	0
33	20	45	20	36	-0.16	0	-0.18	0	0	0	0	0	-0.16	0	-0.18	0
34	20	36	20	27	-0.18	0	-0.19	0	0	0	0	0	-0.18	0	-0.19	0
35	20	27	20	18	-0.19	0	-0.2	0	0	0	0	0	-0.19	0	-0.2	0
36	20	18	20	9	-0.2	0	-0.21	0	0	0	0	0	-0.2	0	-0.21	0
37	20	9	20	0	-0.21	0	-0.23	0	0	0	0	0	-0.21	0	-0.23	0

7.2.2 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	355	20	345	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	20	345	20	335	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	20	335	20	326	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	20	326	20	316	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02
5	20	316	20	306	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
6	20	306	20	296	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02
7	20	296	20	287	-0.08	-0.02	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.1	-0.03
8	20	287	20	277	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03
9	20	277	20	267	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04
10	20	267	20	257	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
11	20	257	20	248	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04
12	20	248	20	238	-0.15	-0.04	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.15	-0.04	-0.17	-0.05
13	20	238	20	228	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05	0	0	0	0	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05

1 4	20	228	20	218	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06	0	0	0	0	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06
1 5	20	218	20	209	-0.19	-0.06	-0.21	-0.06	0	0	0	0	-0.19	-0.06	-0.21	-0.06
1 6	20	209	20	199	-0.21	-0.06	-0.22	-0.06	0	0	0	0	-0.21	-0.06	-0.22	-0.06
1 7	20	199	20	189	-0.22	-0.06	-0.24	-0.07	0	0	0	0	-0.22	-0.06	-0.24	-0.07
1 8	20	189	20	179	-0.24	-0.07	-0.25	-0.07	0	0	0	0	-0.24	-0.07	-0.25	-0.07
1 9	20	179	20	170	-0.25	-0.07	-0.26	-0.08	0	0	0	0	-0.25	-0.07	-0.26	-0.08
2 0	20	170	20	160	-0.26	-0.08	-0.28	-0.08	0	0	0	0	-0.26	-0.08	-0.28	-0.08
2 1	20	160	20	150	-0.28	-0.08	-0.29	-0.08	0	0	0	0	-0.28	-0.08	-0.29	-0.08
2 2	20	150	20	140	-0.29	-0.08	-0.31	-0.09	0	0	0	0	-0.29	-0.08	-0.31	-0.09
2 3	20	140	20	131	-0.31	-0.09	-0.32	-0.09	0	0	0	0	-0.31	-0.09	-0.32	-0.09
2 4	20	131	20	121	-0.32	-0.09	-0.33	-0.1	0	0	0	0	-0.32	-0.09	-0.33	-0.1
2 5	20	121	20	111	-0.33	-0.1	-0.35	-0.1	0	0	0	0	-0.33	-0.1	-0.35	-0.1
2 6	20	111	20	101	-0.35	-0.1	-0.36	-0.11	0	0	0	0	-0.35	-0.1	-0.36	-0.11
2 7	20	101	20	92	-0.36	-0.11	-0.38	-0.11	0	0	0	0	-0.36	-0.11	-0.38	-0.11
2 8	20	92	20	82	-0.38	-0.11	-0.39	-0.11	0	0	0	0	-0.38	-0.11	-0.39	-0.11
2 9	20	82	20	72	-0.39	-0.11	-0.4	-0.12	0	0	0	0	-0.39	-0.11	-0.4	-0.12
3 0	20	72	20	63	-0.2	0	-0.22	0	0	0	0	0	-0.2	0	-0.22	0
3 1	20	63	20	54	-0.22	0	-0.23	0	0	0	0	0	-0.22	0	-0.23	0
3 2	20	54	20	45	-0.23	0	-0.25	0	0	0	0	0	-0.23	0	-0.25	0
3 3	20	45	20	36	-0.25	0	-0.27	0	0	0	0	0	-0.25	0	-0.27	0
3 4	20	36	20	27	-0.27	0	-0.28	0	0	0	0	0	-0.27	0	-0.28	0
3 5	20	27	20	18	-0.28	0	-0.3	0	0	0	0	0	-0.28	0	-0.3	0
3 6	20	18	20	9	-0.3	0	-0.31	0	0	0	0	0	-0.3	0	-0.31	0
3 7	20	9	20	0	-0.31	0	-0.33	0	0	0	0	0	-0.31	0	-0.33	0

7.2.3 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	355	20	345	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	20	345	20	335	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	20	335	20	326	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	20	326	20	316	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02
5	20	316	20	306	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
6	20	306	20	296	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.02
7	20	296	20	287	-0.08	-0.02	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.1	-0.03
8	20	287	20	277	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03

9	20	277	20	267	-0.11	-0.03	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.03	-0.12	-0.04
10	20	267	20	257	-0.12	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.14	-0.04
11	20	257	20	248	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04
12	20	248	20	238	-0.15	-0.04	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.15	-0.04	-0.17	-0.05
13	20	238	20	228	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05	0	0	0	0	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05
14	20	228	20	218	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06	0	0	0	0	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06
15	20	218	20	209	-0.19	-0.06	-0.21	-0.06	0	0	0	0	-0.19	-0.06	-0.21	-0.06
16	20	209	20	199	-0.21	-0.06	-0.22	-0.06	0	0	0	0	-0.21	-0.06	-0.22	-0.06
17	20	199	20	189	-0.22	-0.06	-0.23	-0.07	0	0	0	0	-0.22	-0.06	-0.23	-0.07
18	20	189	20	179	-0.23	-0.07	-0.25	-0.07	0	0	0	0	-0.23	-0.07	-0.25	-0.07
19	20	179	20	170	-0.25	-0.07	-0.26	-0.07	0	0	0	0	-0.25	-0.07	-0.26	-0.07
20	20	170	20	160	-0.26	-0.07	-0.28	-0.08	0	0	0	0	-0.26	-0.07	-0.28	-0.08
21	20	160	20	150	-0.28	-0.08	-0.29	-0.08	0	0	0	0	-0.28	-0.08	-0.29	-0.08
22	20	150	20	140	-0.29	-0.08	-0.3	-0.09	0	0	0	0	-0.29	-0.08	-0.3	-0.09
23	20	140	20	131	-0.3	-0.09	-0.32	-0.09	0	0	0	0	-0.3	-0.09	-0.32	-0.09
24	20	131	20	121	-0.32	-0.09	-0.33	-0.09	0	0	0	0	-0.32	-0.09	-0.33	-0.09
25	20	121	20	111	-0.33	-0.09	-0.34	-0.1	0	0	0	0	-0.33	-0.09	-0.34	-0.1
26	20	111	20	101	-0.34	-0.1	-0.36	-0.1	0	0	0	0	-0.34	-0.1	-0.36	-0.1
27	20	101	20	92	-0.36	-0.1	-0.37	-0.11	0	0	0	0	-0.36	-0.1	-0.37	-0.11
28	20	92	20	82	-0.37	-0.11	-0.39	-0.11	0	0	0	0	-0.37	-0.11	-0.39	-0.11
29	20	82	20	72	-0.39	-0.11	-0.4	-0.11	0	0	0	0	-0.39	-0.11	-0.4	-0.11
30	20	72	20	63	-0.2	-0.01	-0.21	-0.01	0	0	0	0	-0.2	-0.01	-0.21	-0.01
31	20	63	20	54	-0.21	-0.01	-0.23	-0.01	0	0	0	0	-0.21	-0.01	-0.23	-0.01
32	20	54	20	45	-0.23	-0.01	-0.24	-0.01	0	0	0	0	-0.23	-0.01	-0.24	-0.01
33	20	45	20	36	-0.24	-0.01	-0.26	-0.01	0	0	0	0	-0.24	-0.01	-0.26	-0.01
34	20	36	20	27	-0.26	-0.01	-0.27	-0.01	0	0	0	0	-0.26	-0.01	-0.27	-0.01
35	20	27	20	18	-0.27	-0.01	-0.29	-0.01	0	0	0	0	-0.27	-0.01	-0.29	-0.01
36	20	18	20	9	-0.29	-0.01	-0.3	-0.01	0	0	0	0	-0.29	-0.01	-0.3	-0.01
37	20	9	20	0	-0.3	-0.01	-0.32	-0.01	0	0	0	0	-0.3	-0.01	-0.32	-0.01

7.2.4 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	355	20	345	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	20	345	20	335	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	20	335	20	326	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	20	326	20	316	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
5	20	316	20	306	-0.03	-0.01	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.02
6	20	306	20	296	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02
7	20	296	20	287	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
8	20	287	20	277	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03
9	20	277	20	267	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03
10	20	267	20	257	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
11	20	257	20	248	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03
12	20	248	20	238	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04
13	20	238	20	228	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04
14	20	228	20	218	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04
15	20	218	20	209	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05
16	20	209	20	199	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05
17	20	199	20	189	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05
18	20	189	20	179	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06
19	20	179	20	170	-0.16	-0.06	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.16	-0.06	-0.16	-0.06
20	20	170	20	160	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06	0	0	0	0	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06
21	20	160	20	150	-0.17	-0.06	-0.18	-0.07	0	0	0	0	-0.17	-0.06	-0.18	-0.07
22	20	150	20	140	-0.18	-0.07	-0.19	-0.07	0	0	0	0	-0.18	-0.07	-0.19	-0.07
23	20	140	20	131	-0.19	-0.07	-0.2	-0.07	0	0	0	0	-0.19	-0.07	-0.2	-0.07
24	20	131	20	121	-0.2	-0.07	-0.21	-0.08	0	0	0	0	-0.2	-0.07	-0.21	-0.08
25	20	121	20	111	-0.21	-0.08	-0.22	-0.08	0	0	0	0	-0.21	-0.08	-0.22	-0.08
26	20	111	20	101	-0.22	-0.08	-0.22	-0.08	0	0	0	0	-0.22	-0.08	-0.22	-0.08
27	20	101	20	92	-0.22	-0.08	-0.23	-0.08	0	0	0	0	-0.22	-0.08	-0.23	-0.08
28	20	92	20	82	-0.23	-0.08	-0.24	-0.09	0	0	0	0	-0.23	-0.08	-0.24	-0.09
29	20	82	20	72	-0.24	-0.09	-0.25	-0.09	0	0	0	0	-0.24	-0.09	-0.25	-0.09
30	20	72	20	63	-0.08	0	-0.1	0	0	0	0	0	-0.08	0	-0.1	0
31	20	63	20	54	-0.1	0	-0.11	0	0	0	0	0	-0.1	0	-0.11	0
32	20	54	20	45	-0.11	0	-0.12	0	0	0	0	0	-0.11	0	-0.12	0
33	20	45	20	36	-0.12	0	-0.13	0	0	0	0	0	-0.12	0	-0.13	0
34	20	36	20	27	-0.13	0	-0.15	0	0	0	0	0	-0.13	0	-0.15	0
35	20	27	20	18	-0.15	0	-0.16	0	0	0	0	0	-0.15	0	-0.16	0

5																
3	20	18	20	9	-0.16	0	-0.17	0	0	0	0	0	-0.16	0	-0.17	0
6																
3	20	9	20	0	-0.17	0	-0.19	0	0	0	0	0	-0.17	0	-0.19	0
7																

7.2.5 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	355	20	345	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	20	345	20	335	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	20	335	20	326	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	20	326	20	316	-0.03	-0.01	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.02
5	20	316	20	306	-0.04	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.06	-0.02
6	20	306	20	296	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
7	20	296	20	287	-0.07	-0.02	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.03
8	20	287	20	277	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
9	20	277	20	267	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04
10	20	267	20	257	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04
11	20	257	20	248	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04
12	20	248	20	238	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05
13	20	238	20	228	-0.13	-0.05	-0.15	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.15	-0.05
14	20	228	20	218	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06
15	20	218	20	209	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06	0	0	0	0	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06
16	20	209	20	199	-0.17	-0.06	-0.18	-0.07	0	0	0	0	-0.17	-0.06	-0.18	-0.07
17	20	199	20	189	-0.18	-0.07	-0.19	-0.07	0	0	0	0	-0.18	-0.07	-0.19	-0.07
18	20	189	20	179	-0.19	-0.07	-0.2	-0.07	0	0	0	0	-0.19	-0.07	-0.2	-0.07
19	20	179	20	170	-0.2	-0.07	-0.21	-0.08	0	0	0	0	-0.2	-0.07	-0.21	-0.08
20	20	170	20	160	-0.21	-0.08	-0.22	-0.08	0	0	0	0	-0.21	-0.08	-0.22	-0.08
21	20	160	20	150	-0.22	-0.08	-0.24	-0.09	0	0	0	0	-0.22	-0.08	-0.24	-0.09
22	20	150	20	140	-0.24	-0.09	-0.25	-0.09	0	0	0	0	-0.24	-0.09	-0.25	-0.09
23	20	140	20	131	-0.25	-0.09	-0.26	-0.09	0	0	0	0	-0.25	-0.09	-0.26	-0.09
24	20	131	20	121	-0.26	-0.09	-0.27	-0.1	0	0	0	0	-0.26	-0.09	-0.27	-0.1
25	20	121	20	111	-0.27	-0.1	-0.28	-0.1	0	0	0	0	-0.27	-0.1	-0.28	-0.1
26	20	111	20	101	-0.28	-0.1	-0.29	-0.11	0	0	0	0	-0.28	-0.1	-0.29	-0.11
27	20	101	20	92	-0.29	-0.11	-0.3	-0.11	0	0	0	0	-0.29	-0.11	-0.3	-0.11
28	20	92	20	82	-0.3	-0.11	-0.31	-0.11	0	0	0	0	-0.3	-0.11	-0.31	-0.11
29	20	82	20	72	-0.31	-0.11	-0.33	-0.12	0	0	0	0	-0.31	-0.11	-0.33	-0.12
30	20	72	20	63	-0.19	0	-0.21	0	0	0	0	0	-0.19	0	-0.21	0

3 1	20	63	20	54	-0.21	0	-0.23	0	0	0	0	0	-0.21	0	-0.23	0
3 2	20	54	20	45	-0.23	0	-0.24	0	0	0	0	0	-0.23	0	-0.24	0
3 3	20	45	20	36	-0.24	0	-0.26	0	0	0	0	0	-0.24	0	-0.26	0
3 4	20	36	20	27	-0.26	0	-0.28	0	0	0	0	0	-0.26	0	-0.28	0
3 5	20	27	20	18	-0.28	0	-0.29	0	0	0	0	0	-0.28	0	-0.29	0
3 6	20	18	20	9	-0.29	0	-0.31	0	0	0	0	0	-0.29	0	-0.31	0
3 7	20	9	20	0	-0.31	0	-0.33	0	0	0	0	0	-0.31	0	-0.33	0

7.2.6 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	355	20	345	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	20	345	20	335	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	20	335	20	326	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	20	326	20	316	-0.04	-0.01	-0.05	-0.01	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.01
5	20	316	20	306	-0.05	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.01	-0.06	-0.02
6	20	306	20	296	-0.06	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.08	-0.02
7	20	296	20	287	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03
8	20	287	20	277	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03
9	20	277	20	267	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.11	-0.03
10	20	267	20	257	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04
11	20	257	20	248	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
12	20	248	20	238	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04
13	20	238	20	228	-0.15	-0.04	-0.16	-0.05	0	0	0	0	-0.15	-0.04	-0.16	-0.05
14	20	228	20	218	-0.16	-0.05	-0.18	-0.05	0	0	0	0	-0.16	-0.05	-0.18	-0.05
15	20	218	20	209	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06	0	0	0	0	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06
16	20	209	20	199	-0.19	-0.06	-0.2	-0.06	0	0	0	0	-0.19	-0.06	-0.2	-0.06
17	20	199	20	189	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06	0	0	0	0	-0.2	-0.06	-0.21	-0.06
18	20	189	20	179	-0.21	-0.06	-0.23	-0.07	0	0	0	0	-0.21	-0.06	-0.23	-0.07
19	20	179	20	170	-0.23	-0.07	-0.24	-0.07	0	0	0	0	-0.23	-0.07	-0.24	-0.07
20	20	170	20	160	-0.24	-0.07	-0.25	-0.07	0	0	0	0	-0.24	-0.07	-0.25	-0.07
21	20	160	20	150	-0.25	-0.07	-0.27	-0.08	0	0	0	0	-0.25	-0.07	-0.27	-0.08
22	20	150	20	140	-0.27	-0.08	-0.28	-0.08	0	0	0	0	-0.27	-0.08	-0.28	-0.08
23	20	140	20	131	-0.28	-0.08	-0.29	-0.08	0	0	0	0	-0.28	-0.08	-0.29	-0.08
24	20	131	20	121	-0.29	-0.08	-0.3	-0.09	0	0	0	0	-0.29	-0.08	-0.3	-0.09
25	20	121	20	111	-0.3	-0.09	-0.32	-0.09	0	0	0	0	-0.3	-0.09	-0.32	-0.09
26	20	111	20	101	-0.32	-0.09	-0.33	-0.1	0	0	0	0	-0.32	-0.09	-0.33	-0.1

6																
2	20	101	20	92	-0.33	-0.1	-0.34	-0.1	0	0	0	0	-0.33	-0.1	-0.34	-0.1
7																
2	20	92	20	82	-0.34	-0.1	-0.35	-0.1	0	0	0	0	-0.34	-0.1	-0.35	-0.1
8																
2	20	82	20	72	-0.35	-0.1	-0.37	-0.11	0	0	0	0	-0.35	-0.1	-0.37	-0.11
9																
3	20	72	20	63	-0.16	0	-0.18	0	0	0	0	0	-0.16	0	-0.18	0
0																
3	20	63	20	54	-0.18	0	-0.19	0	0	0	0	0	-0.18	0	-0.19	0
1																
3	20	54	20	45	-0.19	0	-0.21	0	0	0	0	0	-0.19	0	-0.21	0
2																
3	20	45	20	36	-0.21	0	-0.22	0	0	0	0	0	-0.21	0	-0.22	0
3																
3	20	36	20	27	-0.22	0	-0.23	0	0	0	0	0	-0.22	0	-0.23	0
4																
3	20	27	20	18	-0.23	0	-0.25	0	0	0	0	0	-0.23	0	-0.25	0
5																
3	20	18	20	9	-0.25	0	-0.26	0	0	0	0	0	-0.25	0	-0.26	0
6																
3	20	9	20	0	-0.26	0	-0.28	0	0	0	0	0	-0.26	0	-0.28	0
7																

7.2.7 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-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	355	20	345	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	20	345	20	335	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	20	335	20	326	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	20	326	20	316	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
5	20	316	20	306	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.02
6	20	306	20	296	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
7	20	296	20	287	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.02
8	20	287	20	277	-0.07	-0.02	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.02	-0.08	-0.03
9	20	277	20	267	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
10	20	267	20	257	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03
11	20	257	20	248	-0.1	-0.03	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.11	-0.04
12	20	248	20	238	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04
13	20	238	20	228	-0.12	-0.04	-0.12	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.12	-0.05
14	20	228	20	218	-0.12	-0.05	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.05	-0.13	-0.05
15	20	218	20	209	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05
16	20	209	20	199	-0.14	-0.05	-0.15	-0.06	0	0	0	0	-0.14	-0.05	-0.15	-0.06
17	20	199	20	189	-0.15	-0.06	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.15	-0.06	-0.16	-0.06
18	20	189	20	179	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06	0	0	0	0	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06
19	20	179	20	170	-0.17	-0.06	-0.18	-0.07	0	0	0	0	-0.17	-0.06	-0.18	-0.07
20	20	170	20	160	-0.18	-0.07	-0.19	-0.07	0	0	0	0	-0.18	-0.07	-0.19	-0.07
21	20	160	20	150	-0.19	-0.07	-0.2	-0.07	0	0	0	0	-0.19	-0.07	-0.2	-0.07

2 2	20	150	20	140	-0.2	-0.07	-0.21	-0.08	0	0	0	0	-0.2	-0.07	-0.21	-0.08
2 3	20	140	20	131	-0.21	-0.08	-0.22	-0.08	0	0	0	0	-0.21	-0.08	-0.22	-0.08
2 4	20	131	20	121	-0.22	-0.08	-0.23	-0.08	0	0	0	0	-0.22	-0.08	-0.23	-0.08
2 5	20	121	20	111	-0.23	-0.08	-0.24	-0.09	0	0	0	0	-0.23	-0.08	-0.24	-0.09
2 6	20	111	20	101	-0.24	-0.09	-0.25	-0.09	0	0	0	0	-0.24	-0.09	-0.25	-0.09
2 7	20	101	20	92	-0.25	-0.09	-0.26	-0.09	0	0	0	0	-0.25	-0.09	-0.26	-0.09
2 8	20	92	20	82	-0.26	-0.09	-0.27	-0.1	0	0	0	0	-0.26	-0.09	-0.27	-0.1
2 9	20	82	20	72	-0.27	-0.1	-0.28	-0.1	0	0	0	0	-0.27	-0.1	-0.28	-0.1
3 0	20	72	20	63	-0.11	-0.01	-0.13	-0.01	0	0	0	0	-0.11	-0.01	-0.13	-0.01
3 1	20	63	20	54	-0.13	-0.01	-0.14	-0.01	0	0	0	0	-0.13	-0.01	-0.14	-0.01
3 2	20	54	20	45	-0.14	-0.01	-0.15	-0.01	0	0	0	0	-0.14	-0.01	-0.15	-0.01
3 3	20	45	20	36	-0.15	-0.01	-0.17	-0.01	0	0	0	0	-0.15	-0.01	-0.17	-0.01
3 4	20	36	20	27	-0.17	-0.01	-0.18	-0.01	0	0	0	0	-0.17	-0.01	-0.18	-0.01
3 5	20	27	20	18	-0.18	-0.01	-0.19	-0.01	0	0	0	0	-0.18	-0.01	-0.19	-0.01
3 6	20	18	20	9	-0.19	-0.01	-0.21	-0.01	0	0	0	0	-0.19	-0.01	-0.21	-0.01
3 7	20	9	20	0	-0.21	-0.01	-0.22	-0.01	0	0	0	0	-0.21	-0.01	-0.22	-0.01

7.2.8 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SIS-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	355	20	345	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	20	345	20	335	-0.01	0	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.03	-0.01
3	20	335	20	326	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.01
4	20	326	20	316	-0.04	-0.01	-0.05	-0.01	0	0	0	0	-0.04	-0.01	-0.05	-0.01
5	20	316	20	306	-0.05	-0.01	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.01	-0.06	-0.02
6	20	306	20	296	-0.06	-0.02	-0.08	-0.02	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.08	-0.02
7	20	296	20	287	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03
8	20	287	20	277	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.03
9	20	277	20	267	-0.1	-0.03	-0.12	-0.03	0	0	0	0	-0.1	-0.03	-0.12	-0.03
1 0	20	267	20	257	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04	0	0	0	0	-0.12	-0.03	-0.13	-0.04
1 1	20	257	20	248	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04	0	0	0	0	-0.13	-0.04	-0.14	-0.04
1 2	20	248	20	238	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04	0	0	0	0	-0.14	-0.04	-0.15	-0.04
1 3	20	238	20	228	-0.15	-0.04	-0.17	-0.05	0	0	0	0	-0.15	-0.04	-0.17	-0.05
1 4	20	228	20	218	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05	0	0	0	0	-0.17	-0.05	-0.18	-0.05
1 5	20	218	20	209	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06	0	0	0	0	-0.18	-0.05	-0.19	-0.06
1 6	20	209	20	199	-0.19	-0.06	-0.21	-0.06	0	0	0	0	-0.19	-0.06	-0.21	-0.06
1 7	20	199	20	189	-0.21	-0.06	-0.22	-0.06	0	0	0	0	-0.21	-0.06	-0.22	-0.06

7																
18	20	189	20	179	-0.22	-0.06	-0.23	-0.07	0	0	0	0	-0.22	-0.06	-0.23	-0.07
19	20	179	20	170	-0.23	-0.07	-0.24	-0.07	0	0	0	0	-0.23	-0.07	-0.24	-0.07
20	20	170	20	160	-0.24	-0.07	-0.26	-0.07	0	0	0	0	-0.24	-0.07	-0.26	-0.07
21	20	160	20	150	-0.26	-0.07	-0.27	-0.08	0	0	0	0	-0.26	-0.07	-0.27	-0.08
22	20	150	20	140	-0.27	-0.08	-0.28	-0.08	0	0	0	0	-0.27	-0.08	-0.28	-0.08
23	20	140	20	131	-0.28	-0.08	-0.3	-0.09	0	0	0	0	-0.28	-0.08	-0.3	-0.09
24	20	131	20	121	-0.3	-0.09	-0.31	-0.09	0	0	0	0	-0.3	-0.09	-0.31	-0.09
25	20	121	20	111	-0.31	-0.09	-0.32	-0.09	0	0	0	0	-0.31	-0.09	-0.32	-0.09
26	20	111	20	101	-0.32	-0.09	-0.33	-0.1	0	0	0	0	-0.32	-0.09	-0.33	-0.1
27	20	101	20	92	-0.33	-0.1	-0.35	-0.1	0	0	0	0	-0.33	-0.1	-0.35	-0.1
28	20	92	20	82	-0.35	-0.1	-0.36	-0.1	0	0	0	0	-0.35	-0.1	-0.36	-0.1
29	20	82	20	72	-0.36	-0.1	-0.37	-0.11	0	0	0	0	-0.36	-0.1	-0.37	-0.11
30	20	72	20	63	-0.17	0	-0.18	0	0	0	0	0	-0.17	0	-0.18	0
31	20	63	20	54	-0.18	0	-0.2	0	0	0	0	0	-0.18	0	-0.2	0
32	20	54	20	45	-0.2	0	-0.21	0	0	0	0	0	-0.2	0	-0.21	0
33	20	45	20	36	-0.21	0	-0.23	0	0	0	0	0	-0.21	0	-0.23	0
34	20	36	20	27	-0.23	0	-0.24	0	0	0	0	0	-0.23	0	-0.24	0
35	20	27	20	18	-0.24	0	-0.26	0	0	0	0	0	-0.24	0	-0.26	0
36	20	18	20	9	-0.26	0	-0.27	0	0	0	0	0	-0.26	0	-0.27	0
37	20	9	20	0	-0.27	0	-0.28	0	0	0	0	0	-0.27	0	-0.28	0

7.2.9 Pressioni sul paramento a monte in combinazione SLE-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	355	20	345	0	0	-0.01	0	0	0	0	0	0	0	-0.01	0
2	20	345	20	335	-0.01	0	-0.02	-0.01	0	0	0	0	-0.01	0	-0.02	-0.01
3	20	335	20	326	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
4	20	326	20	316	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.03	-0.01
5	20	316	20	306	-0.03	-0.01	-0.04	-0.02	0	0	0	0	-0.03	-0.01	-0.04	-0.02
6	20	306	20	296	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02	0	0	0	0	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02
7	20	296	20	287	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02	0	0	0	0	-0.05	-0.02	-0.06	-0.02
8	20	287	20	277	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03	0	0	0	0	-0.06	-0.02	-0.07	-0.03
9	20	277	20	267	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03	0	0	0	0	-0.07	-0.03	-0.08	-0.03
10	20	267	20	257	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.08	-0.03	-0.09	-0.03
11	20	257	20	248	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.09	-0.03
12	20	248	20	238	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04	0	0	0	0	-0.09	-0.03	-0.1	-0.04

1 3	20	238	20	228	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.04	-0.11	-0.04
1 4	20	228	20	218	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04	0	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.12	-0.04
1 5	20	218	20	209	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05	0	0	0	0	-0.12	-0.04	-0.13	-0.05
1 6	20	209	20	199	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05	0	0	0	0	-0.13	-0.05	-0.14	-0.05
1 7	20	199	20	189	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05	0	0	0	0	-0.14	-0.05	-0.15	-0.05
1 8	20	189	20	179	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.15	-0.05	-0.16	-0.06
1 9	20	179	20	170	-0.16	-0.06	-0.16	-0.06	0	0	0	0	-0.16	-0.06	-0.16	-0.06
2 0	20	170	20	160	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06	0	0	0	0	-0.16	-0.06	-0.17	-0.06
2 1	20	160	20	150	-0.17	-0.06	-0.18	-0.07	0	0	0	0	-0.17	-0.06	-0.18	-0.07
2 2	20	150	20	140	-0.18	-0.07	-0.19	-0.07	0	0	0	0	-0.18	-0.07	-0.19	-0.07
2 3	20	140	20	131	-0.19	-0.07	-0.2	-0.07	0	0	0	0	-0.19	-0.07	-0.2	-0.07
2 4	20	131	20	121	-0.2	-0.07	-0.21	-0.08	0	0	0	0	-0.2	-0.07	-0.21	-0.08
2 5	20	121	20	111	-0.21	-0.08	-0.22	-0.08	0	0	0	0	-0.21	-0.08	-0.22	-0.08
2 6	20	111	20	101	-0.22	-0.08	-0.22	-0.08	0	0	0	0	-0.22	-0.08	-0.22	-0.08
2 7	20	101	20	92	-0.22	-0.08	-0.23	-0.08	0	0	0	0	-0.22	-0.08	-0.23	-0.08
2 8	20	92	20	82	-0.23	-0.08	-0.24	-0.09	0	0	0	0	-0.23	-0.08	-0.24	-0.09
2 9	20	82	20	72	-0.24	-0.09	-0.25	-0.09	0	0	0	0	-0.24	-0.09	-0.25	-0.09
3 0	20	72	20	63	-0.08	0	-0.1	0	0	0	0	0	-0.08	0	-0.1	0
3 1	20	63	20	54	-0.1	0	-0.11	0	0	0	0	0	-0.1	0	-0.11	0
3 2	20	54	20	45	-0.11	0	-0.12	0	0	0	0	0	-0.11	0	-0.12	0
3 3	20	45	20	36	-0.12	0	-0.13	0	0	0	0	0	-0.12	0	-0.13	0
3 4	20	36	20	27	-0.13	0	-0.15	0	0	0	0	0	-0.13	0	-0.15	0
3 5	20	27	20	18	-0.15	0	-0.16	0	0	0	0	0	-0.15	0	-0.16	0
3 6	20	18	20	9	-0.16	0	-0.17	0	0	0	0	0	-0.16	0	-0.17	0
3 7	20	9	20	0	-0.17	0	-0.19	0	0	0	0	0	-0.17	0	-0.19	0

8 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.

8.1 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	0	0	0
EQU	A3	M2	R0	2	EQU-2	1.1	0	0	0
EQU	A0	M2	R0	3	EQU-3	1	0	1	0
STR	A1	M1	R1	1	STR-1	1	0	0	0
STR	A1	M1	R1	2	STR-2	1.3	0	0	0
GEO	A2	M2	R2	1	GEO-1	1	0	0	0
SIS	A0	M1	R1	1	SIS-1	1	0	1	0
SIS	A0	M2	R2	2	SIS-2	1	0	1	0
SLE	A0	M0	R0	1	SLE-1	1	0	0	0

8.1.1 Combinazione di carico EQU-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	82	0	-58.95
Peso proprio del terreno/acqua a monte	61	187	0	-48.18
Spinta del terreno a monte	100	118	-94.15	-13.58
Spinta del terreno a valle	0	-32	31.54	0

8.1.2 Combinazione di carico EQU-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	82	0	-72.05
Peso proprio del terreno/acqua a monte	61	187	0	-58.89
Spinta del terreno a monte	100	111	-124.67	-16.6
Spinta del terreno a valle	0	-33	33.21	0

8.1.3 Combinazione di carico EQU-3

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	82	0	-65.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	61	187	0	-53.53
Spinta del terreno a monte	100	112	-120.72	-16.75
Spinta del terreno a valle	0	-32	31.36	0
Forza di inerzia dovuta al muro	0	82	-4.91	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	61	187	-4.01	0

8.1.4 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	82	0	-65.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	61	187	0	-53.53
Spinta del terreno a monte	100	111	-75.63	-12.9
Spinta del terreno a valle	0	-32	43.52	0

8.1.5 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	82	0	-85.15
Peso proprio del terreno/acqua a monte	61	187	0	-69.59
Spinta del terreno a monte	100	100	-113.78	-16.76
Spinta del terreno a valle	0	-33	46.59	0

8.1.6 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	82	0	-65.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	61	187	0	-53.53
Spinta del terreno a monte	100	114	-109.41	-15.09
Spinta del terreno a valle	0	-33	32.37	0

8.1.7 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	82	0	-65.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	61	187	0	-53.53
Spinta del terreno a monte	100	109	-82.51	-15.02
Spinta del terreno a valle	0	-32	43.3	0
Forza di inerzia dovuta al muro	0	82	-0.88	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	61	187	-0.72	0

8.1.8 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	x_p	y_p	F_x	F_y
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	0	82	0	-65.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	61	187	0	-53.53
Spinta del terreno a monte	100	114	-111.4	-15.38
Spinta del terreno a valle	0	-33	32.2	0
Forza di inerzia dovuta al muro	0	82	-0.88	0
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	61	187	-0.72	0

9 Verifiche di stabilità locale

Non è stata condotta nessuna verifica locale (scorrimento, rotazione, carico limite fondazione) per la presenza di vincoli esterni.

10 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-2

Metodo di analisi di stabilità del pendio	: Bishop
Passo dei conci	: 100 cm
Coefficiente di stabilità globale pendio	: 1.74
Coefficiente limite suggerito dalla normativa	: 1.1
X centro della superficie critica	: -9 cm
Y centro della superficie critica	: 1722 cm
Raggio della superficie critica	: 1947 cm
Forza di bilancio	: 610.08 daN/cm
Volume spostato dalla superficie critica	: 169.16 m ³ /m
Peso spostato dalla superficie critica	: 312303 daN/m

11 Parametri per dimensionamento armatura

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

Rck (resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo)	: 370 daN/cm ²
Modulo elastico longitudinale E _c	: 330194 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 _{ct,m} 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

12 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_t: combinazione di carico critica per la verifica a taglio

V_{Sd}: taglio di calcolo

V_{Rdc}: 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_t: 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 _{id}	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	8	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	1063880	-5157	2343940	-11362	2.2	ok
0	25	40	8	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	877681	-5199	2389734	-14156	2.72	ok
0	55	40	14.8	3.8	22.9	3.8	ok	STR-2	668690	-4869	3416718	-24874	5.11	ok
0	85	40	8	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	486240	-4921	2583076	-26144	5.31	ok
0	115	40	8	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	347577	-3999	2651991	-30513	7.63	ok
0	145	40	8	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	232463	-3093	2745382	-36535	11.8	ok
0	175	40	8	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	143746	-3136	3263749	-71207	22.7	ok
0	205	40	8	3.8	16.1	3.8	ok	SIS-2	80117	-1759	3273606	-71887	40.9	ok
0	235	40	8	3.8	16.1	3.8	ok	SIS-2	41796	-1191	3744933	-106748	89.6	ok
0	265	40	8	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	17636	-1934	4079318	-447387	231	ok
0	295	40	8	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	6850	-1056	3402214	-524560	497	ok
0	325	40	8	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	1094	-322	2145583	-630366	>999	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-1	614670	-3737	1062	-32	ok	SLE-1	622659	-5246	-	-	ok
0	25	40	SLE-1	512189	-3765	867	-27	ok	SLE-1	518738	-5230	-	-	ok
0	55	40	SLE-1	399881	-4702	448	-18	ok	SLE-1	399881	-4702	-	-	ok
0	85	40	SLE-1	287633	-3517	448	-15	ok	SLE-1	291775	-4675	-	-	ok
0	115	40	SLE-1	205674	-2883	310	-11	ok	SLE-1	208662	-3811	-	-	ok
0	145	40	SLE-1	137545	-2257	199	-7	ok	SLE-1	139527	-2953	-	-	ok
0	175	40	SLE-1	86276	-2927	87	-5	ok	SLE-1	86276	-2927	-	-	ok
0	205	40	SLE-1	52290	-2141	44	-3	ok	SLE-1	52290	-2141	-	-	ok
0	235	40	SLE-1	26952	-1430	17	-1	ok	SLE-1	26952	-1430	-	-	ok
0	265	40	SLE-1	10480	-1409	0	-1	ok	SLE-1	10480	-1409	-	-	ok
0	295	40	SLE-1	4090	-783	0	0	ok	SLE-1	4090	-783	-	-	ok
0	325	40	SLE-1	669	-243	0	0	ok	SLE-1	685	-214	-	-	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-2	7459	18796	-	-	ok
0	25	40	STR-2	7489	18876	-	-	ok
0	55	40	STR-2	6159	21270	-	-	ok
0	85	40	STR-2	6084	18764	-	-	ok
0	115	40	STR-2	4478	18805	-	-	ok
0	145	40	STR-2	3003	18662	-	-	ok
0	175	40	STR-2	3003	18656	-	-	ok
0	205	40	STR-2	1818	18501	-	-	ok
0	235	40	STR-2	930	18363	-	-	ok
0	265	40	STR-2	930	18359	-	-	ok
0	295	40	STR-2	336	18240	-	-	ok
0	325	40	SIS-2	41	18126	-	-	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 _{mi}	C _{res}	M _{id}	N _d	M _u	N _u	C.S.	V _{res}
cm	cm	cm	cm ²	cm	cm ²	cm			daN cm	daN		daN cm		
-70	-30	60	16.1	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	65593	-6893	7854000	-825314	120	ok
-40	-30	60	16.1	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	470817	-6881	5439227	-79490	11.6	ok
-20	-30	60	16.1	3.8	16.1	3.8	ok	STR-2	743795	-6862	4472300	-41261	6.01	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	
-70	-30	60	SLE-1	39301	-5324	0	-1	ok	SLE-1	39301	-5324	-	-	ok
-40	-30	60	SLE-1	286906	-5325	198	-7	ok	SLE-1	286906	-5325	-	-	ok
-20	-30	60	SLE-1	452348	-5318	392	-11	ok	SLE-1	452348	-5318	-	-	ok

X	Y	H	C _t	V _{Sd}	VR _{dc}	VR _{dmax}	VR _{ds}	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
-70	-30	60	STR-2	-14142	23196	-	-	ok

-40	-30	60	STR-2	-13685	23187	-	-	ok
-20	-30	60	STR-2	-13685	23185	-	-	ok

Mensola di fondazione a monte (mensola destra) (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		
20	-30	60	16.1	3.8	8	3.8	ok	STR-2	-270585	1627	-2923364	17573	10.8	ok
50	-30	60	16.1	3.8	8	3.8	ok	STR-2	-163522	1846	-2602434	29382	15.9	ok
80	-30	60	16.1	3.8	8	3.8	ok	STR-2	-65332	-2913	-10274264	-458086	157	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	-30	60	SLE-1	-133945	-895	136	-4	ok	SLE-1	-133945	-895	-	-	ok
50	-30	60	SLE-1	-95901	-825	92	-3	ok	SLE-1	-95979	-921	-	-	ok
80	-30	60	SLE-1	-40297	-1850	9	-1	ok	SLE-1	-40297	-1850	-	-	ok

X	Y	H	C _t	V _{Sd}	V _{Rdc}	V _{Rdmax}	V _{Rds}	v _t
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
20	-30	60	SIS-2	-4127	22220	-	-	ok
50	-30	60	SIS-2	-4127	22220	-	-	ok
80	-30	60	STR-2	-3254	22630	-	-	ok

13 Dimensionamento pali

13.1 Fila di pali n.1

Tipologia: micropalo tubolare iniettato con cls	
Materiale del tubolare in acciaio	: S235
Resistenza del tubolare in acciaio	: 2350 daN/cm ²
Diametro esterno del tubolare in acciaio	: 11.4 cm
Spessore del tubolare	: 10 mm
Diametro di perforazione	: 22 cm
Lunghezza esterna	: 600 cm
Interasse tra pali	: 100 cm
Spostamento dal bordo sinistro	: 20 cm
Sfalsamento rispetto a sezione iniziale	: 40 cm
Inclinazione	: 0 °
R _{ck} calcestruzzo palo	: 400 daN/cm ²
Modulo elastico calcestruzzo palo	: 360500 daN/cm ²

Sollecitazioni in testa al palo

Vengono elencate in forma tabellare le sollecitazioni del palo nel nodo di collegamento con la mensola di fondazione. Per ogni palo della fila viene data la sollecitazione per ogni combinazione di carico presente. La posizione del palo nella fila viene indicata tramite la distanza rispetto alla sezione iniziale del muro. I valori momento e taglio sono specificati in valore assoluto.

Pos	Comb	N	M	T
cm		daN	daN cm	daN
40	1	-9719	0	1387
40	2	-14068	0	2433
40	3	-13718	0	2357
40	4	-8897	0	976
40	5	-14378	0	2234
40	6	-11805	0	1867
40	7	-9930	0	1184
40	8	-12145	0	1952
40	9	-8897	0	976
140	1	-9729	0	1387
140	2	-14068	1	2433
140	3	-13718	1	2357
140	4	-8910	0	976

140	5	-14378	0	2234
140	6	-11804	0	1867
140	7	-9944	0	1184
140	8	-12144	1	1952
140	9	-8910	0	976
240	1	-9738	0	1387
240	2	-14068	1	2433
240	3	-13718	1	2357
240	4	-8922	0	976
240	5	-14378	1	2234
240	6	-11804	1	1867
240	7	-9956	0	1184
240	8	-12144	1	1952
240	9	-8922	0	976
340	1	-9746	0	1387
340	2	-14068	1	2433
340	3	-13718	1	2357
340	4	-8934	0	976
340	5	-14377	1	2234
340	6	-11804	1	1867
340	7	-9968	0	1184
340	8	-12144	1	1952
340	9	-8934	0	976
440	1	-9757	0	1388
440	2	-14068	0	2433
440	3	-13718	0	2357
440	4	-8949	0	976
440	5	-14377	0	2234
440	6	-11804	0	1867
440	7	-9983	0	1184
440	8	-12144	0	1952
440	9	-8949	0	976

13.2 Fila di pali n.2

Tipologia: micropalo tubolare iniettato con cls

Materiale del tubolare in acciaio

Resistenza del tubolare in acciaio

Diametro esterno del tubolare in acciaio

Spessore del tubolare

Diametro di perforazione

Lunghezza esterna

Interasse tra pali

Spostamento dal bordo sinistro

Sfalsamento rispetto a sezione iniziale

Inclinazione

Rck calcestruzzo palo

Modulo elastico calcestruzzo palo

: S235

: 2350 daN/cm²

: 11.4 cm

: 10 mm

: 22 cm

: 600 cm

: 100 cm

: 154.8 cm

: 40 cm

: 10 °

: 400 daN/cm²

: 360500 daN/cm²

Sollecitazioni in testa al palo

Vengono elencate in forma tabellare le sollecitazioni del palo nel nodo di collegamento con la mensola di fondazione. Per ogni palo della fila viene data la sollecitazione per ogni combinazione di carico presente. La posizione del palo nella fila viene indicata tramite la distanza rispetto alla sezione iniziale del muro. I valori momento e taglio sono specificati in valore assoluto.

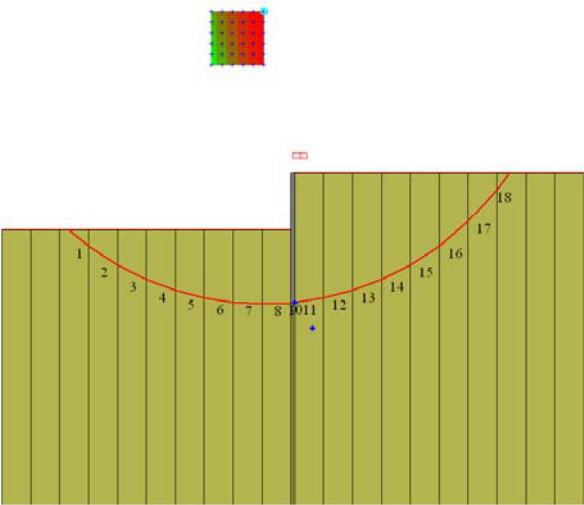
Pos	Comb	N	M	T
cm		daN	daN cm	daN
40	1	-1184	0	3103
40	2	-462	0	5612
40	3	1066	0	5444
40	4	-4006	0	1741

40	5	-4489	0	5255
40	6	-859	0	4322
40	7	-3108	0	2423
40	8	-517	0	4522
40	9	-4006	0	1741
140	1	-1186	0	3103
140	2	-462	1	5612
140	3	1068	1	5445
140	4	-4013	0	1741
140	5	-4497	1	5255
140	6	-860	1	4322
140	7	-3113	0	2423
140	8	-517	1	4523
140	9	-4013	0	1741
240	1	-1184	0	3103
240	2	-457	1	5612
240	3	1075	1	5445
240	4	-4016	0	1741
240	5	-4499	1	5256
240	6	-857	1	4322
240	7	-3114	0	2423
240	8	-513	1	4523
240	9	-4016	0	1741
340	1	-1182	0	3103
340	2	-452	1	5612
340	3	1082	1	5445
340	4	-4019	0	1742
340	5	-4500	1	5256
340	6	-854	1	4322
340	7	-3115	0	2423
340	8	-509	1	4523
340	9	-4019	0	1742
440	1	-1184	0	3103
440	2	-452	0	5612
440	3	1085	0	5445
440	4	-4026	0	1742
440	5	-4508	0	5256
440	6	-855	0	4322
440	7	-3121	0	2423
440	8	-509	0	4523
440	9	-4026	0	1742

TABULATI DI CALCOLO BERLINESE DI MICROPALI

Sistemazione della Carrareccia Nuraghe Arrubiu – Diga Flumendosa

Berlinese Strada Carrareccia



Verifica di scivolamento

paratia in acciaio
valori espressi in daN, cm.

Altezza totale della paratia: 900 cm

Normativa per il calcolo dell'azione sismica: NTC 2008
Accelerazione relativa massima su sito rigido = 0,35
Categoria del suolo di fondazione = B
Coefficiente di amplificazione stratigrafica Ss = 1,5
Coefficiente di amplificazione topografica St = 1
Coefficiente di deformabilità alfa = 0,6
Coefficiente di spostamento beta = 0,5
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima betas = 0,28
Posizione risultante forza dinamica nello stesso punto della statica

profilo: MICROPALO Ø168*8/70
Micropalo Ø168mm
Spessore 8mm
Interasse 70 cm
Area = 40.21 Area taglio = 36.19 Gamma Mo = 1.1 fyk = 3550
v plastico = 67434 w plastico = 205

DATI GEOTECNICI GENERALI
ampiezze dei bulbi di pressione: a monte 100.0 , a valle 100.0
coeff. riduttivo delle spinte passive 1.00
coeff. riduttivo per adesione 0.00
coeff. parziale sulle azioni gammaA(permanenti) 1.00
coeff. parziale sul terreno gammaM(tanFi) 1.00
coeff. parziale sul terreno gammaM(coesione) 1.00
coeff. parziale sulla resistenza al taglio del pendio gammaR(pendio) 1.10

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI
materiale S355 sf.amm. = 2400

CARICHI DISTRIBUITI
sovraccarico a monte 0.1000 sovraccarico a valle 0.0000

VINCOLI E CEDIMENTI IMPOSTI (prof. da sommita' paratia)
n. prof. spost. rotaz.(rad)
1 0.00 0.000 0.00000

STRATI DEL TERRENO A MONTE (prof. da sommita' paratia)
n. spess. prof.in. g.sec g.sat B(ø) F(ø) D(ø) c Et Ko
1 900.0 0.0 0.001900 0.000000 0.0 30.0 0.0 0.00002 410.0 0.50000

STRATI DEL TERRENO A VALLE (prof. da sommita' paratia)
n. spess. prof.in. g.sec g.sat B(ø) F(ø) D(ø) c Et Ko
1 500.0 400.0 0.001900 0.000000 0.0 30.0 0.0 0.00000 410.0 0.50000

SPINTE DEL TERRENO (prof. da sommita' paratia; spinte positive da monte)
quota att.monte pass.monte att.valle pass.valle rip.monte rip.valle eff.monte eff.valle eff.totale
0.00 0.033315 0.250024 0.000000 0.000000 0.050000 0.000000 0.050000 0.000000 0.050000

40.00	0.058648	0.440004	0.000000	0.000000	0.088000	0.000000	0.058648	0.000000	0.058648
80.00	0.083982	0.629985	0.000000	0.000000	0.126000	0.000000	0.083982	0.000000	0.083982
120.00	0.109315	0.819965	0.000000	0.000000	0.164000	0.000000	0.109315	0.000000	0.109315
160.00	0.134648	1.009945	0.000000	0.000000	0.202000	0.000000	0.134648	0.000000	0.134648
200.00	0.159982	1.199925	0.000000	0.000000	0.240000	0.000000	0.159982	0.000000	0.159982
240.00	0.185315	1.389905	0.000000	0.000000	0.278000	0.000000	0.185315	0.000000	0.185315
280.00	0.210648	1.579885	0.000000	0.000000	0.316000	0.000000	0.210648	0.000000	0.210648
320.00	0.235982	1.769865	0.000000	0.000000	0.354000	0.000000	0.235982	0.000000	0.235982
360.00	0.261315	1.959845	0.000000	0.000000	0.392000	0.000000	0.261315	0.000000	0.261315
400.00	0.286648	2.580055	0.000000	0.000000	0.430000	0.000000	0.286648	0.000000	0.286648
420.00	0.299315	2.694055	-.012667	-.114000	0.449000	-.019000	0.299315	-.114000	0.185315
440.00	0.311982	2.808055	-.025333	-.228000	0.468000	-.038000	0.311982	-.228000	0.083982
460.00	0.324648	2.922055	-.038000	-.342000	0.487000	-.057000	0.324648	-.342000	-.017352
480.00	0.337315	3.036055	-.050667	-.456000	0.506000	-.076000	0.337315	-.456000	-.118685
500.00	0.349982	3.150055	-.063333	-.570000	0.525000	-.095000	0.349982	-.570000	-.220019
520.00	0.362648	3.264055	-.076000	-.684000	0.544000	-.114000	0.362648	-.684000	-.321352
540.00	0.375315	3.378055	-.088667	-.798000	0.563000	-.133000	0.375315	-.798000	-.422685
560.00	0.387982	3.492055	-.101333	-.912000	0.582000	-.152000	0.387982	-.912000	-.524019
580.00	0.400648	3.606055	-.114000	-1.026000	0.601000	-.171000	0.400648	-1.026000	-.625352
600.00	0.413315	3.720055	-.126667	-1.140000	0.620000	-.190000	0.413315	-.785616	-.372302
620.00	0.425982	3.834055	-.139333	-1.254000	0.639000	-.209000	0.425982	-.603521	-.177539
640.00	0.438648	3.948056	-.152000	-1.368000	0.658000	-.228000	0.438648	-.487216	-.048568
660.00	0.451315	4.062056	-.164667	-1.482000	0.677000	-.247000	0.499855	-.424145	0.075710
680.00	0.463982	4.176055	-.177333	-1.596000	0.696000	-.266000	0.560897	-.401103	0.159794
700.00	0.476648	4.290055	-.190000	-1.710000	0.715000	-.285000	0.594209	-.405792	0.188417
720.00	0.489315	4.404056	-.202667	-1.824000	0.734000	-.304000	0.610110	-.427890	0.182219
740.00	0.501982	4.518055	-.215333	-1.938000	0.753000	-.323000	0.616521	-.459479	0.157043
760.00	0.514648	4.632055	-.228000	-2.052000	0.772000	-.342000	0.619013	-.494987	0.124025
780.00	0.527315	4.746056	-.240667	-2.166000	0.791000	-.361000	0.621106	-.530895	0.090211
800.00	0.539982	4.860055	-.253333	-2.280000	0.810000	-.380000	0.624695	-.565305	0.059390
820.00	0.552648	4.974055	-.266000	-2.394000	0.829000	-.399000	0.630484	-.597516	0.032968
840.00	0.565315	5.088056	-.278667	-2.508000	0.848000	-.418000	0.638385	-.627615	0.010770
860.00	0.577982	5.202055	-.291333	-2.622000	0.867000	-.437000	0.647869	-.656131	-.008261
880.00	0.590648	5.316055	-.304000	-2.736000	0.886000	-.456000	0.658259	-.683741	-.025482
900.00	0.603315	5.430056	-.316667	-2.850000	0.905000	-.475000	0.668980	-.711020	-.042039

SOLLECITAZIONI, SPOSTAMENTI E VERIFICHE DELLA PARATIA (prof. da sommita' paratia)

c.nº	p.iniz.	p.fin.	M.iniz	M.fin	T.iniz	T.fin	N.iniz	N.fin	sp.iniz	sp.fin	rot.iniz	rot.fin	1/cs.fl	1/cs.tag
1	0.00	40.00	-646404	-430995	5385	5385	0	-18	0.00	0.09	0.0000	0.0000	0.6218	0.0559
2	40.00	80.00	-430995	-233064	4948	4948	-18	-36	0.09	0.32	-.0043	0.0921	0.4147	0.0514
3	80.00	120.00	-233064	-56663	4410	4410	-36	-54	0.32	0.63	-.0070	0.3232	0.2244	0.0458
4	120.00	160.00	-56663	94154	3770	3770	-54	-72	0.63	0.96	-.0081	0.6301	0.0909	0.0391
5	160.00	200.00	94154	215335	3030	3030	-72	-90	0.96	1.25	-.0080	0.9566	0.2076	0.0314
6	200.00	240.00	215335	302824	2187	2187	-90	-108	1.25	1.49	-.0067	1.2545	0.2918	0.0227
7	240.00	280.00	302824	352570	1244	1244	-108	-126	1.49	1.62	-.0047	1.4851	0.3398	0.0129
8	280.00	320.00	352570	360519	199	199	-126	-144	1.62	1.65	-.0020	1.6208	0.3475	0.0021
9	320.00	360.00	360519	322617	-948	-948	-144	-162	1.65	1.56	0.0008	1.6457	0.3475	0.0098
10	360.00	400.00	322617	234812	-2195	-2195	-162	-180	1.56	1.37	0.0035	1.5575	0.3112	0.0228
11	400.00	420.00	234812	172700	-3106	-3106	-180	-189	1.37	1.24	0.0058	1.3686	0.2268	0.0322
12	420.00	440.00	172700	103176	-3476	-3476	-189	-198	1.24	1.11	0.0066	1.2445	0.1671	0.0361
13	440.00	460.00	103176	30292	-3644	-3644	-198	-207	1.11	0.96	0.0071	1.1065	0.1002	0.0378
14	460.00	480.00	30292	-41897	-3609	-3609	-207	-216	0.96	0.81	0.0074	0.9604	0.0414	0.0375
15	480.00	500.00	-41897	-109339	-3372	-3372	-216	-225	0.81	0.67	0.0074	0.8118	0.1063	0.0350
16	500.00	520.00	-109339	-167980	-2932	-2932	-225	-234	0.67	0.53	0.0071	0.6666	0.1627	0.0304
17	520.00	540.00	-167980	-213768	-2289	-2289	-234	-244	0.53	0.41	0.0065	0.5299	0.2068	0.0238
18	540.00	560.00	-213768	-242647	-1444	-1444	-244	-253	0.41	0.30	0.0058	0.4066	0.2347	0.0150
19	560.00	580.00	-242647	-250566	-396	-396	-253	-262	0.30	0.21	0.0049	0.3001	0.2423	0.0041
20	580.00	600.00	-250566	-233471	855	855	-262	-271	0.21	0.15	0.0039	0.2128	0.2423	0.0089
21	600.00	620.00	-233471	-201484	1599	1599	-271	-280	0.15	0.10	0.0029	0.1453	0.2259	0.0166
22	620.00	640.00	-201484	-162396	1954	1954	-280	-289	0.10	0.06	0.0020	0.0962	0.1952	0.0203
23	640.00	660.00	-162396	-121364	2052	2052	-289	-298	0.06	0.04	0.0013	0.0632	0.1576	0.0213
24	660.00	680.00	-121364	-83361	1900	1900	-298	-307	0.04	0.03	0.0007	0.0432	0.1182	0.0197
25	680.00	700.00	-83361	-51750	1581	1581	-307	-316	0.03	0.03	0.0003	0.0330	0.0817	0.0164
26	700.00	720.00	-51750	-27675	1204	1204	-316	-325	0.03	0.03	0.0000	0.0295	0.0513	0.0125
27	720.00	740.00	-27675	-10890	839	839	-325	-334	0.03	0.03	-.0001	0.0302	0.0282	0.0087
28	740.00	760.00	-10890	-386	525	525	-334	-343	0.03	0.04	-.0002	0.0333	0.0121	0.0055
29	760.00	780.00	-386	5157	277	277	-343	-352	0.04	0.04	-.0002	0.0373	0.0067	0.0029
30	780.00	800.00	5157	7092	97	97	-352	-361	0.04	0.05	-.0002	0.0414	0.0086	0.0010
31	800.00	820.00	7092	6651	-22	-22	-361	-370	0.05	0.05	-.0002	0.0452	0.0086	0.0002
32	820.00	840.00	6651	4891	-88	-88	-370	-379	0.05	0.05	-.0001	0.0484	0.0082	0.0009
33	840.00	860.00	4891	2701	-110	-110	-379	-388	0.05	0.05	-.0001	0.0511	0.0066	0.0011
34	860.00	880.00	2701	841	-93	-93	-388	-397	0.05	0.06	-.0001	0.0534	0.0045	0.0010
35	880.00	900.00	841	0	-42	-42	-397	-406	0.06	0.06	-.0001	0.0555	0.0028	0.0004

(M>0 se tendono le fibre a valle; T>0 di tipo orario; s>0 verso monte; rot.>0 se antiorarie; N>0 se di trazione)

Verifica peggiore:
1/c.s. max = 0.6218 < 1 a profondita' 0.00 da sommita' paratia
con N = 0 M = -646404 T = 5385
Area = 40.21 Area taglio = 36.19 Gamma Mo = 1.1 fyk = 3550
v plastico = 67434 w plastico = 205 fattore riduttivo rho = 0

Verifica di Stabilità Globale dell'opera - Metodo di Bishop

STABILITA' DEL PENDIO CON BISHOP

Simboli usati nella tabella dei risultati:

alfa = angolo alla base del concio in gradi
l = lunghezza della base del concio
C = coesione alla base del concio
fi = angolo d'attrito alla base del concio in gradi
Xg = baricentro del concio
b = braccio relativo al peso del concio
Peso = peso complessivo alla base
Peso S+ = peso complessivo alla base con sisma positivo (verso il basso)
Peso S- = peso complessivo alla base con sisma negativo (verso l'alto)
Pvert. = carico verticale complessivo agente sul concio
Press. = pressione di falda
Mstab = momento stabilizzante (attrito + coesione) in assenza di sisma
Mstab SV+ = momento stabilizzante (attrito + coesione) con sisma positivo (verso l'alto)
Mstab SV- = momento stabilizzante (attrito + coesione) con sisma negativo (verso il basso)
Mstab SO = momento stabilizzante (attrito + coesione) con solo sisma orizzontale
Mpeso = momento dovuto al peso in assenza di sisma
Mpeso SV+ = momento dovuto al peso con sisma positivo (verso l'alto)
Mpeso SV- = momento dovuto al peso con sisma negativo (verso il basso)
Mpeso SO = momento dovuto al peso con solo sisma orizzontale

Unità di misura utilizzate nella tabella dei risultati: daN,cm

Caratteristiche del cerchio di scivolamento che comporta il minimo coefficiente di sicurezza:

Ascissa del centro X = -199
Ordinata del centro Y = 1110
Raggio del cerchio R = 2018 cm

STABILITA' DEL PENDIO CON SISMA ORIZZONTALE E VERTICALE (Bishop)

Concio	alfa	Xg	b	Peso S+	Peso S-	Pvert.	Press.	Mstab SV+	Mpeso SV+	Mstab SV-	Mpeso SV-
1	-39.1	-1448	1249	15	13	0	0	28823	-15865	24876	-13259
2	-33.3	-1292	1093	71	61	0	0	119960	-62784	103533	-52064
3	-26.7	-1100	901	117	101	0	0	177567	-79991	153252	-65390
4	-20.6	-903	704	153	132	0	0	211839	-72757	182831	-57924
5	-14.6	-706	507	179	154	0	0	231356	-48646	199676	-36193
6	-8.8	-508	309	195	169	0	0	240452	-13792	207526	-5492
7	-3.2	-310	111	204	176	0	0	241421	26465	208362	29571
8	2.5	-112	87	204	176	0	0	235417	67201	203180	64747
9	5.5	-6	193	29	25	0	0	0	11769	0	11004
10	5.8	6	205	30	26	1	0	0	12637	0	11789
11	8.9	111	310	367	317	9	0	415016	191951	358187	176334
12	14.6	309	508	341	294	0	0	382964	245067	330524	221282
13	20.6	507	706	315	272	0	0	355655	287978	306954	257394
14	26.7	705	904	280	241	0	0	320734	309603	276815	274835
15	33.3	903	1102	233	201	0	0	275249	302378	237559	267074
16	40.4	1099	1298	172	148	0	0	213658	256090	184402	225295
17	48.3	1288	1487	92	80	0	0	124111	155004	107117	135916
18	54.6	1431	1630	10	8	0	0	14271	17680	12317	15470
				3006	2595	10		3588493	1589990	3097108	1460389

Coefficiente di sicurezza con sisma orizzontale e verticale positivo FS = 2.26
Coefficiente di sicurezza con sisma orizzontale e verticale negativo FS = 2.12
Coefficiente di sicurezza minimo FS = 2.12 superiore al valore minimo richiesto (1.1)