

REALIZZAZIONE DI OPERE DI LAMINAZIONE NELL'ALTO SEVESO

CUP: B83H19000350002 – CIG: 8150878D4C

(CO-E-158)

PROGETTO DEFINITIVO

MARZO 2022

ELABORATO:

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	VERIFICA
00	PRIMA EMISSIONE	MARZO 2022	G. Donghi	G. B. Peduzzi
01				

RUP

Dott. Ing. MARCO LA VEGLIA

ATI:

MANDATARIA



20133 MILANO – via Bassini, 23 – tel. 0226681264
fax 0226681553 – E-Mail: etatec@etatec.it

Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI
Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI
Dott. Ing. STEFANO CROCI
Dott. Ing. FILIPPO MALINGENGO
Dott. Ing. VINCENZO CICCARELLI

MANDANTI

STUDIO PAOLETTI
INGEGNERI ASSOCIATI

20133 MILANO – via Bassini, 23 – tel. 0226681264
fax 0226681553 – E-Mail: studiopaoletti@etatec.it

Dott. Ing. CRISTINA GIUSEPPINA PASSONI

Studio Frati
geologia applicata

22079 VILLA GUARDIA (CO) – via Monte Grappa, 43a
Tel 3388587308 – E-Mail: frati@geologi.it

Dott. Geol. STEFANO FRATI

FABRIZIO MONZA
ARCHITETTO

20014 NERVIANO (MI) – via Ticino, 27
Tel. 0331415944 – E-Mail: studio@archimonza.it

Arch. FABRIZIO MONZA


DOTT. SSA
ILARIA FRONTORI
ARCHEOLOGA

20093 COLOGNO MONZESE (MI) – via Santa Margherita, 14
Tel. 3383775512 – E-Mail: ilaria.frontori@gmail.com

Dott. ILARIA FRONTORI

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	GENERALITÀ	2
2.1	PREMESSE	2
2.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3.	MANUFATTO DI RESTITUZIONE VASCA NORD E REGOLAZIONE VASCA SUD.....	4
3.1	DESCRIZIONE	4
3.2	SBARRAMENTO A SFIORO	4
3.2.1	Analisi dei carichi.....	4
3.2.2	Combinazioni di carico.....	7
3.2.3	Verifiche di sicurezza	7
3.3	IMPALCATO PONTE.....	16
3.3.1	Azioni di dimensionamento	17
3.4	MURI DI SOSTEGNO DEGLI ARGINI E SPALLE PONTE	18
3.4.1	Analisi dei carichi.....	18
3.4.2	Analisi strutturale	21
3.4.3	Caso di carico 1 – falda assente.....	21
3.4.4	Caso di carico 2 – falda a monte ed al piede del muro	31

Mandanti:

I

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – pressione inerziale dell'acqua invasata	6
Figura 2 – Involuppo SLU-GEO: pressioni al suolo minime.....	8
Figura 3 – Involuppo SLU-GEO: pressioni al suolo massime.....	8
Figura 4 – Involuppo SLU-EQU: pressioni al suolo minime (- di compressione).....	11
Figura 5 – Involuppo SLU-EQU: pressioni al suolo massime (- di compressione)	12
Figura 6 – Involuppo SLU-STR: tensioni massime (+ di trazione)	13
Figura 7 – Involuppo SLU-STR: tensioni minime (- di compressione).....	13
Figura 8 – Involuppo SLE: tensioni minime (- di compressione).....	14
Figura 9 – Involuppo SLE: tensioni massime (- di compressione)	15
Figura 10 –tensioni al suolo di esercizio per combinazione di massimo vaso ed assenza di sottospinta idraulica (- di compressione)	16
Figura 11 – sezione impalcato ponte.....	17

Mandanti:

II

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

1. PREMESSA

La presente relazione di calcolo riguarda l'aspetto strutturale dei manufatti da realizzarsi nel contesto delle opere per la laminazione controllata delle piene del torrente Seveso nei Comuni di Montano Lucino, Villa Guardia, Grandate e Luisago.

Le opere descritte nel seguito consistono:

- 1) - manufatto di restituzione vasca nord composto dai seguenti elementi strutturali:
 - a. sbarramento a sfioro a pianta ellissoidica;
 - b. muri di sostegno dell'argine attraversato dall'opera;
 - c. ponte carrabile per garantire la continuità viabilistica della pista che si sviluppa sulla sommità dell'argine;
- 2) - manufatto di regolazione e restituzione vasca sud composto dai seguenti elementi strutturali:
 - a. sbarramento a sfioro a pianta ellissoidica;
 - b. muri di sostegno dell'argine attraversato dall'opera;
 - c. ponte carrabile per garantire la continuità viabilistica della pista che si sviluppa sulla sommità dell'argine.

2. GENERALITÀ

2.1 PREMESSE

Le opere ed i componenti strutturali oggetto della presente relazione di calcolo, sono progettati in modo da consentirne la prevista utilizzazione in forma economicamente sostenibile con il livello di sicurezza previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. del 17/01/2018 (NTC2018).

La vita nominale delle opere in oggetto, definita come numero di anni nei quali è possibile impiegarle secondo le destinazioni previste purché soggette alla ordinaria manutenzione, è stata assunta in 50 anni (NTC2018 Tab. 2.4.1).

Tabella 1 - Opere in progetto: vita nominale e periodo di riferimento dell'azione sismica

OPERA	DESCRIZIONE	TIPOLOGIA COSTRUZIONE	VITA NOMINALE Vn (anni)	CLASSE D'USO	PERIODO DI RIF. AZIONE SISMICA
Manufatto di restituzione vasca nord; manufatto di regolazione vasca sud	1. sbarramenti	2 diga (*)	50 anni	3 (**)	75 anni
(*) diga di dimensione contenuta (**) diga rilevante per le conseguenze di un loro eventuale collasso					

2.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il corpo normativo

1.] D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni
2.] D. M. Min. II. TT. del 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”
3.] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008
4.] Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 – Istruzioni per l'applicazione delle “Aggiornamento delle nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018
5.] UNI EN 1990 (Eurocodice 0) – Aprile 2006: “Criteri generali di progettazione strutturale”
6.] UNI EN 1991-2-4 (Eurocodice 1) – Agosto 2004 – Azioni in generale: “Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”
7.] UNI EN 1991-1-1 (Eurocodice 1) – Agosto 2004 – Azioni in generale- Parte 1-1: “Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”

Mandanti:

2

8.] UNI EN 1991-2 (Eurocodice 1) – Marzo 2005 – Azioni sulle strutture- Parte 2: “Carico da traffico sui ponti”
9.] UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: “Regole generali e regole per gli edifici”
10.] UNI EN 1992-2 (Eurocodice 2) – Gennaio 2006: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: “Ponti in calcestruzzo - progettazione e dettagli costruttivi”
11.] UNI EN 1997-1 (Eurocodice 7) – Febbraio 2005: “Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali”
12.] UNI EN 1998-1 (Eurocodice 8) – Marzo 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali – Azioni sismiche e regole per gli edifici”
13.] UNI EN 1998-2 (Eurocodice 8) – Febbraio 2006: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti”
14.] UNI ENV 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”
15.] UNI EN 197-1 giugno 2001 – “Cemento: composizione, specifiche e criteri di conformità per cementi comuni
16.] UNI EN 11104 marzo 2004 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1
17.] UNI EN 206-1 ottobre 2006 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”
18.] Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale
19.] D.M. 23/02/71 “Norme tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto”

3. MANUFATTO DI RESTITUZIONE VASCA NORD E REGOLAZIONE VASCA SUD

3.1 DESCRIZIONE

Il manufatto di restituzione vasca nord e di regolazione vasca sud è composto dai seguenti elementi strutturali:

- a) sbarramento a sfioro a pianta ellissoidica
- b) muri di sostegno dell'argine attraversato dall'opera
- c) ponte carrabile per garantire la continuità viabilistica della pista che si sviluppa sulla sommità dell'argine;

3.2 SBARRAMENTO A SFIORO

Lo sbarramento costituito da muro in calcestruzzo è rappresentato da muro in calcestruzzo rivestito per la quasi totalità della sua altezza da paramento in pietra ancorato alla parete. La fondazione è di tipo diretto con sezione trasversale rettangolare è posata su suolo consolidato mediante colonne di jet-grouting secondo specifiche definite nel progetto geotecnico.

In tabella si riporta l'altezza dello sbarramento:

Le quote di progetto dell'invaso sono governate dall'altezza idrica a monte e correlate ai periodi di ritorno di 100 anni e 500 anni come riportato nel progetto idraulico.

3.2.1 Analisi dei carichi

I carichi assunti per le verifiche di sicurezza del manufatto sono:

- a) **CARICHI STRUTTURALI (Gk1):** densità calcestruzzo debolmente armato 24,0 kN/mc
- b) **CARICHI NON STRUTTURALI (Gk2):** sono rappresentati dal peso del rivestimento in pietra cementata eseguito a protezione del manufatto ($24,0 \text{ kN/mc} \cdot 0,2 = 4,80 \text{ kN/mq}$)
- c) **CARICHI IDROSTATICI (Qk):** suddivisi in casi di carico si sono contemplati gli effetti indotti dai possibili battenti idraulici presenti ai due lati della parete di sbarramento.
 - pressioni idrostatiche correlate al raggiungimento dei diversi livelli di invasore
 - azioni indotte dalla sottospinta idraulica per effetto delle pressioni interstiziali nel suolo

Mandanti:

4

di fondazione: applicate ad intradosso fondazione con distribuzione linearmente decrescente da lato con maggior battente a quello con battente inferiore

- azioni inerziali dell'acqua invasata: sono state valutate con riferimento al D.M. del 24/03/1982 ed alla "Proposta di aggiornamento delle Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)" allegato al Voto n.204/2009 – Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei LL.PP. – Aggiornamento del 18/12/2009.

Le tabelle seguenti ne riportano il calcolo per quote di invaso associate ai periodi di ritorno di progetto (T.500 anni) e (T.100 anni).

quota battente (T500)	Qw = 252,20 (sopra sfioro)		$pw.din(y) = a \cdot p \cdot y_o \cdot c(Y)$									
quota sfioro (altezza sommità muro)	Q.sfioro = 250,50		$pw.din(y) = 3,96 \cdot c(y)$									
quota fondo invaso	Q.fondo = 246,70		$c(Y) = cm/2 \cdot (Y/Y_o \cdot (2-Y/Y_o) + (Y/Y_o \cdot (1-Y/Y_o))^0{,}5)$									
altezza sfioro	H.sfioro = 3,80											
altezza battente da fondo invaso	Y_o = 5,500		$Fi, Mi = azioni alla base del muro$									
ΔX (m)	ΔY (m)	h (m)	Q (m)	Y=(Y _o -h) (m)	Y/Y _o	α (°)	cm.i (-)	$\Delta Y \cdot cm.i$ (m)	c(y) (-)	pw.din (kN•m²)	F.i (kN)	M.i (kN•m)
battente sopra sfioro	0,20	5,50	252,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,50	5,30	252,00	0,20	0,04	-	-	-	0,1255	0,497	-	-
	0,50	4,80	251,50	0,70	0,13	-	-	-	0,2693	1,066	-	-
	0,50	4,30	251,00	1,20	0,22	-	-	-	0,3751	1,486	-	-
sfioro	-	0,30	250,50	1,70	0,31	-	0,7412	0,2224	0,4616	1,828	0,57	2,10
	-	0,50	250,20	2,00	0,36	-	0,7412	0,3706	0,5064	2,005	1,07	3,46
	-	0,50	249,70	2,50	0,45	-	0,7412	0,3706	0,5710	2,261	1,18	3,25
	-	0,50	249,20	3,00	0,55	-	0,7412	0,3706	0,6241	2,472	1,28	2,87
	-	0,50	248,70	3,50	0,64	-	0,7412	0,3706	0,6668	2,641	1,35	2,36
	-	0,50	248,20	4,00	0,73	-	0,7412	0,3706	0,6996	2,770	1,41	1,76
	-	1,00	247,70	4,50	0,82	-	0,7412	0,7412	0,7228	2,862	2,90	1,44
	-	-	246,70	5,50	1,00	-	-	-	0,7412	2,935	-	-
cm = 0,7412								$\Sigma Fi ; \Sigma Mi =$		9,76	17,25	
altezza risultante (da base muro)								h.Fi (m) =		1,77		

quota battente (T100)	Qw = 251,35 (sopra sfioro)		$pw.din(y) = a \cdot p \cdot y_o \cdot c(Y)$									
quota sfioro (altezza sommità muro)	Q.sfioro = 250,50		$pw.din(y) = 3,348 \cdot c(y)$									
quota fondo invaso	Q.fondo = 246,70		$c(Y) = cm/2 \cdot (Y/Y_o \cdot (2-Y/Y_o) + (Y/Y_o \cdot (1-Y/Y_o))^0{,}5)$									
altezza sfioro	H.sfioro = 3,80											
altezza battente da fondo invaso	Y_o = 4,650		$Fi, Mi = azioni alla base del muro$									
ΔX (m)	ΔY (m)	h (m)	Q (m)	Y=(Y _o -h) (m)	Y/Y _o	α (°)	cm.i (-)	$\Delta Y \cdot cm.i$ (m)	c(y) (-)	pw.din (kN•m²)	F.i (kN)	M.i (kN•m)
-	0,30	3,80	250,50	0,85	0,18	-	0,7412	0,2224	0,3367	1,127	0,37	1,36
-	0,50	3,50	250,20	1,15	0,25	-	0,7412	0,3706	0,4046	1,355	0,76	2,45
-	0,50	3,00	249,70	1,65	0,35	-	0,7412	0,3706	0,4995	1,672	0,90	2,47
-	0,50	2,50	249,20	2,15	0,46	-	0,7412	0,3706	0,5760	1,928	1,01	2,28
-	0,50	2,00	248,70	2,65	0,57	-	0,7412	0,3706	0,6366	2,131	1,10	1,93
-	0,50	1,50	248,20	3,15	0,68	-	0,7412	0,3706	0,6828	2,286	1,17	1,46
-	1,00	1,00	247,70	3,65	0,78	-	0,7412	0,7412	0,7154	2,395	2,44	1,21
-	-	-	246,70	4,65	1,00	-	-	-	0,7412	2,482	-	-
cm = 0,7412								$\Sigma Fi ; \Sigma Mi =$		7,76	13,16	
altezza risultante (da base muro)								h.Fi (m) =		1,70		

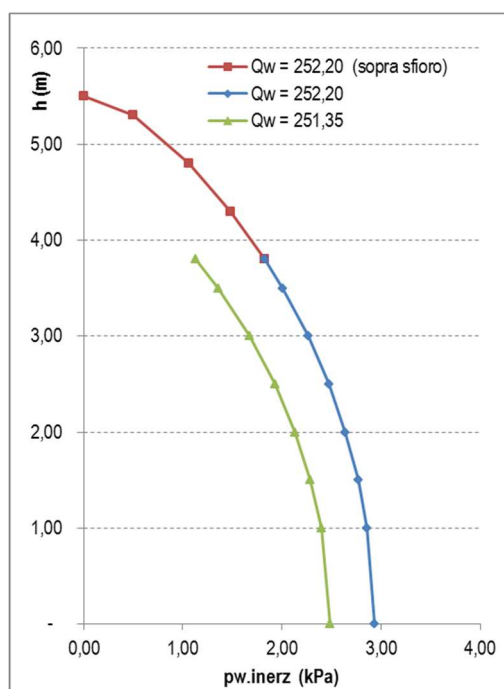


Figura 1 – pressione inerziale dell'acqua invasata

d) COAZIONI DI ORIGINE TERMICA E DA RITIRO (Qk):

La contrazione del calcestruzzo associata al rilascio dell'acqua d'impasto stechiometricamente libera è equiparato a quello di un abbassamento termico di 10°C.

Le coazioni indotte dalle variazioni termiche ambientali sono state analizzate considerando una escursione termica estiva di +15°C ed invernale di -20°C, rispetto alla temperatura di base media di 15°C.

Il coefficiente di dilatazione termica impiegato vale $10 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

Il controllo del calore di idratazione, significativo nei getti massivi, è attuato attraverso l'impiego di cementi a basso sviluppo di calore piuttosto che con l'aggiunta di minerali pozzolanici in parziale sostituzione del cemento. Opportune protezioni in fase di maturazione dei getti dovranno garantire una differenza tra la temperatura iniziale della miscela di calcestruzzo e quella misurata dopo 72 ore, misurata in condizioni adiabatiche, inferiore a 35°C.

CASO DI CARICO	
19	RITIRO -10°C
20	TEMPRATURA PARETE 30°C (TEMPERATURA DI BASE 15°C)
21	TEMPRATURA PARETE -5°C (TEMPERATURA DI BASE 15°C)

e) AZIONE SISMICA (Ed):

La caratterizzazione sismica del sito in esame, descritta nella “Relazione geotecnica e sismica”, indica la massima accelerazione sismica al suolo per lo Stato limite di salvaguardia della vita (SLV) in $a_{max} = a_g \cdot S = 0,072 \cdot g$.

3.2.2 Combinazioni di carico

I casi di carico elementari sono stati assemblati al fine di eseguire le seguenti verifiche:

- SLU-GEO: stato limite ultimo di tipo geotecnico (collasso del suolo per carico limite, scorrimento sul piano di posa, ribaltamento)
- SLU-STR: stato limite ultimo di resistenza degli elementi strutturali
- SLE: stato limite di esercizio (tensioni al suolo per il controllo dei cedimenti, tensioni dei materiali, deformazioni)

3.2.3 Verifiche di sicurezza*3.2.3.1 Verifica della capacità portante*

Al fine di contenere i cedimenti del manufatto, il terreno necessita di un consolidamento mediante iniezioni colonnari (jet-grouting) ne consegue una capacità portante limite, desunta dal rapporto geotecnico, di $p_{lim} = 521 \text{ kPa}$

Dall'analisi si desume che le pressioni massime per combinazioni SLU-GEO risultano inferiori a p_{lim} :

COMBINAZIONE DI CARICO		PRESSIONE MASSIMA	PRESSIONE MINIMA
10	SLUgeo-A 1	-41.4 kPa	-102.3 kPa
11	SLUgeo-A 2	-34.3 kPa	-50.6 kPa
12	SLUgeo-B 1	-37.6 kPa	-112.2 kPa
13	SLUgeo-B 2	-34.5 kPa	-53.1 kPa

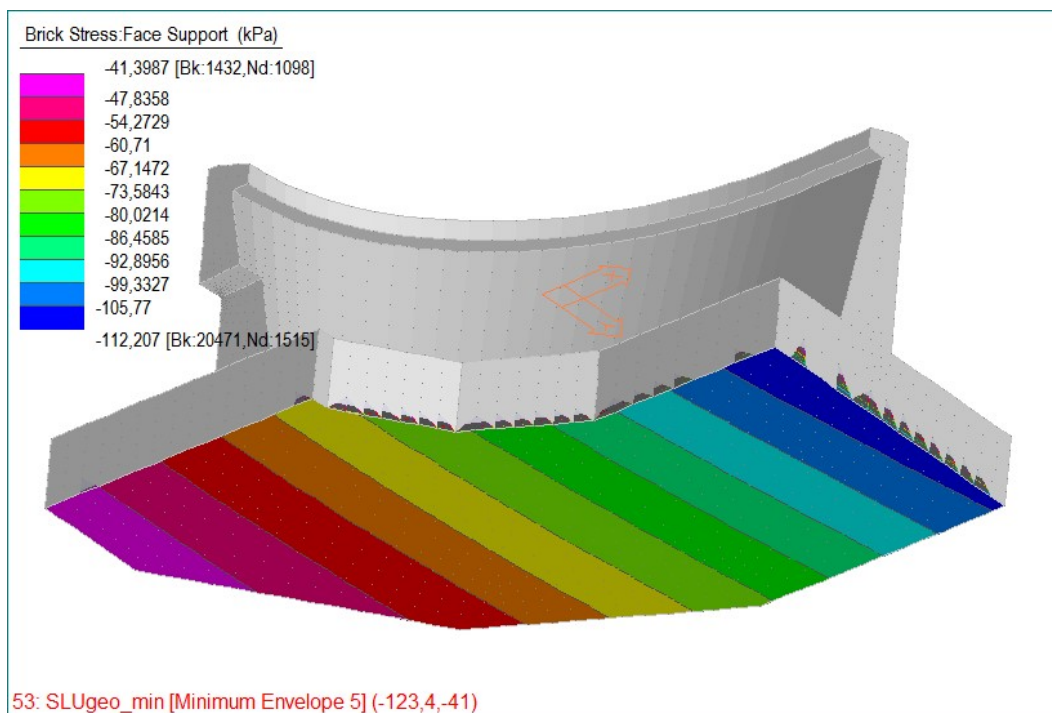


Figura 2 – Involuppo SLU-GEO: pressioni al suolo minime

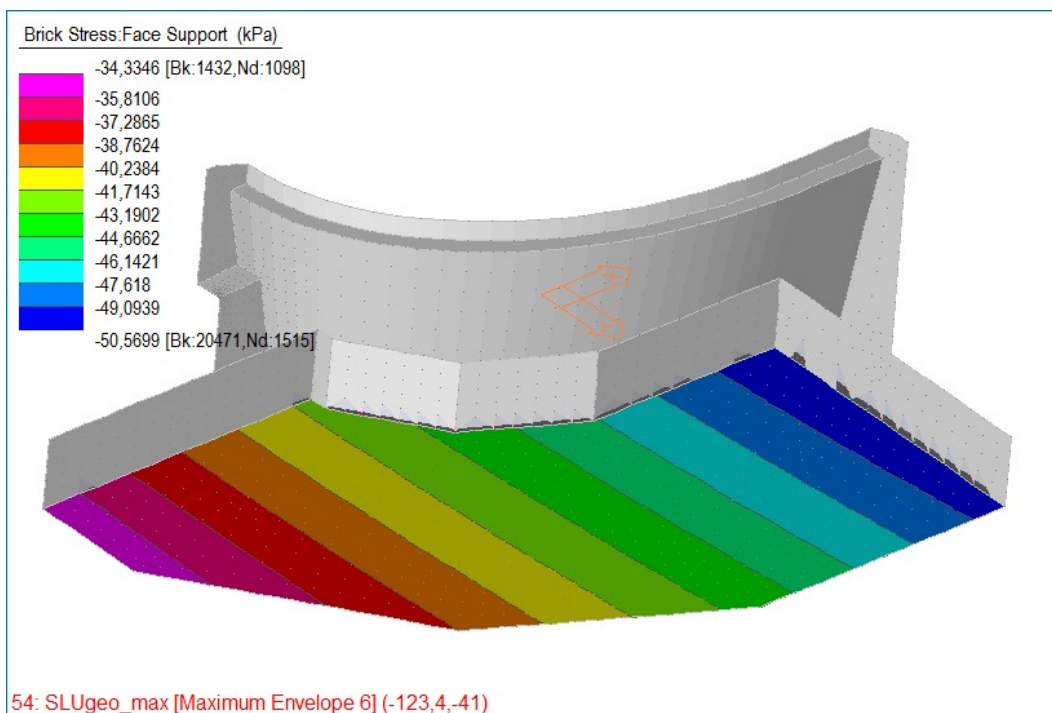


Figura 3 – Involuppo SLU-GEO: pressioni al suolo massime

Mandanti:

8

3.2.3.2 Verifica allo scorrimento

La verifica allo scorrimento avviene attraverso il controllo che il rapporto tra la risultante delle azioni orizzontali applicate alla struttura e le concomitanti azioni verticali, sia inferiore al coefficiente di attrito suolo-fondazione quantificato nel rapporto geotecnico in $cf.lim = 0,72$ (suolo consolidato). Tale limite è inferiore al valore di soglia normato nella L.R. n.7/3699 del 5/3/2001 §10.4 che prevede $cf.lim=0,75$ in condizioni statiche e $cf.lim = 0,8$ considerando anche le azioni sismiche.

Come si evince dalla tabella seguente, per ogni combinazione di carico SLU-GEO e SLV, $cf.max = 0,69 < cf.lim$.

LOAD CASES	10	11	12	13	18	19	20	21	22	23	24	25
1: Gk1 - peso proprio	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2: Gk2 - rivestimento pietra	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3: W1 (251.35) battente a monte	1,3	1,3	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0	-	-	-	-
4: W1 (251.35) battente a valle	-	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5: W1 (251.35) sottosp idr (m1-v0)	1,3	-	-	-	1,0	1,0	1,0	-	-	-	-	-
6: W1 (251.35) sottosp idr (m1-v1)	-	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7: W1 (251.35) inerz acqua monte /IX	-	-	-	-	-	-1,0	-	-1,0	-	-	-	-
8: W1 (251.35) inerz acqua monte /IY	-	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-
9: W1 (251.35) inerz acqua valle /IX	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10: W1 (251.35) inerz acqua valle /IY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11: W5 (252.20) battente monte	-	-	1,3	1,3	-	-	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0
12: W5 (252.20) battente valle	-	-	-	1,3	-	-	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0
13: W1 (252.20) sottosp idr (m1-v0)	-	-	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14: W1 (252.20) sottosp idr (m1-v1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15: W5 (252.20) inerz acqua monte /IX	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	-1,0	-	-1,0
16: W5 (252.20) inerz acqua monte /IY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	-1,0
17: W5 (252.20) inerz acqua valle /IX	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18: W5 (252.20) inerz acqua valle /IY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19: Ritiro (-10°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20: Tmuro=30°C (To=15°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21: Tmuro= -5°C (To=15°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22: Sism /Ix - SLV	-	-	-	-	1,0	-1,0	-	-	1,0	-1,0	-	-1,0
23: Sism /Iy - SLV	-	-	-	-	-	-	1,0	-1,0	-	-	1,0	-1,0
$\sum F_x$ (kN) =	3.163	1.391	3.821	1.587	3.378	1.489	2.433	2.433	3.895	1.984	2.939	2.939
$\sum F_y$ (kN) =	-4.932	-1.192	-5.987	-1.326	-3.794	-3.794	-3.123	-4.465	-4.605	-4.605	-3.953	-5.258
$\sum F_z$ (kN) =	-9.868	-5.845	-10.292	-6.042	-9.971	-9.971	-9.971	-9.971	-10.298	-10.298	-10.298	-10.298
$F = \text{rad}q(F_x^2 + F_y^2)$ (kN) =	5.859	1.832	7.102	2.069	5.080	4.076	3.959	5.085	6.032	5.014	4.926	6.023
$cf = F/F_z$ (-) =	0.594	0.313	0.690	0.342	0.509	0.409	0.397	0.510	0.586	0.487	0.478	0.585
Coefficiente di attrito limite (cf.lim) = $\tan(36^\circ)$	0,727	0,727	0,727	0,727	0,727	0,727	0,727	0,727	0,727	0,727	0,727	0,727
$cf / cf.lim$ =	0.817	0.431	0.950	0.471	0.701	0.563	0.546	0.702	0.806	0.670	0.658	0.805

Tabella 2 – verifica allo scorrimento

Mandanti:

10

3.2.3.3 Verifica stato limite di equilibrio come corpo rigido

La verifica dello stato limite al ribaltamento del manufatto è implicitamente controllata dall'accertamento che nelle combinazioni SLU-EQU, le tensioni al suolo sono di compressione in ogni punto della superficie di fondazione.

COMBINAZIONE DI CARICO		PRESSIONE MASSIMA	PRESSIONE MINIMA
14	SLUequ-A 1	-30.2 kPa	-97.0 kPa
15	SLUequ-A 2	-22.0 kPa	-37.4 kPa
16	SLUequ-B 1	-25.8 kPa	-108.5 kPa
17	SLUequ-B 2	-22.2 kPa	-40.3 kPa

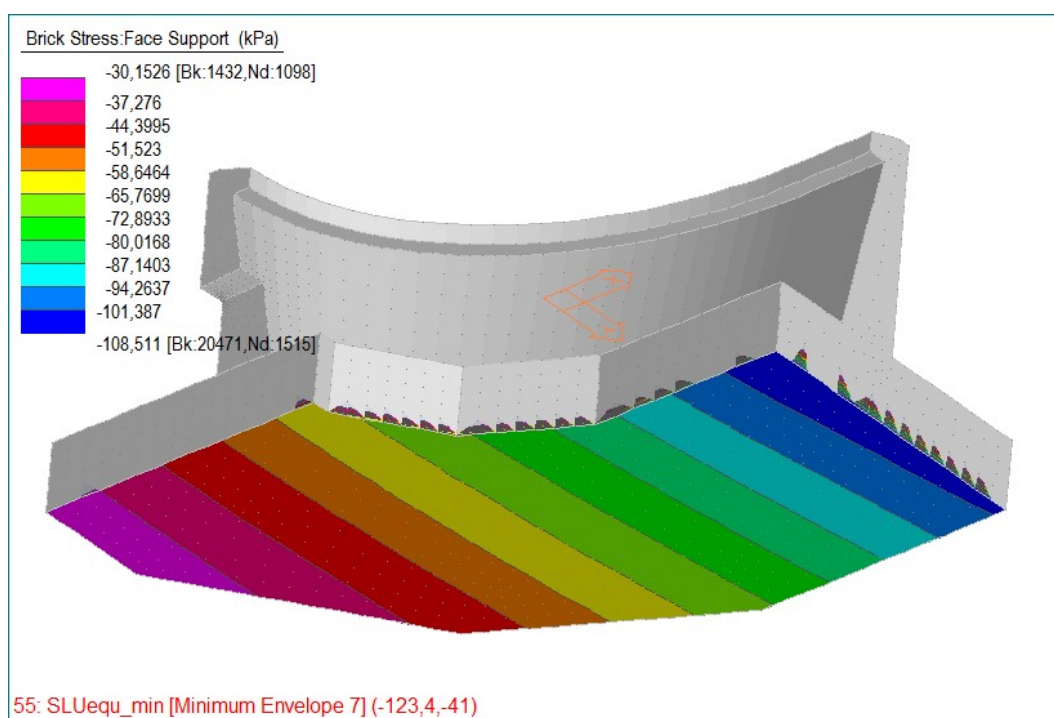


Figura 4 – Involuppo SLU-EQU: pressioni al suolo minime (- di compressione)

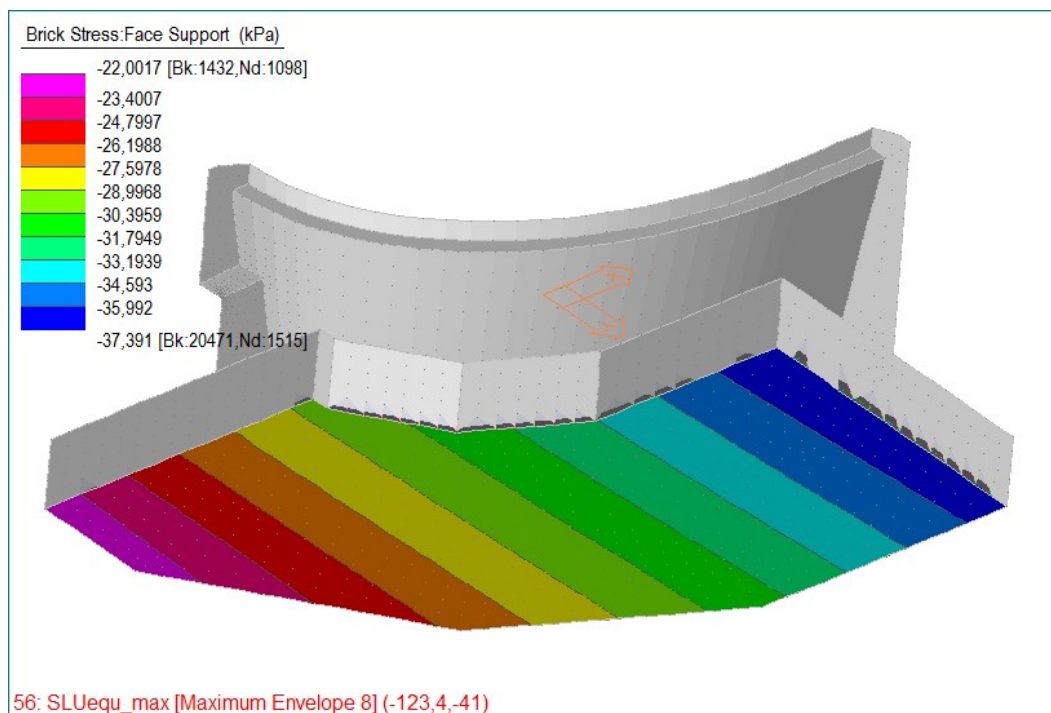


Figura 5 – Involuppo SLU-EQU: pressioni al suolo massime (- di compressione)

3.2.3.4 Verifiche strutturali

Le mappe cromatiche riportate di seguito evidenziano che il regime di tensione del manufatto per le combinazioni SLU-STR, presenta i seguenti valori massimi:

COMBINAZIONE DI CARICO		TENSIONE MASSIMA (trazione)	TENSIONE MINIMA (compressione)
6	SLUstr-A 1	1126 kPa	-2577 kPa
7	SLUstr-A 2	110 kPa	-526 kPa
8	SLUstr-B 1	1392 kPa	-3222 kPa
9	SLUstr-B 2	109 kPa	-638 kPa

Essi risultano sempre inferiori alle corrispondenti soglie minime relative al calcestruzzo di classe C25/30 come di seguito riportate

CALCESTRUZZO C25/30			
resistenza caratteristica di compressione	fck =	25000 kPa	
resistenza media a trazione	fctm =	2600 kPa	
resistenza di progetto a compressione	$0.85 \cdot f_{cd} = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 =$	14167 kPa	
resistenza a trazione	$f_{ctd} = f_{ctm} / 1.5 =$	1733 kPa	

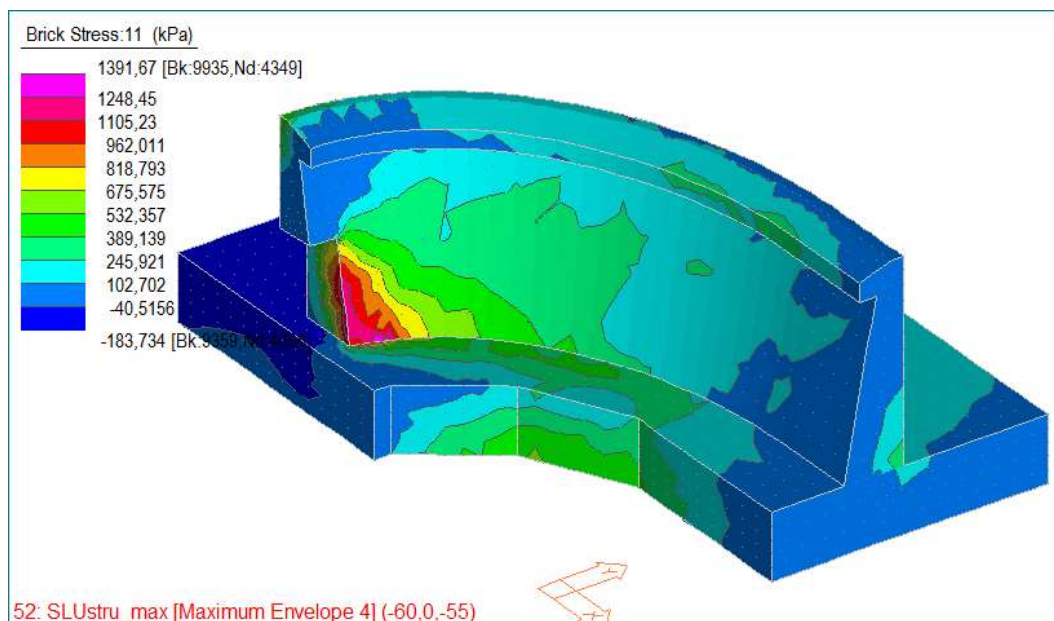


Figura 6 – Involuppo SLU-STR: tensioni massime (+ di trazione)

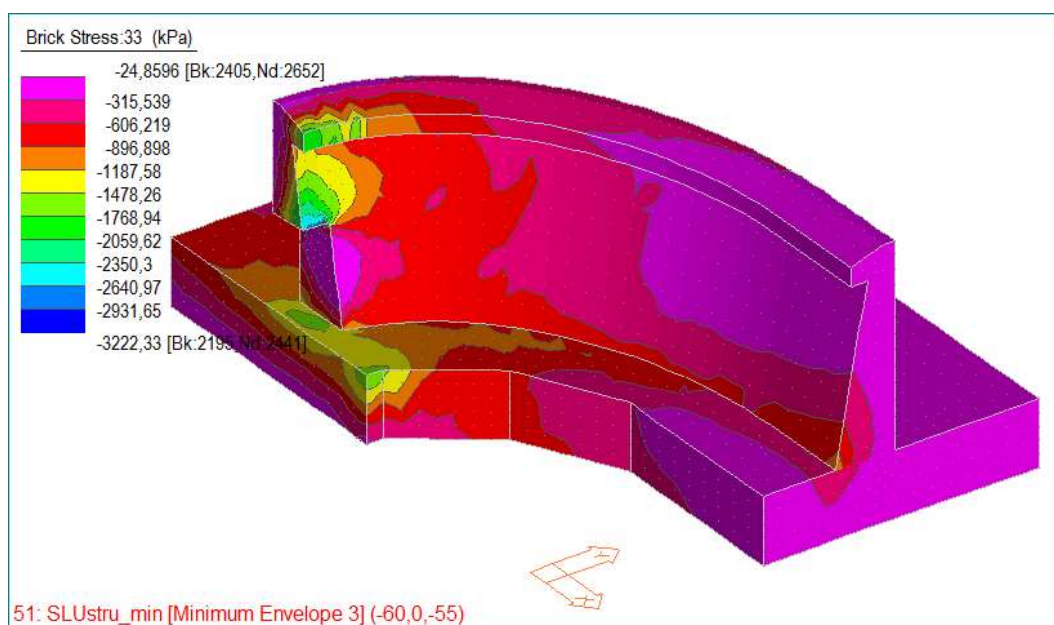


Figura 7 – Involuppo SLU-STR: tensioni minime (- di compressione)

3.2.3.5 Verifiche di esercizio

Le mappe cromatiche riportate di seguito evidenziano che il regime di tensione del manufatto per le combinazioni SLE (combinazione rara), presenta i seguenti valori massimi:

Mandanti:

13

COMBINAZIONE DI CARICO		TENSIONE MASSIMA (trazione)	TENSIONE MINIMA (compressione)
1	SLE 0	134 kPa	-421 kPa
2	SLE-A 1	769 kPa	-1767 kPa
3	SLE-A 2	91 kPa	-406 kPa
4	SLE-B 1	946 kPa	-2197 kPa
5	SLE-B 2	90 kPa	-479 kPa

Essi risultano sempre inferiori alle corrispondenti soglie minime relative al calcestruzzo di classe C25/30 come di seguito riportate:

CALCESTRUZZO C25/30		
resistenza caratteristica di compressione	fck =	25000 kPa
resistenza media a trazione	fctm =	2600 kPa
TENSIONI LIMITE DI ESERCIZIO		
tensione limite di compressione	$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck} =$	15000 kPa
tensione limite di trazione (formazione di fessure)	$\sigma_t \leq f_{ctm} / 1.2 =$	2167 kPa

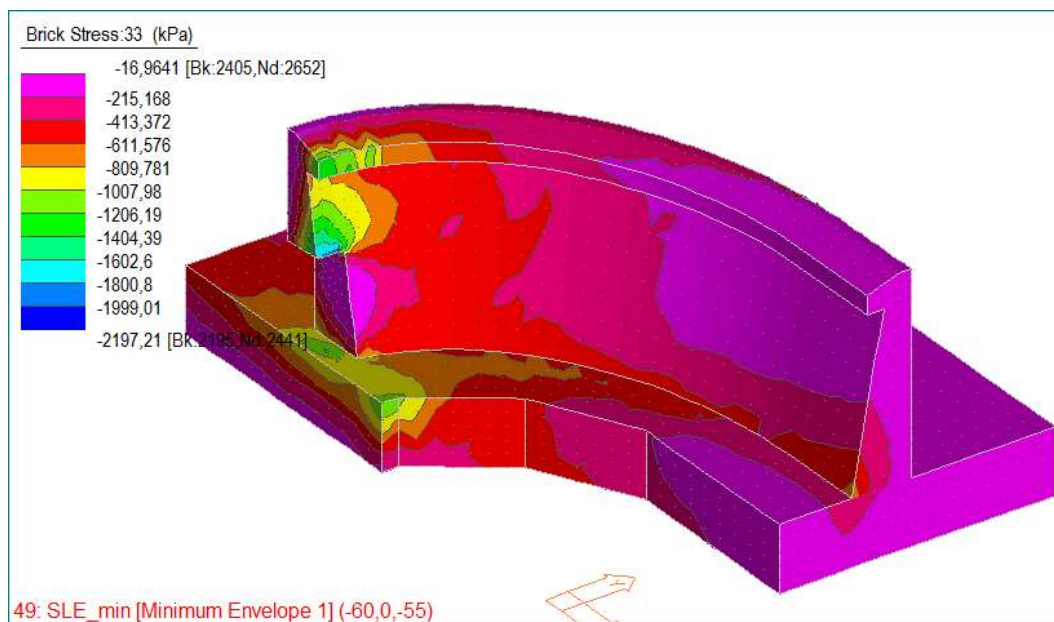


Figura 8 – Involuppo SLE: tensioni minime (- di compressione)

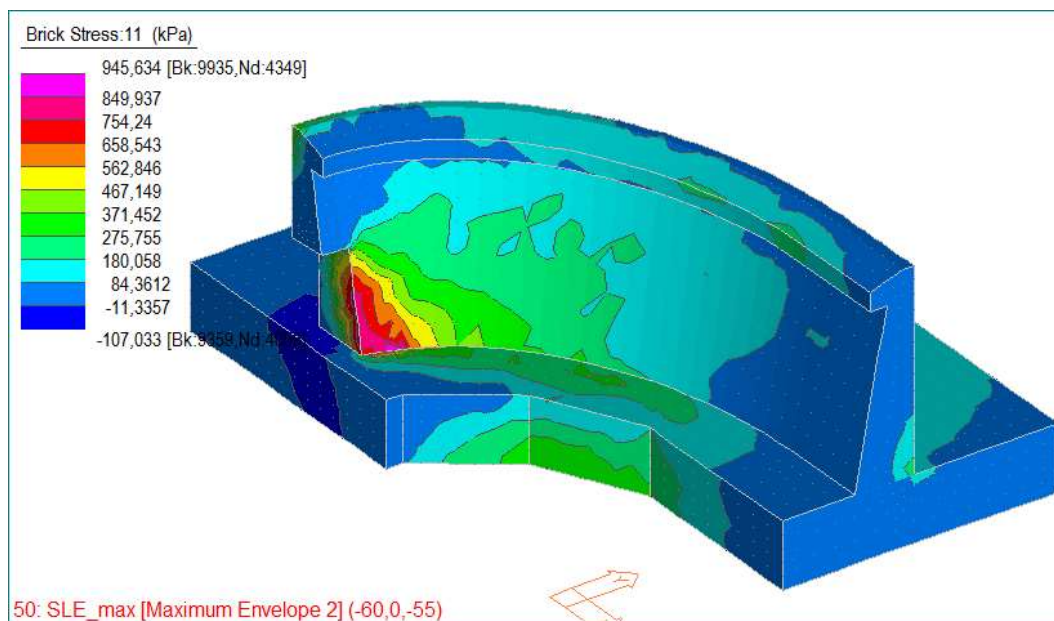


Figura 9 – Involuppo SLE: tensioni massime (- di compressione)

I valori di tensione al suolo in condizioni di esercizio e considerando la presenza della sottospinta idraulica, sono:

COMBINAZIONE DI CARICO		TENSIONE MINIMA (- compressione)	TENSIONE MASSIMA (- compressione)
1	SLE 0	-82 kPa	-69 kPa
2	SLE-A 1	-97 kPa	-49 kPa
3	SLE-A 2	-58 kPa	-43 kPa
4	SLE-B 1	-105 kPa	-46 kPa
5	SLE-B 2	-59 kPa	-49 kPa

Considerando che le unità litologiche indagate non hanno evidenziato la presenza di lenti impermeabili che possono limitare efficacemente di drenaggio verticale dell'invaso si è esaminata l'evenienza che la sottospinta idraulica possa non esercitarsi integralmente; tale aleatorietà, unitamente alla presenza di consolidamento fondale che riduce il moto di filtrazione al di sotto del manufatto, avvalora la scelta di esaminare le pressioni al suolo in assenza della sottospinta. In tale situazione si è riscontrata una pressione massima di 140.9 kPa (combinazione di massimo invasore a quota 252,20 sia per vasca 1 che per vasca 2) a cui corrisponde un cedimento medio inferiore a 5 mm per suolo consolidato. In assenza del miglioramento del terreno, il cedimento medio stimabile sarebbe di 33 mm.

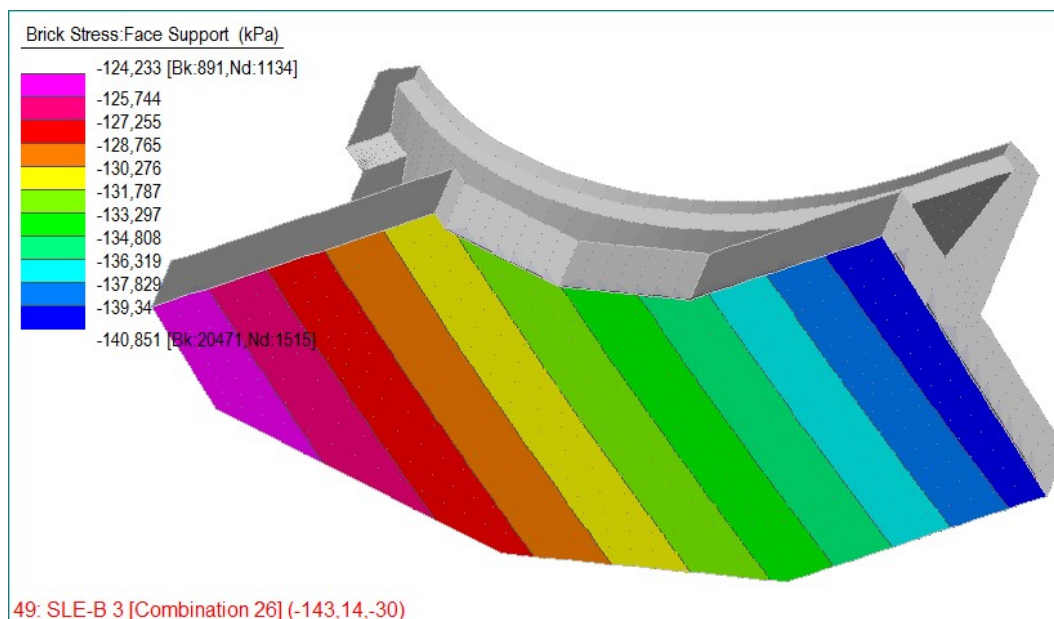


Figura 10 –tensioni al suolo di esercizio per combinazione di massimo invaso ed assenza di sottospinta idraulica (- di compressione)

3.3 IMPALCATO PONTE

Il collegamento viario superiore di 1.00 m al livello di massimo invaso dei bacini associato al periodo di ritorno di 500 anni. L'impalcato di luce netta 14.40 m e larghezza del piano viario di 3.50 m è costituito da tre elementi scatolari prefabbricati di calcestruzzo precompresso tipo FORAP aventi larghezza di 1.20 m e spessore di 70 cm muniti di cappa estradossale di calcestruzzo dello spessore di 25 cm fungente da integrazione sezionale e collegamento degli elementi prefabbricati nonché da ripartitore trasversale delle azioni. Lo stesso getto integrativo si estende ai lati degli elementi prefabbricati per la regolarizzazione geometrica dell'impalcato e la formazione dei cordoli di delimitazione del piano viario ed ancoraggi dei parapetti. In corrispondenza degli appoggi è prevista la formazione di traversi connessi agli elementi prefabbricati ed al getto di completamento da specifiche armature disposte negli alveoli e nella cappa estradossale.

Lo schema statico del manufatto è riconducibile a semplici appoggi alle estremità grazie all'adozione di appoggi in elastomero armato che permettono spostamenti relativi tra impalcato e sommità muro per le differenti azioni di progetto tali da assicurare il disaccoppiamento impalcato-spalle di sostegno le quali sono pertanto concepite come muri di sostegno

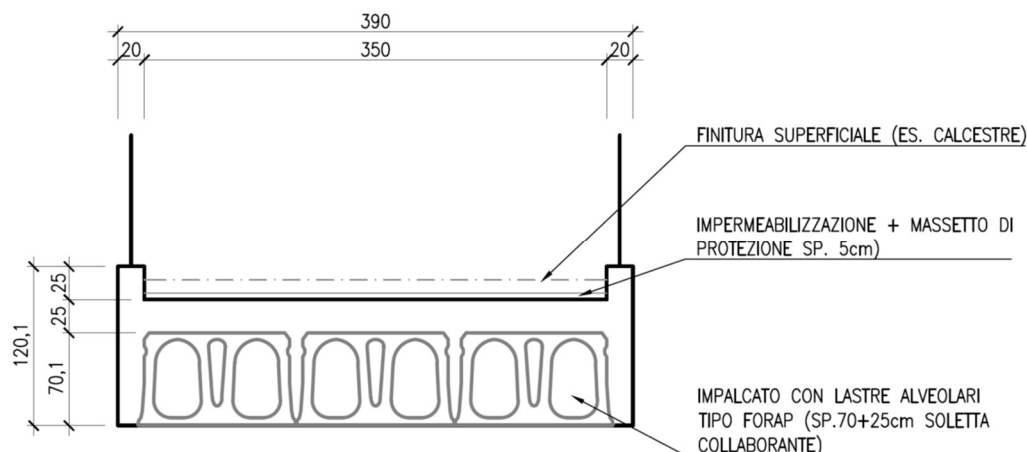


Figura 11 – sezione impalcato ponte

3.3.1 Azioni di dimensionamento

Conformemente alla classificazione riportata nel D.M. del 17/01/2018 (NTC2018), l'opera è stata progettata come ponte di 2^a categoria

Per le verifiche di sicurezza dell'impalcato si sono considerati i seguenti carichi caratteristici:

g_k peso proprio impalcato di larghezza 3.9 m realizzato con 3 elementi precomprese "Forap" di altezza 70 cm e larghezza 120 cm e completato in opera con getto della soletta collaborante dello spessore di 25 cm e dei cordoli laterali $g_k = 16.10 \text{ kN/m}^2$

p_{k1} massetto di pendenza e guaine impermeabili $p_{k1} = 1.20 \text{ kN/m}^2$

p_{k2} piano viario in calcestre $p_{k2} = 2.00 \text{ kN/m}^2$

p_{k3} parapetto metallico $p_{k3} = 0.60 \text{ kN/m}$

q_{k1} azioni variabili caratteristiche del traffico, comprensive degli effetti dinamici, esaminate con i seguenti schemi di carico:

schema 1) costituito da una colonna di carico di larghezza convenzionale 3.0 m. Le azioni di ciascuna colonna sono costituite da carichi concentrati su tandem di due assi (Q_{ik}), disposti in asse colonna, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0.40 m (interasse longitudinale 1.2 m, interasse trasversale 2.0 m), e da carico uniformemente distribuiti (q_{ik}) sull'intera colonna. Questo schema è assunto per le verifiche globali e locali.

corsia 1: carico asse $Q_{ik} = 240 \text{ kN}$, $q_{ik} = 7.20 \text{ kN/m}^2$

schema 2) costituito da singolo asse da 400 kN con impronte di pneumatico di forma

rettangolare con lati 0.60x0.35 m. Questo schema è considerato autonomamente e disposto nella posizione più gravosa per le verifiche locali.

schema 3) costituito da carico isolato da 150 kN con impronta quadrata di lato 0.40 m. Schema considerato per verifiche locali sui marciapiedi.

schema 5) costituito da folla compatta di 5.0 kN/mq.

I carichi concentrati sono considerati uniformemente distribuiti sulle impronte e la diffusione attraverso la pavimentazione e lo spessore della soletta avviene secondo un angolo di 45°.

q_5 azioni da vento $q_5 = 0.70 \text{ kN/m}^2$

L'azione della neve non è significativa in relazione agli altri carichi variabili verticali.

q_6 azioni sismiche: per la definizione degli effetti delle azioni sismiche si sono considerate le masse corrispondenti ai pesi propri, ai sovraccarichi permanenti ed un'aliquota delle masse corrispondenti ai carichi da traffico paria al loro valore quasi permanente ($\psi_2=0.2$).

$q_{k.1}$ azioni sui parapetti: azione orizzontale applicata al corrimano $q_{k.1} = 2.00 \text{ kN/m}$

3.4 MURI DI SOSTEGNO DEGLI ARGINI E SPALLE PONTE

Delle analisi condotte per il dimensionamento dei muri che sostengono gli argini in corrispondenza dell'opera, si riporta il manufatto più significativo: muro con paramento di maggior altezza e gravato dall'impalcato del ponte.

3.4.1 Analisi dei carichi

I carichi assunti per le verifiche di sicurezza del manufatto sono:

- a) CARICHI STRUTTURALI (G_{k1}): densità calcestruzzo armato 25,00 kN/mc
- b) CARICHI NON STRUTTURALI (G_{k2}): consistono nei seguenti carichi:
 - spinta alle spalle del paramento murario determinata in funzione delle caratteristiche del terreno di riempimento ed impiegato per la realizzazione degli argini.

Nel tabulato di calcolo sono riportate le caratterizzazioni geotecniche degli strati imputati e desunti dalla relazione geotecnica.

 - carichi ad assetto fisso trasmessi dall'impalcato del ponte (

– Tabella 3)

- c) CARICHI VARIABILI (Q_k1): carichi mobili trasmessi dall'impalcato del ponte (
- d) Tabella 3)
- e) CARICHI IDROSTATICI (Q_k2): considerano le pressioni che si sviluppano sul manufatto per effetto dei fenomeni di filtrazione che si instaurano negli argini tra le vasche di laminazione 1 e 2. La condizione più sfavorevole si verifica quando il moto di filtrazione genera un battente idraulico pari al livello di massima piena dell'invaso di monte. Nella progettazione delle spalle, si sono considerate le eventuali sottospinte che si generano nel suolo di fondazione.

Tabella 3 – azioni da impalcato da ponte

3.4.2 Analisi strutturale

L'analisi strutturale è stata condotta determinando le spinte secondo la formulazione di Mononobe-Okabe applicando quindi il metodo dell'equilibrio limite.

Considerando che gli argini vengono realizzati preliminarmente alla posa dell'impalcato e che questo non costituisce vincolo sommitale al muro grazie all'impiego di dispositivi di appoggio che consentono spostamenti relativi tra i due manufatti, la spinta a tergo del muro si considera di tipo attivo. Nelle verifiche di stabilità non si è ritenuto opportuno mettere in conto di contropinte di tipo passivo al piede della fondazione in quanto il suo sviluppo richiederebbe spostamenti incompatibili per l'appoggio del ponte.

L'analisi sismica è stata sviluppata secondo quanto previsto dalla normativa vigente, in cui la relativa azione 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:

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

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

$$a_{max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g = 0,072$$

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 coefficienti sismici sopra definiti sono considerati costanti lungo l'altezza del muro e sono riportati nei tabulati di seguito riportati. Essi sono stati desunti dalla relazione geotecnica,.

L'incremento di spinta dovuto al sisma può venire assunto agente nello stesso punto di quella statica.

3.4.3 Caso di carico 1 – falda assente

1 Geometria del muro

1.1 Sistema di riferimento

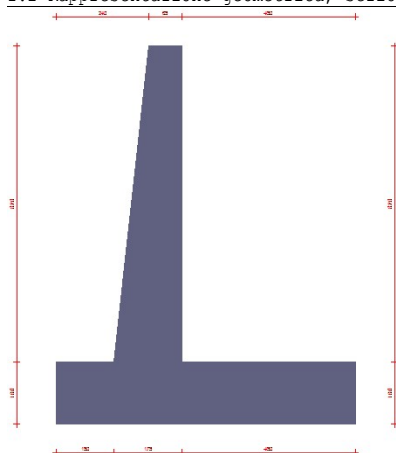
Il sistema di riferimento adottato prevede l'origine nel punto medio della sezione di base del per le coordinate:

Mandanti:

21

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.

1.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale



1.3 Rappresentazione analitica

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

Ingombro globale	
Larghezza totale del muro	: 775 cm
Altezza totale del muro	: 980 cm
Peso specifico del muro	: 2500 daN/m ³
Peso specifico delle falde	: 1000 daN/m ³

Paramento	
Base inf.	: 175 cm
Base sup.	: 85 cm
Altezza	: 820 cm
Disassamento	: 45 cm

Mensola sinistra in fondazione	
Larghezza	: 150 cm
Alt.interna	: 160 cm
Alt.esterna	: 160 cm
Disassamento	: 0 cm

Zoccolo centrale in fondazione	
Larghezza	: 175 cm
Altezza a sx	: 160 cm
Altezza a dx	: 160 cm
Sfalsamento	: 0 cm

Mensola destra in fondazione	
Larghezza	: 450 cm
Alt.interna	: 160 cm
Alt.esterna	: 160 cm
Disassamento	: 0 cm

2 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 (-)

Mandanti:

22

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

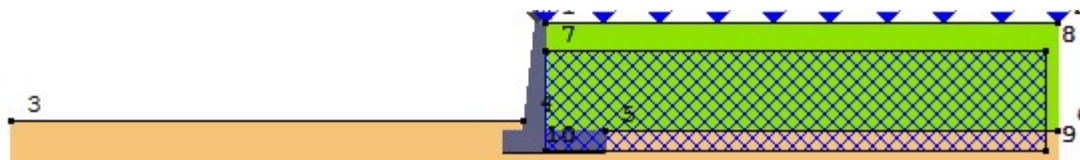
G: Modulo elastico tangenziale del terreno (daN/cm²)

Perm: Permeabilità del terreno (cm/sec)

N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	AI	OCR	Ko	E	G	Perm
1	suolo (unità B)	2100	1900	31,00	0,000	0,000	0,00	0,00	1,00	0,49	0	0	1,60E-03
2	argine (unità A)	2000	1800	29,00	0,100	0,100	0,00	0,00	1,00	0,52	0	0	1,10E-02

3 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: argine (unità A)

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	88	820
2	2	4000	820

Strato n.2, materiale sottostante: suolo (unità B)

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	-4000	80
2	4	-79	80

Strato n.3, materiale sottostante: suolo (unità B)

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	5	538	0
2	6	4003	0

Strato n.4, materiale sottostante: suolo (unità B)

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-238	-160
2	-	-88	-160
3	-	88	-160
4	-	538	-160

Geometria delle falde

Falda n.1

Profilo superiore della falda

N	X [cm]	Y [cm]
1	80	610
2	3900	610

Profilo inferiore della falda

N	X [cm]	Y [cm]
1	80	-150
2	3900	-150

4 Geometria dei carichi

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

Carico n.1

Tipo di carico: concentrato

Punto di inserimento:

X (asse X globale): 23 cm

Y (asse Z globale): 820 cm

Condizione: Permanenti

Mandanti:

23

Componente Fx: -1,44 daN/cm
 Componente Fy: -134,29 daN/cm
 Condizione: Variabili
 Componente Fx: -57,69 daN/cm
 Componente Fy: -112,47 daN/cm

4.1 Carichi uniformi

Comp.permanente di carico uniforme a monte : 0 daN/cm²
 Comp.variabile di carico uniforme a monte : -0.072 daN/cm²

5 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: Como, Bregnano, San Michele-san Giorgio

Vita nominale dell'opera (Tab. 2.4.I): 50 anni

Classe d'uso (Tab. 2.4.II): 3

Parametri sismici calcolati per lo stato limite : SLV

Accelerazione relativa Ag/g massima attesa al suolo: 0.045 g

Categoria del suolo di fondazione: E

Coefficiente di amplificazione stratigrafica: 1.5

Coefficiente di amplificazione topografica: 1

Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima per il sito (Beta s): 0.2

Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima per muri (Beta m): 0.18

Punto di applicazione della forza dinamica: stesso punto di quella statica

Effetto della componente verticale di accelerazione sismica incluso.

6 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.

6.1 Combinazioni di calcolo

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

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

Per il gruppo Mn l'indice n fa riferimento alla tabella 6.2.II (par.6.2.3.1.2).

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

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

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

6.1.1 Combinazione di carico EQU-1

Descrizione	x _p	y _p	F _x	F _y
-------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Mandanti:

24

	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-518.85
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-647.14
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-21.12
Spinta del terreno a monte	0	141	-207.51	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	124.54	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-259.92	0
Carichi applicati al muro	23	820	-87.83	-289.57
Carichi su terreno a monte	313	0	0	-48.6

6.1.2 Combinazione di carico EQU-2

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-634.15
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-790.94
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-25.81
Spinta del terreno a monte	0	157	-234.82	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	152.21	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-317.68	0
Carichi applicati al muro	23	820	-88.12	-316.42
Carichi su terreno a monte	313	0	0	-48.6

6.1.3 Combinazione di carico EQU-3

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.04
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-23.47
Spinta del terreno a monte	0	121	-243.05	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	137.02	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-288.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-10.5	-138.82
Forza di inerzia dovuta al muro	90	125	-38.91	-19.46
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	313	402	-48.54	-24.27
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a valle	-160	40	-1.58	-0.79

6.1.4 Combinazione di carico EQU-4

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.04
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-23.47
Spinta del terreno a monte	0	121	-225.9	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	127.67	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-288.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-10.5	-129.76
Forza di inerzia dovuta al muro	90	125	-38.91	19.46
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	313	402	-48.54	24.27
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a valle	-160	40	-1.58	0.79

6.1.5 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.04
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-23.47
Spinta del terreno a monte	0	87	-127.96	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	170.95	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-288.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-1.44	-134.29

6.1.6 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.04
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-23.47
Spinta del terreno a monte	0	120	-158.27	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	170.95	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-288.8	0

Mandanti:

25

Carichi applicati al muro	23	820	-87.98	-303
Carichi su terreno a monte	313	0	0	-48.6

6.1.7 Combinazione di carico STR-3

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-749.45
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-934.75
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-30.51
Spinta del terreno a monte	0	120	-150.48	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	222.23	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-375.44	0
Carichi applicati al muro	23	820	-1.87	-174.58

6.1.8 Combinazione di carico STR-4

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-749.45
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-934.75
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-30.51
Spinta del terreno a monte	0	147	-182.17	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	222.23	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-375.44	0
Carichi applicati al muro	23	820	-88.41	-343.28
Carichi su terreno a monte	313	0	0	-48.6

6.1.9 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.04
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-23.47
Spinta del terreno a monte	0	121	-182.94	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	138.38	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-288.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-1.44	-134.29

6.1.10 Combinazione di carico GEO-2

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.04
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-23.47
Spinta del terreno a monte	0	146	-216.95	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	138.38	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-288.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-76.44	-280.5
Carichi su terreno a monte	313	0	0	-42.12

6.1.11 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.04
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-23.47
Spinta del terreno a monte	0	88	-136.14	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	170.81	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-288.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-3.07	-135.11
Forza di inerzia dovuta al muro	90	125	-7	-3.5
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	313	402	-8.74	-4.37
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a valle	-160	40	-0.29	-0.14

6.1.12 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.04
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-23.47
Spinta del terreno a monte	0	88	-133.65	0

Mandanti:

26

Spinta del terreno a valle	0	-80	168.73	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-288.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-3.07	-133.47
Forza di inerzia dovuta al muro	90	125	-7	3.5
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	313	402	-8.74	4.37
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a valle	-160	40	-0.29	0.14

6.1.13 Combinazione di carico SIS-3

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.04
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-23.47
Spinta del terreno a monte	0	121	-192.71	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	138.15	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-288.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-3.07	-135.11
Forza di inerzia dovuta al muro	90	125	-7	-3.5
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	313	402	-8.74	-4.37
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a valle	-160	40	-0.29	-0.14

6.1.14 Combinazione di carico SIS-4

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.04
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-23.47
Spinta del terreno a monte	0	121	-189.61	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	136.47	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-288.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-3.07	-133.47
Forza di inerzia dovuta al muro	90	125	-7	3.5
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	313	402	-8.74	4.37
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a valle	-160	40	-0.29	0.14

6.1.15 Combinazione di carico SLE-3

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.04
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-23.47
Spinta del terreno a monte	0	87	-127.96	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	170.95	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-288.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-1.44	-134.29

6.1.16 Combinazione di carico SLE-4

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.04
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-23.47
Spinta del terreno a monte	0	109	-147.92	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	170.95	0
Spinta dell'acqua a monte	0	103	-288.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-59.13	-246.76
Carichi su terreno a monte	313	0	0	-32.4

7 Verifiche di stabilità locale

7.1 Tensioni trasmesse sul terreno

Moltiplicatore spinta passiva per equilibrio	: 0
Pressione limite sul terreno per abbassamento	: 5 daN/cm ²
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	: 104.3 cm (comb. GEO-2)
Momento rispetto al baricentro della fondazione	: 179917 daN cm (comb. STR-4)
Larghezza reagente minima in fondazione	: 775 cm (comb. STR-1)
Tensione max sul terreno allo spigolo di valle	: 4.52 daN/cm ² (comb. STR-4)
Tensione max sul terreno allo spigolo di monte	: 1.76 daN/cm ² (comb. STR-3)

7.2 Verifica a traslazione

Mandanti:

27

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-2
 Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)
 Moltiplicatore spinta passiva per traslazione : 0
 Coefficiente di attrito caratteristico terreno-fondazione : 0.73
 Coefficiente di attrito di progetto terreno-fondazione : 0.58
 Sforzo normale sul piano di posa della fondazione : 1642 daN
 Sforzo tangenziale positivo all'intradosso della fondazione : 0 daN
 Sforzo tangenziale negativo all'intradosso della fondazione : 582 daN
 Coefficiente limite verifica alla traslazione : 1
 Coefficiente di sicurezza alla traslazione : 1.64

7.3 Verifica a ribaltamento

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: EQU-4
 Moltiplicatore spinta passiva per ribaltamento : 0
 Momento ribaltante rispetto allo spigolo di valle : 197631 daN cm
 Momento stabilizzante rispetto a spigolo di valle : -609463 daN cm
 Coefficiente limite verifica al ribaltamento : 1
 Coefficiente di sicurezza al ribaltamento : 3.08

7.4 Verifica al carico limite

Considerando che il suolo di fondazione viene consolidato mediante colonne di jet-grouting, di cui viene riportata verifica relativa nella relazione geotecnica, la capacità portante è garantita se le massime tensioni al suolo sono limitate alla pressione di 5,21 daN/cm².

Come si è riportato al precedente paragrafo (7.1 Tensioni massime sul terreno), tale condizione è rispettata.

7.5 Verifica delle pressioni al suolo di esercizio

Il controllo dei cedimenti è effettuato mediante la verifica che la massima pressione riscontrata in esercizio non ecceda i 3,00 daN/cm² a cui corrisponde un cedimento medio di 12 mm. Le tabelle seguenti riportano il calcolo delle pressioni per le combinazioni di soli permanenti (SLE-3) e rare (SLE-4):

6.1.15 Combinazione di carico SLE-3	AZIONI RIFERITE AL BARIC. DELLA FONDAZIONE (*) + antiorario								PRESSIONI AL SUOLO:
	F _x daN/cm	F _y daN/cm	x.G cm	y.G cm	non usata	F _x ·y.G	F _y ·x.G	M.G(*) daN·m/cm	
Peso proprio del muro	0	-576,5	-60	285		0	34590		eccentricità carico: ex.G = M.G / F _y = -34,88 SEZ.INT.REAG.
Peso proprio del terreno/acqua a monte	0	-719,04	163	562		0	-117204		
Peso proprio del terreno/acqua a valle	0	-23,47	-310	200		0	7276		
Spinta del terreno a monte	-127,96	0	-150	247		31606	0		
Spinta del terreno a valle	170,95	0	-150	80	x	0	0		pressioni al suolo: F _y / A = 1,88 ± M / W = 0,51 σ _{t,min} = 1,37 σ _{t,max} = 2,38 σ _{t,medio} = 1,88
Spinta dell'acqua a monte	-288,8	0	-150	263		75954	0		
Carichi applicati al muro	-1,44	-134,29	-127	980		1411	17055		
-	0	0	-150	160		0	0		
-	0	0	-150	160		0	0		
-	0	0	-150	160		0	0		
-	0	0	-150	160		0	0		
-	0	0	-150	160		0	0		
	-247,25	-1453,3				108972	-58283	50689	

6.1.16 Combinazione di carico SLE-4	AZIONI RIFERITE AL BARIC. DELLA FONDAZIONE (*) + antiorario								PRESSIONI AL SUOLO:
	F _x daN/cm	F _y daN/cm	x.G cm	y.G cm	non usata	F _x ·y.G	F _y ·x.G	M.G(*) daN·m/cm	
Peso proprio del muro	0	-576,5	-60	285		0	34590		eccentricità carico: ex.G = M.G / F _y = -77,85 SEZ.INT.REAG.
Peso proprio del terreno/acqua a monte	0	-719,04	163	562		0	-117204		
Peso proprio del terreno/acqua a valle	0	-23,47	-310	200		0	7276		
Spinta del terreno a monte	-147,92	0	-150	269		39790	0		
Spinta del terreno a valle	170,95	0	-150	80	x	0	0		pressioni al suolo: F _y / A = 2,06 ± M / W = 1,24 σ _{t,min} = 0,82 σ _{t,max} = 3,30 σ _{t,medio} = 2,06
Spinta dell'acqua a monte	-288,8	0	-150	263		75954	0		
Carichi applicati al muro	-59,13	-246,76	-127	980		57947	31339		
Carichi su terreno a monte	0	-32,4	163	160		0	-5281		
-	0	0	-150	160		0	0		
-	0	0	-150	160		0	0		
-	0	0	-150	160		0	0		
-	0	0	-150	160		0	0		
	-324,9	-1598,2				173692	-49281	124412	

8 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-2
 Metodo di analisi di stabilità del pendio : Bishop
 Passo dei concii : 100 cm
 Coefficiente di stabilità globale pendio : 1.6

Mandanti:

28

Coefficiente limite suggerito dalla normativa	: 1.1
X centro della superficie critica	: -232 cm
Y centro della superficie critica	: 1330 cm
Raggio della superficie critica	: 1685 cm
Forza di bilancio	: 294.96 daN/cm
Volume spostato dalla superficie critica	: 157.77 m ³ /m
Peso spostato dalla superficie critica	: 317550 daN/m

9 Parametri per dimensionamento armatura

Metodo di calcolo: D.M. 14-01-2008 Norme Tecniche per le Costruzioni	
Rck (resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo)	: 300 daN/cm ²
Modulo elastico longitudinale Ec	: 314472 daN/cm ²
Rapporto Ea/Es per calcolo tensioni in esercizio	: 15
Rapporto Ea/Es 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

10 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 _{min} :	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 ₀ :	momento ultimo
N ₀ :	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
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	As	Cs	Ai	Ci	vml	cres	Md	Nd	Mu	Nu	c.s.	vres
cm	cm	cm	cm2	cm	cm2	cm			daN cm	daN		daN cm		
0	0	175	18.1	5.4	36.2	4.7	ok	STR-4	13909015	-71417	37920681	-194706	2.73	ok
3	56	169	22.6	5.3	46.9	4.7	ok	STR-4	11753531	-67888	48110594	-277889	4.09	ok
6	107	163	14.8	5.3	46	4.7	ok	STR-4	10065187	-64873	46248452	-298078	4.59	ok
9	158	157	4.5	5.1	36.2	4.7	ok	STR-4	8604043	-61981	37176071	-267818	4.32	ok
11	209	152	4.5	5.1	36.2	4.8	ok	STR-4	7348375	-59205	37099425	-298911	5.05	ok
14	260	146	4.5	5	36.2	4.8	ok	STR-4	6277106	-56543	36865733	-332081	5.87	ok
17	311	141	4.5	5	36.2	4.8	ok	STR-4	5369159	-53997	36397206	-366045	6.78	ok
20	362	135	4.5	5	36.2	4.8	ok	STR-2	4362512	-43646	33555079	-335712	7.69	ok
23	413	130	4.5	5	36.2	4.8	ok	STR-2	3792797	-41864	32572061	-359520	8.59	ok
25	464	124	4.5	5	36.2	4.8	ok	STR-2	3300593	-40171	31379175	-381915	9.51	ok
28	514	118	4.5	5	36.2	4.9	ok	STR-2	2868310	-38570	30008517	-403517	10.5	ok
31	565	113	4.5	4.9	36.2	4.9	ok	STR-2	2478361	-37058	28502874	-426190	11.5	ok
34	616	107	4.5	4.9	36.2	4.9	ok	STR-4	2170844	-41143	27605062	-523186	12.7	ok
37	667	102	4.5	4.9	36.2	4.9	ok	STR-4	1818464	-39397	25464983	-551700	14	ok
39	718	96	4.5	4.9	36.2	4.9	ok	STR-4	1472711	-37755	22609352	-579608	15.4	ok
42	769	90	4.5	4.9	36.2	4.9	ok	STR-4	1124641	-36212	19101710	-615090	17	ok

X	Y	H	ces	Me	Ne	f	c	ves	cf	Mf	Nf	Srm	Wk	vf
cm	cm	cm		daN cm	daN	daN/cm2	daN/cm2			daN cm	daN	cm	mm	
0	0	175	SLE-2	9651864	-53147	1060	-32	ok	SLE-2	9651864	-53147	-	-	ok
3	56	169	SLE-2	8055670	-50424	691	-26	ok	SLE-2	8055670	-50424	-	-	ok
6	107	163	SLE-2	6820363	-48098	593	-24	ok	SLE-2	6820363	-48098	-	-	ok
9	158	157	SLE-2	5765353	-45868	617	-24	ok	SLE-2	5765353	-45868	-	-	ok
11	209	152	SLE-2	4872557	-43729	510	-21	ok	SLE-2	4872557	-43729	-	-	ok
14	260	146	SLE-2	4124387	-41679	421	-19	ok	SLE-2	4124387	-41679	-	-	ok
17	311	141	SLE-2	3503253	-39720	348	-18	ok	SLE-2	3503253	-39720	-	-	ok
20	362	135	SLE-2	2991566	-37851	291	-16	ok	SLE-2	2991566	-37851	-	-	ok
23	413	130	SLE-2	2571740	-36072	246	-15	ok	SLE-2	2571740	-36072	-	-	ok
25	464	124	SLE-2	2226185	-34383	212	-14	ok	SLE-2	2226185	-34383	-	-	ok
28	514	118	SLE-2	1937312	-32785	184	-13	ok	SLE-2	1937312	-32785	-	-	ok
31	565	113	SLE-2	1687534	-31277	162	-13	ok	SLE-2	1687534	-31277	-	-	ok
34	616	107	SLE-2	1459265	-29859	140	-12	ok	SLE-2	1459265	-29859	-	-	ok
37	667	102	SLE-2	1237163	-28524	115	-11	ok	SLE-2	1237163	-28524	-	-	ok
39	718	96	SLE-2	1013199	-27266	86	-10	ok	SLE-2	1013199	-27266	-	-	ok
42	769	90	SLE-2	785816	-26079	54	-9	ok	SLE-2	785816	-26079	-	-	ok

X	Y	H	ct	VSd	VRdc	VRdmax	VRds	vt
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
0	0	175	STR-4	-41051	58203	-	-	ok
3	56	169	STR-4	-35451	60969	-	-	ok
6	107	163	STR-4	-30802	59263	-	-	ok
9	158	157	STR-4	-26567	54113	-	-	ok
11	209	152	STR-4	-22744	52810	-	-	ok
14	260	146	STR-4	-19335	51511	-	-	ok
17	311	141	STR-4	-16339	50215	-	-	ok
20	362	135	STR-4	-13757	48921	-	-	ok
23	413	130	STR-4	-11588	47630	-	-	ok
25	464	124	STR-4	-9832	46338	-	-	ok
28	514	118	STR-4	-8490	45046	-	-	ok
31	565	113	STR-4	-7560	43753	-	-	ok
34	616	107	STR-2	-7032	41667	-	-	ok
37	667	102	STR-2	-6947	40423	-	-	ok
39	718	96	STR-2	-6998	39167	-	-	ok
42	769	90	STR-2	-7063	37896	-	-	ok

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

X	Y	H	As	Cs	Ai	Ci	vml	cres	Md	Nd	Mu	Nu	c.s.	vres
cm	cm	cm	cm2	cm	cm2	cm			daN cm	daN		daN cm		
-188	-80	160	35.1	4.9	38.2	5	ok	STR-4	465072	0	22395881	0	48.2	ok
-138	-80	160	35.8	4.9	38.2	5	ok	STR-4	1821635	0	22408700	0	12.3	ok
-88	-80	160	35.8	4.9	38.2	5	ok	STR-4	4011712	0	22408700	0	5.59	ok

X	Y	H	ces	Me	Ne	f	c	ves	cf	Mf	Nf	Srm	Wk	vf
cm	cm	cm		daN cm	daN	daN/cm2	daN/cm2			daN cm	daN	cm	mm	
-188	-80	160	SLE-2	338298	0	61	-1	ok	SLE-2	338298	0	-	-	ok

Mandanti:

30

-138	-80	160	SLE-2	1326309	0	239	-4	ok	SLE-2	1326309	0	-	-	ok
-88	-80	160	SLE-2	2923712	0	527	-10	ok	SLE-2	2923712	0	-	-	ok

X	Y	H	ct	Vsd	VRdc	VRdmax	VRds	vt
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
-188	-80	160	STR-4	18410	46287	-	-	ok
-138	-80	160	STR-4	35660	46287	-	-	ok
-88	-80	160	STR-4	51750	46287	-	-	no

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

X	Y	H	As	Cs	Ai	Ci	vml	cres	Md	Nd	Mu	Nu	c.s.	vres
cm	cm	cm	cm ²	cm	cm ²	cm			daN cm	daN		daN cm		
88	-80	160	35.8	4.9	20.1	4.8	ok	STR-4	-11005275	-19699	-24061593	-43069	2.19	ok
138	-80	160	35.8	4.9	20.1	4.8	ok	STR-4	-9310030	-19699	-24711654	-52287	2.65	ok
188	-80	160	35.8	4.9	20.1	4.8	ok	STR-4	-7597092	-19699	-25722320	-66696	3.39	ok
238	-80	160	35.8	4.9	20.1	4.8	ok	STR-4	-5924443	-19699	-27424167	-91185	4.63	ok
288	-80	160	35.8	4.9	20.1	4.8	ok	STR-4	-4350059	-19699	-30683590	-138947	7.05	ok
338	-80	160	35.8	4.9	20.1	4.8	ok	STR-4	-2931916	-19699	-38362239	-257746	13.1	ok
388	-80	160	35.8	4.9	20.1	4.8	ok	STR-4	-1727993	-19699	-54569805	-622084	31.6	ok
438	-80	160	35.8	4.9	20.1	4.8	ok	STR-4	-796267	-19699	-54954197	-1359564	69	ok
488	-80	160	35.8	4.9	20.1	4.8	ok	STR-4	-194715	-19699	-20967676	-2121243	108	ok

X	Y	H	ces	Me	Ne	□f	□c	ves	cf	Mf	Nf	Srm	Wk	vf
cm	cm	cm		daN cm	daN	daN/cm ²	daN/cm ²			daN cm	daN	cm	mm	
88	-80	160	SLE-2	-7825371	-16156	1312	-29	ok	SLE-2	-7825371	-16156	-	-	ok
138	-80	160	SLE-2	-6610780	-16156	1078	-24	ok	SLE-2	-6610780	-16156	-	-	ok
188	-80	160	SLE-2	-5388069	-16156	843	-20	ok	SLE-2	-5388069	-16156	-	-	ok
238	-80	160	SLE-2	-4197562	-16156	615	-16	ok	SLE-2	-4197562	-16156	-	-	ok
288	-80	160	SLE-2	-3079582	-16156	402	-12	ok	SLE-2	-3079582	-16156	-	-	ok
338	-80	160	SLE-2	-2074451	-16156	214	-8	ok	SLE-2	-2074451	-16156	-	-	ok
388	-80	160	SLE-2	-1222491	-16156	69	-5	ok	SLE-2	-1222491	-16156	-	-	ok
438	-80	160	SLE-2	-564026	-16156	3	-2	ok	SLE-2	-564026	-16156	-	-	ok
488	-80	160	SLE-2	-139377	-16156	0	-1	ok	SLE-2	-139377	-16156	-	-	ok

X	Y	H	ct	Vsd	VRdc	VRdmax	VRds	vt
cm	cm	cm		daN	daN	daN	daN	
88	-80	160	STR-4	-33334	48183	-	-	ok
138	-80	160	STR-4	-34275	48183	-	-	ok
188	-80	160	STR-4	-34049	48183	-	-	ok
238	-80	160	STR-4	-32664	48183	-	-	ok
288	-80	160	STR-4	-30119	48183	-	-	ok
338	-80	160	STR-4	-26414	48183	-	-	ok
388	-80	160	STR-4	-21550	48183	-	-	ok
438	-80	160	STR-4	-15526	48183	-	-	ok
488	-80	160	STR-4	-8343	48183	-	-	ok

3.4.4 Caso di carico 2 – falda a monte ed al piede del muro

1 Geometria del muro

1.1 Sistema di riferimento

Il sistema di riferimento adottato prevede l'origine nel punto medio della sezione di base del 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

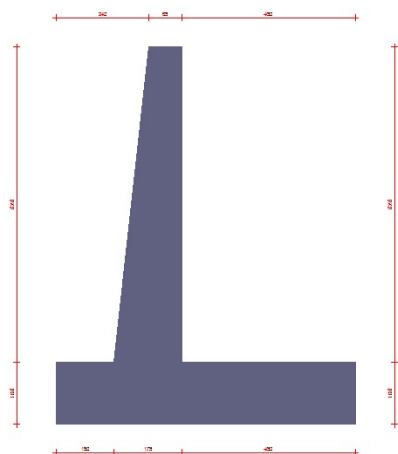
Le forze verticali sono considerate positive se agenti dal basso verso l'alto

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

1.2 Rappresentazione geometrica, sezione trasversale

Mandanti:

31



1.3 Rappresentazione analitica

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

Ingombro globale
 Larghezza totale del muro : 775 cm
 Altezza totale del muro : 980 cm
 Peso specifico del muro : 2500 daN/m³
 Peso specifico delle falde : 1000 daN/m³

Paramento
 Base inf. : 175 cm
 Base sup. : 85 cm
 Altezza : 820 cm
 Disassamento : 45 cm

Mensola sinistra in fondazione
 Larghezza : 150 cm
 Alt.interna : 160 cm
 Alt.esterna : 160 cm
 Disassamento : 0 cm

Zoccolo centrale in fondazione
 Larghezza : 175 cm
 Altezza a sx : 160 cm
 Altezza a dx : 160 cm
 Sfalsamento : 0 cm

Mensola destra in fondazione
 Larghezza : 450 cm
 Alt.interna : 160 cm
 Alt.esterna : 160 cm
 Disassamento : 0 cm

2 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)

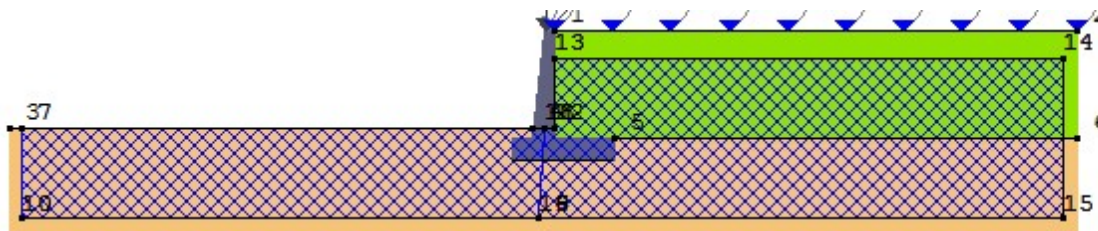
N	Denominazione	Gsat	Gnat	Fi	C'	Cnd	Delta	AI	OCR	Ko	E	G	Perm
1	suolo (unità B)	2100	1900	31,00	0,000	0,000	0,00	0,00	1,00	0,49	0	0	1,60E-03
2	argine (unità A)	2000	1800	29,00	0,100	0,100	0,00	0,00	1,00	0,52	0	0	1,10E-02

Mandanti:

32

3 Geometria degli strati

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



Strato n.1, materiale sottostante: argine (unità A)

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	1	88	820
2	2	4000	820

Strato n.2, materiale sottostante: suolo (unità B)

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	3	-4000	80
2	4	-79	80

Strato n.3, materiale sottostante: suolo (unità B)

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	5	538	0
2	6	4003	0

Strato n.4, materiale sottostante: suolo (unità B)

Stratigrafia adattata al profilo del muro.

Progressivo	N.	X [cm]	Y [cm]
1	-	-238	-160
2	-	-88	-160
3	-	88	-160
4	-	538	-160

Geometria delle falde

Falda n.1

Profilo superiore della falda

N	X [cm]	Y [cm]
1	-3900	80
2	4	80

Profilo inferiore della falda

N	X [cm]	Y [cm]
1	-3900	-600
2	-33	-600
3	4	80

Falda n.2

Profilo superiore della falda

N	X [cm]	Y [cm]
1	-33	-600
2	4	80
3	80	80
4	80	610
5	3900	610

Profilo inferiore della falda

N	X [cm]	Y [cm]
1	-33	-600
2	3900	-600

4 Geometria dei carichi

Le coordinate e le componenti dei carichi stampate in questo paragrafo sono riferite al sistema di riferimento relativo

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

Carico n.1

Tipo di carico: concentrato

Punto di inserimento:

X (asse X globale): 23 cm

Y (asse Z globale): 820 cm

Condizione: Permanenti

Componente Fx: -1,44 daN/cm

Componente Fy: -134,29 daN/cm

Condizione: Variabili

Componente Fx: -57,69 daN/cm

Componente Fy: -112,47 daN/cm

4.1 Carichi uniformi

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

Comp.variabile di carico uniforme a monte : -0.072 daN/cm2

5 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: Como, Bregnano, San Michele-san Giorgio

Vita nominale dell'opera (Tab. 2.4.I): 50 anni

Classe d'uso (Tab. 2.4.II): 3

Parametri sismici calcolati per lo stato limite : SLV

Accelerazione relativa Ag/g massima attesa al suolo: 0.045 g

Categoria del suolo di fondazione: E

Coefficiente di amplificazione stratigrafica: 1.5

Coefficiente di amplificazione topografica: 1

Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima per il sito (Beta s): 0.2

Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima per muri (Beta m): 0.18

Punto di applicazione della forza dinamica: stesso punto di quella statica

Effetto della componente verticale di accelerazione sismica incluso.

6 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.

6.1 Combinazioni di calcolo

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

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

Per il gruppo Mn l'indice n fa riferimento alla tabella 6.2.II (par.6.2.3.1.2).

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

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

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

GEO	A2	M2	R2	2	GEO-2	1	1.3	0	0
SIS	A0	M1	R1	1	SIS-1	1	0	1	1
SIS	A0	M1	R1	2	SIS-2	1	0	1	-1
SIS	A0	M2	R2	3	SIS-3	1	0	1	1
SIS	A0	M2	R2	4	SIS-4	1	0	1	-1
SLE	A0	M0	R0	1	SLE-1	1	0	0	0
SLE	A0	M0	R0	2	SLE-2	1	1	0	0
SLE	A0	M0	R0	3	SLE-3	1	0	0	0
SLE	A0	M0	R0	4	SLE-4	1	1	0	0

6.1.1 Combinazione di carico EQU-1

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-518.85
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-647.19
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-23.34
Spinta del terreno a monte	0	141	-207.5	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	78.66	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-266.81	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	25.92	0
Carichi applicati al muro	23	820	-87.83	-289.57
Carichi su terreno a monte	313	0	0	-48.6
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.2 Combinazione di carico EQU-2

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-634.15
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-791.01
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-28.53
Spinta del terreno a monte	0	157	-234.8	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	80.11	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-326.09	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	31.68	0
Carichi applicati al muro	23	820	-88.12	-316.42
Carichi su terreno a monte	313	0	0	-48.6
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.3 Combinazione di carico EQU-3

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.1
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-25.94
Spinta del terreno a monte	0	121	-243.03	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	75.99	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-296.45	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	28.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-10.5	-138.82
Forza di inerzia dovuta al muro	90	125	-38.91	-19.46
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	313	402	-48.54	-24.27
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a valle	-160	40	-1.75	-0.88
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.4 Combinazione di carico EQU-4

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.1
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-25.94
Spinta del terreno a monte	0	121	-225.88	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	70.55	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-296.45	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	28.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-10.5	-129.76
Forza di inerzia dovuta al muro	90	125	-38.91	19.46
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	313	402	-48.54	24.27
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a valle	-160	40	-1.75	0.88

Mandanti:

35

Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38
------------------------	-----	------	---	--------

6.1.5 Combinazione di carico STR-1

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.1
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-25.94
Spinta del terreno a monte	0	87	-127.95	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	98.97	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-296.45	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	28.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-1.44	-134.29
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.6 Combinazione di carico STR-2

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.1
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-25.94
Spinta del terreno a monte	0	120	-158.26	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	98.97	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-296.45	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	28.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-87.98	-303
Carichi su terreno a monte	313	0	0	-48.6
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.7 Combinazione di carico STR-3

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-749.45
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-934.83
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-33.72
Spinta del terreno a monte	0	120	-150.46	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	93.57	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-385.39	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	37.44	0
Carichi applicati al muro	23	820	-1.87	-174.58
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.8 Combinazione di carico STR-4

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-749.45
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-934.83
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-33.72
Spinta del terreno a monte	0	147	-182.14	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	93.57	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-385.39	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	37.44	0
Carichi applicati al muro	23	820	-88.41	-343.28
Carichi su terreno a monte	313	0	0	-48.6
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.9 Combinazione di carico GEO-1

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.1
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-25.94
Spinta del terreno a monte	0	121	-182.92	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	80.11	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-296.45	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	28.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-1.44	-134.29
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.10 Combinazione di carico GEO-2

Mandanti:

36

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.1
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-25.94
Spinta del terreno a monte	0	146	-216.94	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	80.11	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-296.45	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	28.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-76.44	-280.5
Carichi su terreno a monte	313	0	0	-42.12
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.11 Combinazione di carico SIS-1

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.1
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-25.94
Spinta del terreno a monte	0	88	-136.12	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	98.26	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-296.45	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	28.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-3.07	-135.11
Forza di inerzia dovuta al muro	90	125	-7	-3.5
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	313	402	-8.74	-4.37
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a valle	-160	40	-0.32	-0.16
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.12 Combinazione di carico SIS-2

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.1
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-25.94
Spinta del terreno a monte	0	88	-133.64	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	97.06	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-296.45	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	28.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-3.07	-133.47
Forza di inerzia dovuta al muro	90	125	-7	3.5
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	313	402	-8.74	4.37
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a valle	-160	40	-0.32	0.16
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.13 Combinazione di carico SIS-3

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.1
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-25.94
Spinta del terreno a monte	0	121	-192.69	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	79.42	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-296.45	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	28.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-3.07	-135.11
Forza di inerzia dovuta al muro	90	125	-7	-3.5
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	313	402	-8.74	-4.37
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a valle	-160	40	-0.32	-0.16
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.14 Combinazione di carico SIS-4

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.1
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-25.94
Spinta del terreno a monte	0	121	-189.59	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	78.45	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-296.45	0

Mandanti:

37

Spinta dell'acqua a valle	0	-80	28.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-3.07	-133.47
Forza di inerzia dovuta al muro	90	125	-7	3.5
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a monte	313	402	-8.74	4.37
Forza di inerzia dovuta al terreno/acqua a valle	-160	40	-0.32	0.16
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.15 Combinazione di carico SLE-3

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.1
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-25.94
Spinta del terreno a monte	0	87	-127.95	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	98.97	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-296.45	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	28.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-1.44	-134.29
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

6.1.16 Combinazione di carico SLE-4

Descrizione	xp	yp	Fx	Fy
	cm	cm	daN/cm	daN/cm
Peso proprio del muro	90	125	0	-576.5
Peso proprio del terreno/acqua a monte	313	402	0	-719.1
Peso proprio del terreno/acqua a valle	-160	40	0	-25.94
Spinta del terreno a monte	0	109	-147.91	0
Spinta del terreno a valle	0	-80	98.97	0
Spinta dell'acqua a monte	0	97	-296.45	0
Spinta dell'acqua a valle	0	-80	28.8	0
Carichi applicati al muro	23	820	-59.13	-246.76
Carichi su terreno a monte	313	0	0	-32.4
Sottospinta dell'acqua	218	-160	0	391.38

7 Verifiche di stabilità locale

7.1 Tensioni trasmesse sul terreno

Moltiplicatore spinta passiva per equilibrio	: 0
Pressione limite sul terreno per abbassamento	: 5 daN/cm ²
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	: 156.7 cm (comb. GEO-2)
Momento rispetto al baricentro della fondazione	: 204500 daN cm (comb. STR-4)
Larghezza reagente minima in fondazione	: 692 cm (comb. GEO-2)
Tensione max sul terreno allo spigolo di valle	: 4.26 daN/cm ² (comb. STR-4)
Tensione max sul terreno allo spigolo di monte	: 1.01 daN/cm ² (comb. STR-3)

7.2 Verifica a traslazione

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: SIS-4	
Verifica condotta in condizioni drenate (a lungo termine)	
Moltiplicatore spinta passiva per traslazione	: 0
Coefficiente di attrito caratteristico terreno-fondazione	: 0.73
Coefficiente di attrito di progetto terreno-fondazione	: 0.58
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	: 1056 daN
Sforzo tangenziale positivo all'intradosso della fondazione	: 29 daN
Sforzo tangenziale negativo all'intradosso della fondazione	: 505 daN
Coefficiente limite verifica alla traslazione	: 1
Coefficiente di sicurezza alla traslazione	: 1.27

7.3 Verifica a ribaltamento

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: EQU-4	
Moltiplicatore spinta passiva per ribaltamento	: 0
Momento ribaltante rispetto allo spigolo di valle	: 375862 daN cm
Momento stabilizzante rispetto a spigolo di valle	: -611977 daN cm
Coefficiente limite verifica al ribaltamento	: 1
Coefficiente di sicurezza al ribaltamento	: 1.63

7.4 Verifica al carico limite

Considerando che il suolo di fondazione viene consolidato mediante colonne di jet-grouting, di cui viene riportata verifica relativa nella relazione geotecnica, la capacità portante è garantita se le massime tensioni al suolo sono limitate alla pressione di 5,21 daN/cm².

Come si è riportato al precedente paragrafo (7.1 Tensioni massime sul terreno), tale condizione è rispettata.

7.5 Verifica delle pressioni al suolo di esercizio

Il controllo dei cedimenti è effettuato mediante la verifica che la massima pressione riscontrata in esercizio non ecceda i 3,00 daN/cm² a cui corrisponde un cedimento medio di 12 mm. Le tabelle seguenti riportano il calcolo delle pressioni per le combinazioni di soli permanenti (SLE-3) e rare (SLE-4):

6.1.15 Combinazione di carico SLE-3	AZIONI RIFERITE AL BARIC. DELLA FONDAZIONE (*) + anforario							PRESSIONI AL SUOLO:
	Fx daN/cm	Fy daN/cm	x.G cm	y.G cm	non usata	Fx*y.G	Fy*x.G daN*m/cm	
Peso proprio del muro	0	-576,5	-60	285		0	34590	
Peso proprio del terreno/acqua a monte	0	-719,1	163	562		0	-117213	
Peso proprio del terreno/acqua a valle	0	-25,94	-310	200		0	8041	
Spinta del terreno a monte	-127,95	0	-150	247		31604	0	eccentricità carico: ex.G = M.G / Fy = -71,38 SEZ.INT.REAG.
Spinta del terreno a valle	98,97	0	-150	80	x	0	0	
Spinta dell'acqua a monte	-296,45	0	-150	257		76188	0	
Spinta dell'acqua a valle	28,8	0	-150	80		-2304	0	pressioni al suolo:
Carichi applicati al muro	-1,44	-134,29	-127	980		1411	17055	Fy/ A = 1,37
Sottospinta dell'acqua	0	391,38	68	0		0	26614	± M / W = 0,76
-	0	0	-150	160		0	0	σ _{min} = 0,61
-	0	0	-150	160		0	0	σ _{t.max} = 2,13
-	0	0	-150	160		0	0	σ _{t.medio} = 1,37
	-298,07	-1064,5				106899	-30913	75985

6.1.16 Combinazione di carico SLE-4	AZIONI RIFERITE AL BARIC. DELLA FONDAZIONE (*) + anforario							PRESSIONI AL SUOLO:
	Fx daN/cm	Fy daN/cm	x.G cm	y.G cm	non usata	Fx*y.G	Fy*x.G daN*m/cm	
Peso proprio del muro	0	-576,5	-60	285		0	34590	
Peso proprio del terreno/acqua a monte	0	-719,1	163	562		0	-117213	
Peso proprio del terreno/acqua a valle	0	-25,94	-310	200		0	8041	
Spinta del terreno a monte	-147,91	0	-150	269		39788	0	eccentricità carico: ex.G = M.G / Fy = -123,80 SEZ.INT.REAG.
Spinta del terreno a valle	98,97	0	-150	80	x	0	0	
Spinta dell'acqua a monte	-296,45	0	-150	257		76188	0	
Spinta dell'acqua a valle	28,8	0	-150	80		-2304	0	pressioni al suolo:
Carichi applicati al muro	-59,13	-246,76	-127	980		57947	31339	Fy/ A = 1,56
Carichi su terreno a monte	0	-32,4	163	160		0	-5281	± M / W = 1,50
Sottospinta dell'acqua	0	391,38	68	0		0	26614	σ _{min} = 0,06
-	0	0	-150	160		0	0	σ _{t.max} = 3,06
-	0	0	-150	160		0	0	σ _{t.medio} = 1,56
	-375,72	-1209,3				171619	-21911	149708

8 Verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio

Combinazione che ha prodotto il valore peggiore: GEO-2

Metodo di analisi di stabilità del pendio	: Bishop
Passo dei concii	: 100 cm
Coefficiente di stabilità globale pendio	: 1.16
Coefficiente limite suggerito dalla normativa	: 1.1
X centro della superficie critica	: -220 cm
Y centro della superficie critica	: 1061 cm
Raggio della superficie critica	: 1446 cm
Forza di bilancio	: -133.42 daN/cm
Volume spostato dalla superficie critica	: 149.67 m ³ /m
Peso spostato dalla superficie critica	: 311122 daN/m

9 Sollecitazioni e verifiche strutturali

La presente combinazione di carico induce uno stato di sollecitazione negli elementi strutturali inferiore alla combinazione 1 pertanto, per le verifiche strutturali si rimanda a essa.

Milano, marzo 2022

I PROFESSIONISTI INCARICATI

Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi

HA COLLABORATO

Dott. Ing. Greta Donghi

Mandanti:

39