

COMUNE DI BRENO  
PROVINCIA DI BRESCIA

PROGETTO ESECUTIVO DEGLI INTERVENTI DI  
ADEGUAMENTO E MESSA IN SICUREZZA DELLA  
VIABILITA' DI COLLEGAMENTO TRA IL  
CAPOLUOGO E LE FRAZIONI

ELAB. N° 1d	RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE
prot.: 081903	

progettista:

dott. ing. FEDERICO SANTICOLI

Studio Tecnico Associato Prandini&Santicoli  
via Taglierini n°14 - 25043 BRENO (BS)

tel.:0364/22706 - e mail: santicolifederico@gmail.com



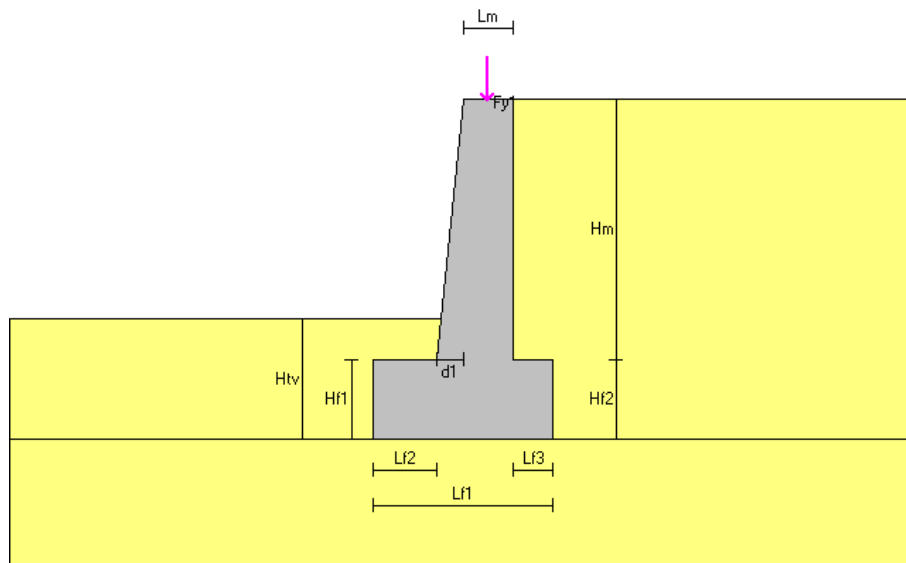
---

Breno, agosto 2020

il committente

l'Impresa

**INTERVENTO A1 – MURO DI SOSTEGNO H CM 130**  
**Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018**



**Descrizione dell'opera**

Tipo di opera: muro in calcestruzzo armato  
 Tipo di sovrastruttura: paramenti piani  
 Tipo di fondazione: piana orizzontale

**Caratteristiche geometriche**

Mensola in elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	1.300 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	0.250 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	0.380 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	5.71 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

Soletta di fondazione

Estensione	$E_f =$	20.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	0.900 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	0.320 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.400 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.200 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.400 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.600 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	0.00 °

Angolo di inclinazione terrapieno

$\alpha =$	0.00 °
------------	--------

**Materiali utilizzati**

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	2500 kg/m <sup>3</sup>
<u>Caratteristiche calcestruzzo</u>		
Classe di resistenza		C25/30
Resistenza caratteristica	$R_{ck} =$	300 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	141 Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Caratteristiche armature</u>		
Tipo acciaio		B 450 C
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	3913 Kg/cm <sup>2</sup>

**Caratteristiche geotecniche dei terreni**

Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_v =$	33.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.00 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_f =$	37.00 °
Coesione	$c'_f =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_m =$	37.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	24.67 °
Coesione	$c'_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>

**Carichi applicati**

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

Uniforme a valle del muro	$G1_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G1_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G1_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G1n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G1n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente non strutturale

Uniforme a valle del muro	$G2_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G2_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G2_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G2n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G2n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo variabile

Uniforme a valle del muro	$Q_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$Q_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$Q_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{Qn} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{Qn} =$	0.000 m

Carichi applicati alla mensola in elevazione

n.	tipo	H [m]	$F_x$ [kg]	$F_y$ [kg]	$M_z$ [kg•m]
1	G2	1.300	0	575	0.000

Legenda

tipo G1 carico permanente strutturale; G2 carico permanente non strutturale; Q carico variabile  
 H quota del punto di applicazione del carico rispetto alla base della mensola di elevazione  
 $F_x$  forza orizzontale positiva se verso monte  
 $F_y$  forza verticale positiva se verso il basso  
 $M_z$  coppia positiva se oraria

## Normativa

Le verifiche geotecniche e di resistenza vengono eseguite secondo i dettami del D.M. 17 gennaio 2018: la verifica di stabilità globale viene effettuata secondo l'approccio DA1-C2 (A2+M2+R2) mentre le rimanenti verifiche (scorrimento, carico limite, ribaltamento e di resistenza) vengono effettuate secondo l'approccio DA2 (A1+M1+R3). Le verifiche per azioni sismiche vengono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

### Parametri per la determinazione dei carichi derivanti da sisma

Località:	BRENO (BS)	
Vita nominale	V <sub>N</sub> =	50 anni
Tipo di costruzione	tipo =	2
Classe d'uso	Cl <sub>U</sub> =	II
Coefficiente d'uso	C <sub>U</sub> =	1.0
Periodo di riferimento	V <sub>R</sub> =	50 anni
Probabilità di superamento	P <sub>vr</sub> =	10%
Periodo di ritorno	T <sub>R</sub> =	475 anni
Fattore di amplificazione spettrale massima	F <sub>o</sub> =	2.6100
Accelerazione orizzontale massima	a <sub>g</sub> =	0.0764 g
Categoria di sottosuolo	suolo =	A
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S <sub>s</sub> =	1.00000
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima		
verifiche locali	β <sub>m</sub> * =	1.00000
verifica di stabilità globale	β <sub>s</sub> =	0.20000
Categoria topografica	C <sub>T</sub> =	T2
Coefficiente di amplificazione topografica	S <sub>T</sub> =	1.20000
Coefficienti sismici per le verifiche locali		
orizzontale	k <sub>h</sub> =	0.09168
verticale	k <sub>v</sub> =	0.04584
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale		
orizzontale	k <sub>h</sub> =	0.01834
verticale	k <sub>v</sub> =	0.00917

\* Il muro non è in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

### Coefficienti parziali per le azioni

Tipo CMB	γ <sub>G1max</sub>	γ <sub>G1min</sub>	γ <sub>G2max</sub>	γ <sub>G2min</sub>	γ <sub>Q/ψ2i</sub>
DA2 (A1)	1.30	1.00	1.50	0.80	1.50
DA1-C2 (A2)	1.00	1.00	1.30	0.80	1.30
SIS	1.00	-	1.00	-	0.60

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tipo CMB	γ <sub>φ</sub>	γ <sub>c</sub>	γ <sub>γ</sub>
DA2 (M1)	1.00	1.00	1.00
DA1-C2 (M2)	1.25	1.25	1.00
SIS	1.00	1.00	1.00

### Coefficienti per la determinazione delle masse sismiche

Carichi permanenti strutturali G1	γ <sub>G1</sub> = 1.00
Carichi permanenti non strutturali G2	γ <sub>G2</sub> = 1.00
Carichi variabili Q	ψ <sub>EI</sub> = 0.60

### Coefficienti parziali per le verifiche

Verifica	DA2 (R3)	DA1-C2 (R2)	SIS
Capacità portante fondazione	1.40	-	(R3) 1.20
Scorrimento	1.10	-	(R3) 1.00
Ribaltamento	1.15	-	(R3) 1.00
Stabilità globale	-	1.10	(R2) 1.20

### Combinazioni per le verifiche locali e di resistenza

CMB	Tipo	γ <sub>G1</sub>	γ <sub>G2</sub>	γ <sub>Q</sub>	γ <sub>E</sub> <sup>1</sup>
1	DA2	1.30	1.50	1.50	0.00
2	DA2	1.30	1.50	0.00	0.00
3	DA2	1.30	0.80	1.50	0.00
4	DA2	1.30	0.80	0.00	0.00
5	DA2	1.00	1.50	1.50	0.00
6	DA2	1.00	1.50	0.00	0.00
7	DA2	1.00	0.80	1.50	0.00
8	DA2	1.00	0.80	0.00	0.00
9	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00
10	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00

<sup>1</sup> Il segno di γ<sub>E</sub> indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo ↓ e negativo ↑.

## Verifiche di stabilità dell'opera

### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)		
Spinta attiva	K <sub>AS</sub> =	0.2257
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)		
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto		
Spinta attiva	K <sub>AD</sub> =	0.2823
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso		
Spinta attiva	K <sub>AD</sub> =	0.2769

### Valori della spinta attiva del terreno di monte per metro di estensione del muro

Altezza di calcolo					H <sub>t</sub> = 1.700 m							
Le spinte sono espresse in <u>chilogrammi</u> e le coordinate in <u>metri</u> .												
CMB	S <sub>S,X</sub>	S <sub>S,Y</sub>	Y <sub>S</sub>	X <sub>S</sub>	S <sub>D,X</sub>	S <sub>D,Y</sub>	Y <sub>D</sub>	X <sub>D</sub>	S <sub>T,X</sub>	S <sub>T,Y</sub>	Y <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>
1	713	327	0.567	0.700	-	-	-	-	713	327	0.567	0.700
2	713	327	0.567	0.700	-	-	-	-	713	327	0.567	0.700
3	713	327	0.567	0.700	-	-	-	-	713	327	0.567	0.700
4	713	327	0.567	0.700	-	-	-	-	713	327	0.567	0.700
5	548	252	0.567	0.700	-	-	-	-	548	252	0.567	0.700
6	548	252	0.567	0.700	-	-	-	-	548	252	0.567	0.700
7	548	252	0.567	0.700	-	-	-	-	548	252	0.567	0.700
8	548	252	0.567	0.700	-	-	-	-	548	252	0.567	0.700
9	548	252	0.567	0.700	155	71	0.850	0.700	703	323	0.629	0.700
10	548	252	0.567	0.700	106	49	0.850	0.700	654	301	0.613	0.700

### Legenda

S <sub>S,X</sub> , S <sub>D,X</sub> , S <sub>T,X</sub>	componente orizzontale della spinta statica , dinamica , totale del terreno
S <sub>S,Y</sub> , S <sub>D,Y</sub> , S <sub>T,Y</sub>	componente verticale della spinta statica , dinamica , totale del terreno
Y <sub>S</sub> , Y <sub>D</sub> , Y <sub>T</sub>	ordinata del punto di applicazione della spinta statica , dinamica , totale
X <sub>S</sub> , X <sub>D</sub> , X <sub>T</sub>	ascissa del punto di applicazione della spinta statica , dinamica , totale
(le coordinate del punto di applicazione sono riferite al piede di valle della fondazione)	

### Forze d'inerzia per metro di estensione del muro

Componente orizzontale forza d'inerzia	F <sub>I,X</sub> =	273 kg
Ordinata del punto di applicazione della forza	Y <sub>I</sub> =	0.903 m
Componente verticale forza d'inerzia	F <sub>I,Y</sub> =	±137 kg
Ascissa del punto di applicazione della forza	X <sub>I</sub> =	0.562 m

### Verifica a ribaltamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica si considerano positive le forze verticali dirette verso il basso, le forze orizzontali dirette verso monte e i momenti aventi senso orario: se il momento ribaltante risulta positivo (quindi stabilizzante) viene posto pari a zero. Vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10.

### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Il centro di rotazione coincide con il piede di valle della soletta di fondazione.

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	1924	0.498	958.096

Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	481	0.800	384.800
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	130	0.175	22.718
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-137	0.562	-76.714
Carichi concentrati stabilizzanti (C <sub>CS</sub> )			330.625
<b>Momento stabilizzante (M<sub>STAB</sub>)</b>			<b>1619.524</b>
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	-654	0.613	-400.926
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	301	0.700	210.412
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	-273	0.903	-246.777
Carichi concentrati ribaltanti (C <sub>CR</sub> )			0.000
<b>Momento ribaltante (M<sub>RIB</sub>)</b>			<b>-437.290</b>

**Coefficiente di sicurezza al ribaltamento**

$$C_{RIB} = M_{STAB} / |M_{RIB}| = 3.70354$$

#### Restanti combinazioni

Si riportano, in forma tabellare, i risultati delle varie combinazioni di carico: viene fornito l'elenco delle variabili (VAR), le forze applicate (F [kg]), i relativi bracci (B [m]) e i momenti risultanti (M [kg·m]).

VAR	F	B	M	F	B	M	F	B	M
P <sub>M</sub>	2501	0.498	1245.524	2501	0.498	1245.524	2501	0.498	1245.524
P <sub>TM</sub>	625	0.800	500.240	625	0.800	500.240	625	0.800	500.240
P <sub>TV</sub>	168	0.175	29.533	168	0.175	29.533	168	0.175	29.533
C <sub>CS</sub>			495.937			495.937			264.500
<b>M<sub>STAB</sub></b>			<b>2271.235</b>			<b>2271.235</b>			<b>2039.798</b>
S <sub>T,X</sub>	-713	0.567	-403.881	-713	0.567	-403.881	-713	0.567	-403.881
S <sub>T,Y</sub>	327	0.700	229.158	327	0.700	229.158	327	0.700	229.158
C <sub>CR</sub>			0.000			0.000			0.000
<b>M<sub>RIB</sub></b>			<b>-174.724</b>			<b>-174.724</b>			<b>-174.724</b>
<b>C<sub>RIB</sub></b>		<b>12.99900</b>			<b>12.99900</b>			<b>11.67441</b>	

VAR	F	B	M	F	B	M	F	B	M
P <sub>M</sub>	2501	0.498	1245.524	1924	0.498	958.096	1924	0.498	958.096
P <sub>TM</sub>	625	0.800	500.240	481	0.800	384.800	481	0.800	384.800
P <sub>TV</sub>	168	0.175	29.533	130	0.175	22.718	130	0.175	22.718
C <sub>CS</sub>			264.500			495.937			495.937
<b>M<sub>STAB</sub></b>			<b>2039.798</b>			<b>1861.551</b>			<b>1861.551</b>
S <sub>T,X</sub>	-713	0.567	-403.881	-548	0.567	-310.678	-548	0.567	-310.678
S <sub>T,Y</sub>	327	0.700	229.158	252	0.700	176.275	252	0.700	176.275
C <sub>CR</sub>			0.000			0.000			0.000
<b>M<sub>RIB</sub></b>			<b>-174.724</b>			<b>-134.403</b>			<b>-134.403</b>
<b>C<sub>RIB</sub></b>		<b>11.67441</b>			<b>13.85053</b>			<b>13.85053</b>	

VAR	F	B	M	F	B	M	F	B	M
P <sub>M</sub>	1924	0.498	958.096	1924	0.498	958.096	1924	0.498	958.096
P <sub>TM</sub>	481	0.800	384.800	481	0.800	384.800	481	0.800	384.800
P <sub>TV</sub>	130	0.175	22.718	130	0.175	22.718	130	0.175	22.718
F <sub>I,Y</sub>	-	-	-	-	-	-	137	0.562	76.714
C <sub>CS</sub>			264.500			264.500			330.625
<b>M<sub>STAB</sub></b>			<b>1630.114</b>			<b>1630.114</b>			<b>1772.953</b>
S <sub>T,X</sub>	-548	0.567	-310.678	-548	0.567	-310.678	-703	0.629	-442.552
S <sub>T,Y</sub>	252	0.700	176.275	252	0.700	176.275	323	0.700	226.157
F <sub>I,X</sub>	-	-	-	-	-	-	-273	0.903	-246.777
C <sub>CR</sub>			0.000			0.000			0.000
<b>M<sub>RIB</sub></b>			<b>-134.403</b>			<b>-134.403</b>			<b>-463.171</b>
<b>C<sub>RIB</sub></b>		<b>12.12856</b>			<b>12.12856</b>			<b>3.82786</b>	

#### Verifica a schiacciamento (superata con successo)

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 9)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	1924

Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	481
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	130
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	0
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	137
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	0
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	323
Carichi concentrati (C <sub>C</sub> )	575
<b>Carico totale ortogonale al piano di fondazione (N<sub>TOT</sub>)</b>	<b>3569</b>

$$\text{Momento rispetto al piede di valle } (M_{TOT} = M_{STAB} + M_{RIB}) \quad 1309.782 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$\begin{aligned} \text{Distanza carico dal piede di valle } (d_N = M_{TOT} / N_{TOT}) & 0.367 \text{ m} \\ \text{Eccentricità del carico } (e_N = |L_{f1} / 2 - d_N|) & 0.083 \text{ m} \\ (\text{Il punto di applicazione del carico è interno al terzo medio}) \end{aligned}$$

Compressione all'estremo di valle (σ <sub>v</sub> )	6160 kg/m <sup>2</sup>
Compressione all'estremo di monte (σ <sub>m</sub> )	1771 kg/m <sup>2</sup>
Ampiezza della zona compressa (B <sub>comp</sub> )	0.900 m
Compressione limite (σ <sub>L</sub> )	48391 kg/m <sup>2</sup>

**Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento**

$$C_{SCH} = (\sigma_L / R) / \sigma_{max} = 6.54662$$

#### Restanti combinazioni

Si riportano, in forma tabellare, i risultati delle varie combinazioni di carico, fornendo l'elenco delle variabili (VAR) e il relativo valore (CMB i). Con la sigla Pos<sub>N</sub> si indica la posizione del carico totale ortogonale al piano di fondazione rispetto alla fondazione stessa: i.t.m. significa interno al terzo medio, e.t.m. significa esterno al terzo medio ed e.f. significa esterno alla fondazione.

VAR	CMB 1	CMB 2	CMB 3	CMB 4	CMB 5	CMB 6
P <sub>M</sub> [kg]	2501	2501	2501	2501	1924	1924
P <sub>TM</sub> [kg]	625	625	625	625	481	481
P <sub>TV</sub> [kg]	168	168	168	168	130	130
S <sub>T,X</sub> [kg]	0	0	0	0	0	0
S <sub>T,Y</sub> [kg]	327	327	327	327	252	252
C <sub>C</sub> [kg]	862	862	460	460	862	862
<b>N<sub>TOT</sub> [kg]</b>	<b>4484</b>	<b>4484</b>	<b>4082</b>	<b>4082</b>	<b>3649</b>	<b>3649</b>
M <sub>TOT</sub> [kg·m]	2096.511	2096.511	1865.074	1865.074	1727.148	1727.148
d <sub>N</sub> [m]	0.468	0.468	0.457	0.457	0.473	0.473
e <sub>N</sub> [m]	0.018	0.018	0.007	0.007	0.023	0.023
Pos <sub>N</sub>	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.
σ <sub>v</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	4401	4401	4326	4326	3422	3422
σ <sub>m</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	5564	5564	4744	4744	4686	4686
B <sub>comp</sub> [m]	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
σ <sub>L</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	72046	72046	69500	69500	73465	73465
<b>C<sub>SCH</sub></b>	<b>9.24839</b>	<b>9.24839</b>	<b>10.46323</b>	<b>10.46323</b>	<b>11.19885</b>	<b>11.19885</b>

VAR	CMB 7	CMB 8	CMB 10
P <sub>M</sub> [kg]	1924	1924	1924
P <sub>TM</sub> [kg]	481	481	481
P <sub>TV</sub> [kg]	130	130	130
F <sub>I,X</sub> [kg]	-	-	0
F <sub>I,Y</sub> [kg]	-	-	-137
S <sub>T,X</sub> [kg]	0	0	0
S <sub>T,Y</sub> [kg]	252	252	301
C <sub>C</sub> [kg]	460	460	575
<b>N<sub>TOT</sub> [kg]</b>	<b>3246</b>	<b>3246</b>	<b>3273</b>
M <sub>TOT</sub> [kg·m]	1495.711	1495.711	1182.234
d <sub>N</sub> [m]	0.461	0.461	0.361
e <sub>N</sub> [m]	0.011	0.011	0.089
Pos <sub>N</sub>	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.
σ <sub>v</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	3348	3348	5790

$\sigma_m$ [kg/m <sup>2</sup> ]	3866	3866	1483
$B_{comp}$ [m]	0.900	0.900	0.900
$\sigma_L$ [kg/m <sup>2</sup> ]	70425	70425	46699
<b>C<sub>SCH</sub></b>	<b>13.01228</b>	<b>13.01228</b>	<b>6.72064</b>

#### Verifica a scorrimento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10. Il coefficiente di attrito per il terreno di fondazione è  $f_t = \tan(\varphi_f) / \gamma_{\varphi} = 0.75355$ .

#### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro ( $P_M$ )	1924	0
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	481	0
Peso del terreno a valle ( $P_{TV}$ )	130	0
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	0	273
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-137	0
Carichi concentrati ( $C_C$ )	575	0
Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	0	654
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	301	0
<b>Carico totale (<math>\Sigma_{\perp}</math>, <math>\Sigma_{\parallel}</math>)</b>	<b>3273</b>	<b>928</b>

#### Coefficiente di sicurezza allo scorrimento

$$C_{sco} = (\Sigma_{\perp} \cdot f_t / R) / \Sigma_{\parallel} = 2.65905$$

#### Restanti combinazioni

Si riportano, in forma tabellare, i risultati delle varie combinazioni di carico: viene fornito l'elenco dei carichi (CAR) e le componenti ortogonali ( $F_{\perp}$  [kg]) e tangenziali ( $F_{\parallel}$  [kg]) al piano di scorrimento.

	CMB 1		CMB 2		CMB 3		CMB 4	
CAR	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$
$P_M$	2501	0	2501	0	2501	0	2501	0
$P_{TM}$	625	0	625	0	625	0	625	0
$P_{TV}$	168	0	168	0	168	0	168	0
$C_C$	862	0	862	0	460	0	460	0
$S_{T,X}$	0	713	0	713	0	713	0	713
$S_{T,Y}$	327	0	327	0	327	0	327	0
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>4484</b>	<b>713</b>	<b>4484</b>	<b>713</b>	<b>4082</b>	<b>713</b>	<b>4082</b>	<b>713</b>
<b>C<sub>sco</sub></b>	<b>4.31022</b>		<b>4.31022</b>		<b>3.92335</b>		<b>3.92335</b>	

	CMB 5		CMB 6		CMB 7		CMB 8	
CAR	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$
$P_M$	1924	0	1924	0	1924	0	1924	0
$P_{TM}$	481	0	481	0	481	0	481	0
$P_{TV}$	130	0	130	0	130	0	130	0
$C_C$	862	0	862	0	460	0	460	0
$S_{T,X}$	0	548	0	548	0	548	0	548
$S_{T,Y}$	252	0	252	0	252	0	252	0
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>3649</b>	<b>548</b>	<b>3649</b>	<b>548</b>	<b>3246</b>	<b>548</b>	<b>3246</b>	<b>548</b>
<b>C<sub>sco</sub></b>	<b>4.55892</b>		<b>4.55892</b>		<b>4.05599</b>		<b>4.05599</b>	

	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$
CAR	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$
$P_M$	1924	0
$P_{TM}$	481	0
$P_{TV}$	130	0
$F_{I,X}$	0	273
$F_{I,Y}$	137	0
$C_C$	575	0
$S_{T,X}$	0	703
$S_{T,Y}$	323	0
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>3569</b>	<b>977</b>
<b>C<sub>sco</sub></b>	<b>2.75386</b>	

#### Verifica di stabilità globale (superata con successo)

##### Parametri di ricerca della superficie di rottura circolare

Metodo di ricerca	Bishop
Numero di punti di generazione delle superfici	$N_{pg} = 20$
Numero delle superfici generate per punto	$N_{sp} = 100$
Lunghezza dei segmenti generati	$L_s = 1.000$ m
Distanza della zona di generazione delle superfici	$D_{zg} = 1.000$ m
Lunghezza della zona di generazione delle superfici	$L_{zg} = 5.000$ m
Distanza della zona di arrivo della superfici	$D_{za} = 2.000$ m
Lunghezza della zona di arrivo della superfici	$L_{za} = 11.000$ m

##### Combinazioni

CMB	Tipo	$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_Q$	$\gamma_E^*$	$\gamma_{\varphi}$	$\gamma_c'$	$\gamma_{\gamma}$	R2
1	DA1-C2	1.00	1.30	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
2	DA1-C2	1.00	1.30	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
3	DA1-C2	1.00	0.80	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
4	DA1-C2	1.00	0.80	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
5	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00	1.00	1.00	1.00	1.20
6	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.20

\* Il segno di  $\gamma_E$  indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo  $\downarrow$  e negativo  $\uparrow$ .

#### Caratteristiche geometriche superficie di rottura (Combinazione 3)

Il sistema di riferimento coincide con il piede di valle della fondazione: l'asse delle ascisse è orizzontale diretto

verso monte e l'asse delle ordinate è verticale diretto verso l'alto.

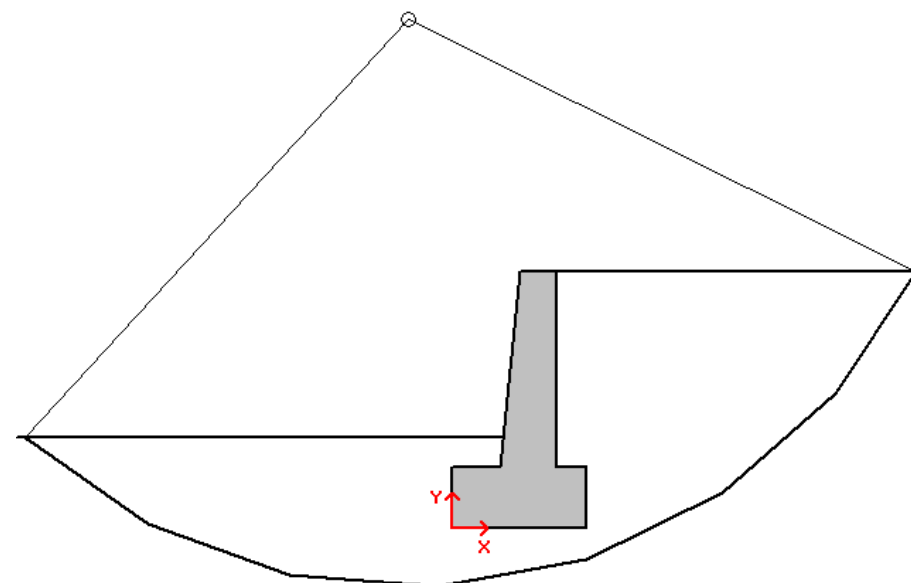
Ascissa centro  $X_{cs} = -0.288$  m

Ordinata centro  $Y_{cs} = 3.375$  m

Raggio  $R_s = 3.770$  m

#### Coefficiente di sicurezza alla stabilità globale

$$C_{sg} = 2.80636$$



Verifica delle armature

La verifica viene effettuata considerando lo stato limite ultimo, pertanto, si eseguono i seguenti controlli:  
- Verifica N/M: si visualizza il valore del rapporto  $S_d/S_u$  ottenuto con incremento proporzionale delle sollecitazioni ( $S_d$  = sollecitazione di progetto derivante da N e M,  $S_u$  = sollecitazione ultima);  
- Verifica (25): si visualizza il valore del rapporto  $N_d/N_u$ , dove  $N_u$  viene ottenuto con riduzione del 25% di  $f_{cd}$  ( $N_d$  = sollecitazione normale di progetto,  $N_u$  = sollecitazione normale ultima).

Entrambi i valori dei rapporti devono essere minori o uguali a 1 affinché la verifica sia superata.  
Si riporta inoltre il valore del rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile della sezione (rapporto  $x/d$ ) alla rottura della sezione (per sola flessione).  
Le sollecitazioni riportare si riferiscono ad un tratto di muro di estensione 1 m.

Mensola in elevazione

Le quote delle sezioni sono riferite allo spiccatto di fondazione.

Sezione 1 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]		$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
0.867	100.0	29.3	(1 Ø 14 / 30 cm)	5.13	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 1)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]		
1245	46		6.689		
Rapporto x/d = 0.13286					
Verifica N/M		$S_d/S_u$ = 0.00333			
Verifica (25)		$N_d/N_u$ = 0.00409			

Sezione 2 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]		$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
0.433	100.0	33.7	[(1 Ø 14 + 1 Ø 10) / 30 cm] 7.75		(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]		
1240	270		95.383		
Rapporto x/d = 0.14019					
Verifica N/M		$S_d/S_u$ = 0.00489			
Verifica (25)		$N_d/N_u$ = 0.00351			

Sezione 3 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]		A <sub>r</sub> ' [cm <sup>2</sup> ]
0.000	100.0	38.0	(1 Ø 14 / 15 cm)	10.26	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]		
1646	549		283.375		
Rapporto x/d = 0.14680					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.00951			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00409			

Sezione d'incastro mensola di fondazione a valle (verificata)

Caratteristiche					
$L_{\text{mensola}}$ [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]		$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
0.510	100.0	40.0	(1 Ø 12 / 15 cm)	7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Compressione terreno estremo di valle	$\sigma_v$ =	6160 kg/m <sup>2</sup>			
Compressione terreno all'incastro	$\sigma_i$ =	3673 kg/m <sup>2</sup>			
Lunghezza zona compressa	$L_c$ =	0.510 m			
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]		

Forza di compressione terreno	-2507	0.276	-693.274
Peso della mensola	320	0.350	112.000
Peso del terreno	130	0.335	43.327
Inerzia verticale (terreno e cls)	21	0.346	7.120
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]		
2037	530.827		
Rapporto x/d = 0.12099			
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.05246	

Sezione d'incastro mensola di fondazione a monte (verificata)

Caratteristiche					
L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]		A <sub>r</sub> ' [cm <sup>2</sup> ]
0.390	100.0	40.0	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54		(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54
Condizioni più gravose (Combinazione 1)					
Compressione terreno estremo di monte	σ <sub>m</sub> =	5564 kg/m <sup>2</sup>			
Compressione terreno all'incastro	σ <sub>i</sub> =	5060 kg/m <sup>2</sup>			
Lunghezzazona compressa	L <sub>c</sub> =	0.390 m			
Descrizione carico		Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]	
Forza di compressione terreno		-2072	0.198	-410.392	
Peso della mensola		260	0.290	75.400	
Peso del terreno		625	0.290	181.337	
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]				
1187	153.655				
Rapporto x/d = 0.12099					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.01519			

Computo materiali

I valori riportati sono riferiti all'intera estensione del muro, pari a 20.00 metri.

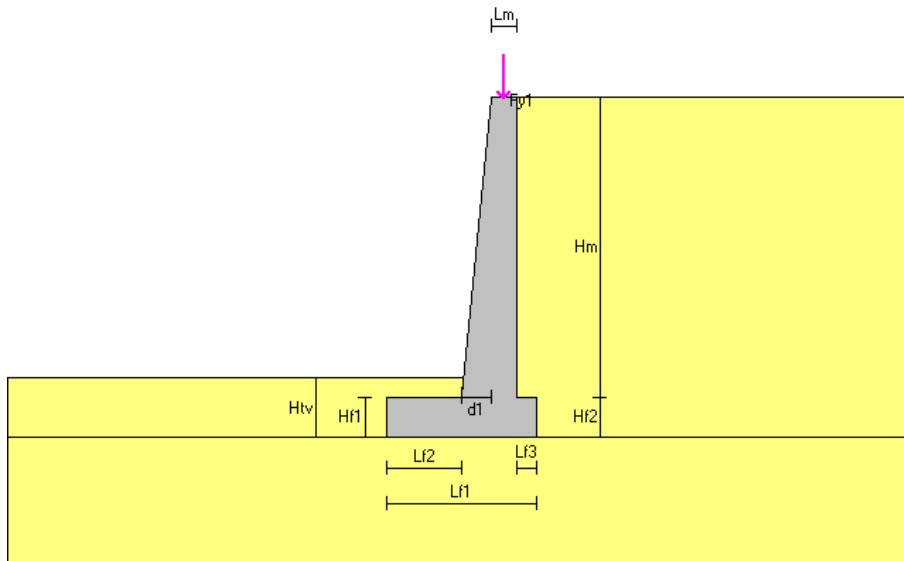
Volumi del calcestruzzo

Mensola in elevazione	8.19 m <sup>3</sup>
Soletta di fondazione	7.20 m <sup>3</sup>
Volume totale	15.39 m <sup>3</sup>

Pesi dei ferri di armatura

Mensola in elevazione	824.24 Kg
Soletta di fondazione	465.98 Kg
Peso totale	1290.22 Kg

**INTERVENTO A1 – MURO DI SOSTEGNO H CM 300**  
**Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018**



**Descrizione dell'opera**

Tipo di opera: muro in calcestruzzo armato  
 Tipo di sovrastruttura: paramenti piani  
 Tipo di fondazione: piana orizzontale

**Caratteristiche geometriche**

Mensola in elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	3.000 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	0.250 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	0.550 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	5.71 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

Soletta di fondazione

Estensione	$E_f =$	20.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	1.500 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	0.750 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.400 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.200 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.400 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.600 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	0.00 °

Angolo di inclinazione terrapieno

$\alpha =$	0.00 °
------------	--------

**Materiali utilizzati**

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	2500 kg/m <sup>3</sup>
<u>Caratteristiche calcestruzzo</u>		
Classe di resistenza		C25/30
Resistenza caratteristica	$R_{ck} =$	300 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	141 Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Caratteristiche armature</u>		
Tipo acciaio		B 450 C
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	3913 Kg/cm <sup>2</sup>

**Caratteristiche geotecniche dei terreni**

Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_v =$	33.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.00 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_f =$	37.00 °
Coesione	$c'_f =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_m =$	37.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	24.67 °
Coesione	$c'_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>

**Carichi applicati**

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

Uniforme a valle del muro	$G1_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G1_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G1_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G1n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G1n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente non strutturale

Uniforme a valle del muro	$G2_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G2_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G2_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G2n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G2n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo variabile

Uniforme a valle del muro	$Q_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$Q_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$Q_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{Qn} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{Qn} =$	0.000 m

Carichi applicati alla mensola in elevazione

n.	tipo	H [m]	$F_x$ [kg]	$F_y$ [kg]	$M_z$ [kg•m]
1	G2	3.000	0	1000	0.000

Legenda

tipo G1 carico permanente strutturale; G2 carico permanente non strutturale; Q carico variabile  
 H quota del punto di applicazione del carico rispetto alla base della mensola di elevazione  
 $F_x$  forza orizzontale positiva se verso monte  
 $F_y$  forza verticale positiva se verso il basso  
 $M_z$  coppia positiva se oraria

## Normativa

Le verifiche geotecniche e di resistenza vengono eseguite secondo i dettami del D.M. 17 gennaio 2018: la verifica di stabilità globale viene effettuata secondo l'approccio DA1-C2 (A2+M2+R2) mentre le rimanenti verifiche (scorrimento, carico limite, ribaltamento e di resistenza) vengono effettuate secondo l'approccio DA2 (A1+M1+R3). Le verifiche per azioni sismiche vengono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

### Parametri per la determinazione dei carichi derivanti da sisma

Località:	BRENO (BS)	
Vita nominale	V <sub>N</sub> =	50 anni
Tipo di costruzione	tipo =	2
Classe d'uso	Cl <sub>U</sub> =	II
Coefficiente d'uso	C <sub>U</sub> =	1.0
Periodo di riferimento	V <sub>R</sub> =	50 anni
Probabilità di superamento	P <sub>vr</sub> =	10%
Periodo di ritorno	T <sub>R</sub> =	475 anni
Fattore di amplificazione spettrale massima	F <sub>o</sub> =	2.6100
Accelerazione orizzontale massima	a <sub>g</sub> =	0.0764 g
Categoria di sottosuolo	suolo =	A
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S <sub>S</sub> =	1.00000
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima		
verifiche locali	β <sub>m</sub> * =	1.00000
verifica di stabilità globale	β <sub>s</sub> =	0.20000
Categoria topografica	C <sub>T</sub> =	T2
Coefficiente di amplificazione topografica	S <sub>T</sub> =	1.20000
Coefficienti sismici per le verifiche locali		
orizzontale	k <sub>h</sub> =	0.09168
verticale	k <sub>v</sub> =	0.04584
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale		
orizzontale	k <sub>h</sub> =	0.01834
verticale	k <sub>v</sub> =	0.00917

\* Il muro non è in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

### Coefficienti parziali per le azioni

Tipo CMB	γ <sub>G1max</sub>	γ <sub>G1min</sub>	γ <sub>G2max</sub>	γ <sub>G2min</sub>	γ <sub>Q/ψ2i</sub>
DA2 (A1)	1.30	1.00	1.50	0.80	1.50
DA1-C2 (A2)	1.00	1.00	1.30	0.80	1.30
SIS	1.00	-	1.00	-	0.60

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tipo CMB	γ <sub>φ</sub>	γ <sub>c</sub>	γ <sub>γ</sub>
DA2 (M1)	1.00	1.00	1.00
DA1-C2 (M2)	1.25	1.25	1.00
SIS	1.00	1.00	1.00

### Coefficienti per la determinazione delle masse sismiche

Carichi permanenti strutturali G1	γ <sub>G1</sub> = 1.00
Carichi permanenti non strutturali G2	γ <sub>G2</sub> = 1.00
Carichi variabili Q	ψ <sub>EI</sub> = 0.60

### Coefficienti parziali per le verifiche

Verifica	DA2 (R3)	DA1-C2 (R2)	SIS
Capacità portante fondazione	1.40	-	(R3) 1.20
Scorrimento	1.10	-	(R3) 1.00
Ribaltamento	1.15	-	(R3) 1.00
Stabilità globale	-	1.10	(R2) 1.20

### Combinazioni per le verifiche locali e di resistenza

CMB	Tipo	γ <sub>G1</sub>	γ <sub>G2</sub>	γ <sub>Q</sub>	γ <sub>E</sub> <sup>1</sup>
1	DA2	1.30	1.50	1.50	0.00
2	DA2	1.30	1.50	0.00	0.00
3	DA2	1.30	0.80	1.50	0.00
4	DA2	1.30	0.80	0.00	0.00
5	DA2	1.00	1.50	1.50	0.00
6	DA2	1.00	1.50	0.00	0.00
7	DA2	1.00	0.80	1.50	0.00
8	DA2	1.00	0.80	0.00	0.00
9	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00
10	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00

<sup>1</sup> Il segno di γ<sub>E</sub> indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo ↓ e negativo ↑.

## Verifiche di stabilità dell'opera

### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)		
Spinta attiva	K <sub>AS</sub> =	0.2257
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)		
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto		
Spinta attiva	K <sub>AD</sub> =	0.2823
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso		
Spinta attiva	K <sub>AD</sub> =	0.2769

### Valori della spinta attiva del terreno di monte per metro di estensione del muro

Altezza di calcolo					H <sub>t</sub> = 3.400 m							
Le spinte sono espresse in <u>chilogrammi</u> e le coordinate in <u>metri</u> .												
CMB	S <sub>S,X</sub>	S <sub>S,Y</sub>	Y <sub>S</sub>	X <sub>S</sub>	S <sub>D,X</sub>	S <sub>D,Y</sub>	Y <sub>D</sub>	X <sub>D</sub>	S <sub>T,X</sub>	S <sub>T,Y</sub>	Y <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>
1	2851	1309	1.133	1.300	-	-	-	-	2851	1309	1.133	1.300
2	2851	1309	1.133	1.300	-	-	-	-	2851	1309	1.133	1.300
3	2851	1309	1.133	1.300	-	-	-	-	2851	1309	1.133	1.300
4	2851	1309	1.133	1.300	-	-	-	-	2851	1309	1.133	1.300
5	2193	1007	1.133	1.300	-	-	-	-	2193	1007	1.133	1.300
6	2193	1007	1.133	1.300	-	-	-	-	2193	1007	1.133	1.300
7	2193	1007	1.133	1.300	-	-	-	-	2193	1007	1.133	1.300
8	2193	1007	1.133	1.300	-	-	-	-	2193	1007	1.133	1.300
9	2193	1007	1.133	1.300	621	285	1.700	1.300	2814	1292	1.258	1.300
10	2193	1007	1.133	1.300	425	195	1.700	1.300	2618	1202	1.225	1.300

### Legenda

S <sub>S,X</sub> , S <sub>D,X</sub> , S <sub>T,X</sub>	componente orizzontale della spinta statica , dinamica , totale del terreno
S <sub>S,Y</sub> , S <sub>D,Y</sub> , S <sub>T,Y</sub>	componente verticale della spinta statica , dinamica , totale del terreno
Y <sub>S</sub> , Y <sub>D</sub> , Y <sub>T</sub>	ordinata del punto di applicazione della spinta statica , dinamica , totale
X <sub>S</sub> , X <sub>D</sub> , X <sub>T</sub>	ascissa del punto di applicazione della spinta statica , dinamica , totale
(le coordinate del punto di applicazione sono riferite al piede di valle della fondazione)	

### Forze d'inerzia per metro di estensione del muro

Componente orizzontale forza d'inerzia	F <sub>I,X</sub> =	606 kg
Ordinata del punto di applicazione della forza	Y <sub>I</sub> =	1.656 m
Componente verticale forza d'inerzia	F <sub>I,Y</sub> =	±303 kg
Ascissa del punto di applicazione della forza	X <sub>I</sub> =	1.078 m

### Verifica a ribaltamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica si considerano positive le forze verticali dirette verso il basso, le forze orizzontali dirette verso monte e i momenti aventi senso orario: se il momento ribaltante risulta positivo (quindi stabilizzante) viene posto pari a zero. Vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10.

### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Il centro di rotazione coincide con il piede di valle della soletta di fondazione.

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	4500	0.977	4396.875



Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	1110	1.400	1554.000
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	289	0.390	112.609
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-303	1.078	-326.650
Carichi concentrati stabilizzanti (C <sub>CS</sub> )			1175.000
<b>Momento stabilizzante (M<sub>STAB</sub>)</b>			<b>6911.834</b>
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	-2618	1.225	-3207.409
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	1202	1.300	1563.062
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	-606	1.656	-1003.575
Carichi concentrati ribaltanti (C <sub>CR</sub> )			0.000
<b>Momento ribaltante (M<sub>RIB</sub>)</b>			<b>-2647.922</b>

**Coefficiente di sicurezza al ribaltamento**

$$C_{RIB} = M_{STAB} / |M_{RIB}| = 2.61029$$

#### Restanti combinazioni

Si riportano, in forma tabellare, i risultati delle varie combinazioni di carico: viene fornito l'elenco delle variabili (VAR), le forze applicate (F [kg]), i relativi bracci (B [m]) e i momenti risultanti (M [kg•m]).

VAR	F	CMB 1 B	M	F	CMB 2 B	M	F	CMB 3 B	M
P <sub>M</sub>	5850	0.977	5715.937	5850	0.977	5715.937	5850	0.977	5715.937
P <sub>TM</sub>	1443	1.400	2020.200	1443	1.400	2020.200	1443	1.400	2020.200
P <sub>TV</sub>	375	0.390	146.392	375	0.390	146.392	375	0.390	146.392
C <sub>CS</sub>			1762.500			1762.500			940.000
<b>M<sub>STAB</sub></b>			<b>9645.029</b>			<b>9645.029</b>			<b>8822.529</b>
S <sub>T,X</sub>	-2851	1.133	-3231.050	-2851	1.133	-3231.050	-2851	1.133	-3231.050
S <sub>T,Y</sub>	1309	1.300	1702.313	1309	1.300	1702.313	1309	1.300	1702.313
C <sub>CR</sub>			0.000			0.000			0.000
<b>M<sub>RIB</sub></b>			<b>-1528.737</b>			<b>-1528.737</b>			<b>-1528.737</b>
<b>C<sub>RIB</sub></b>		<b>6.30915</b>		<b>6.30915</b>			<b>5.77112</b>		

VAR	F	CMB 4 B	M	F	CMB 5 B	M	F	CMB 6 B	M
P <sub>M</sub>	5850	0.977	5715.937	4500	0.977	4396.875	4500	0.977	4396.875
P <sub>TM</sub>	1443	1.400	2020.200	1110	1.400	1554.000	1110	1.400	1554.000
P <sub>TV</sub>	375	0.390	146.392	289	0.390	112.609	289	0.390	112.609
C <sub>CS</sub>			940.000			1762.500			1762.500
<b>M<sub>STAB</sub></b>			<b>8822.529</b>			<b>7825.984</b>			<b>7825.984</b>
S <sub>T,X</sub>	-2851	1.133	-3231.050	-2193	1.133	-2485.423	-2193	1.133	-2485.423
S <sub>T,Y</sub>	1309	1.300	1702.313	1007	1.300	1309.472	1007	1.300	1309.472
C <sub>CR</sub>			0.000			0.000			0.000
<b>M<sub>RIB</sub></b>			<b>-1528.737</b>			<b>-1175.951</b>			<b>-1175.951</b>
<b>C<sub>RIB</sub></b>		<b>5.77112</b>		<b>6.65502</b>			<b>6.65502</b>		

VAR	F	CMB 7 B	M	F	CMB 8 B	M	F	CMB 9 B	M
P <sub>M</sub>	4500	0.977	4396.875	4500	0.977	4396.875	4500	0.977	4396.875
P <sub>TM</sub>	1110	1.400	1554.000	1110	1.400	1554.000	1110	1.400	1554.000
P <sub>TV</sub>	289	0.390	112.609	289	0.390	112.609	289	0.390	112.609
F <sub>I,Y</sub>	-	-	-	-	-	-	303	1.078	326.650
C <sub>CS</sub>			940.000			940.000			1175.000
<b>M<sub>STAB</sub></b>			<b>7003.484</b>			<b>7003.484</b>			<b>7565.134</b>
S <sub>T,X</sub>	-2193	1.133	-2485.423	-2193	1.133	-2485.423	-2814	1.258	-3540.413
S <sub>T,Y</sub>	1007	1.300	1309.472	1007	1.300	1309.472	1292	1.300	1680.027
F <sub>I,X</sub>	-	-	-	-	-	-	-606	1.656	-1003.575
C <sub>CR</sub>			0.000			0.000			0.000
<b>M<sub>RIB</sub></b>			<b>-1175.951</b>			<b>-1175.951</b>			<b>-2863.961</b>
<b>C<sub>RIB</sub></b>		<b>5.95559</b>		<b>5.95559</b>			<b>2.64149</b>		

#### Verifica a schiacciamento (superata con successo)

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 9)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	4500

Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	1110
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	289
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	0
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	303
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	0
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	1292
Carichi concentrati (C <sub>C</sub> )	1000
<b>Carico totale ortogonale al piano di fondazione (N<sub>TOT</sub>)</b>	<b>8494</b>

$$\text{Momento rispetto al piede di valle } (M_{TOT} = M_{STAB} + M_{RIB}) = 4701.173 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$\begin{aligned} \text{Distanza carico dal piede di valle } (d_N = M_{TOT} / N_{TOT}) &= 0.553 \text{ m} \\ \text{Eccentricità del carico } (e_N = |L_{f1} / 2 - d_N|) &= 0.197 \text{ m} \\ (\text{Il punto di applicazione del carico è interno al terzo medio}) \end{aligned}$$

Compressione all'estremo di valle (σ <sub>v</sub> )	10114 kg/m <sup>2</sup>
Compressione all'estremo di monte (σ <sub>m</sub> )	1211 kg/m <sup>2</sup>
Ampiezza della zona compressa (B <sub>comp</sub> )	1.500 m
Compressione limite (σ <sub>L</sub> )	35071 kg/m <sup>2</sup>

**Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento**

$$C_{SCH} = (\sigma_L / R) / \sigma_{max} = 2.88967$$

#### Restanti combinazioni

Si riportano, in forma tabellare, i risultati delle varie combinazioni di carico, fornendo l'elenco delle variabili (VAR) e il relativo valore (CMB i). Con la sigla Pos<sub>N</sub> si indica la posizione del carico totale ortogonale al piano di fondazione rispetto alla fondazione stessa: i.t.m. significa interno al terzo medio, e.t.m. significa esterno al terzo medio ed e.f. significa esterno alla fondazione.

VAR	CMB 1	CMB 2	CMB 3	CMB 4	CMB 5	CMB 6
P <sub>M</sub> [kg]	5850	5850	5850	5850	4500	4500
P <sub>TM</sub> [kg]	1443	1443	1443	1443	1110	1110
P <sub>TV</sub> [kg]	375	375	375	375	289	289
S <sub>T,X</sub> [kg]	0	0	0	0	0	0
S <sub>T,Y</sub> [kg]	1309	1309	1309	1309	1007	1007
C <sub>C</sub> [kg]	1500	1500	800	800	1500	1500
<b>N<sub>TOT</sub> [kg]</b>	<b>10478</b>	<b>10478</b>	<b>9778</b>	<b>9778</b>	<b>8406</b>	<b>8406</b>
M <sub>TOT</sub> [kg•m]	8116.292	8116.292	7293.792	7293.792	6650.033	6650.033
d <sub>N</sub> [m]	0.775	0.775	0.746	0.746	0.791	0.791
e <sub>N</sub> [m]	0.025	0.025	0.004	0.004	0.041	0.041
Pos <sub>N</sub>	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.
σ <sub>v</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	6297	6297	6624	6624	4682	4682
σ <sub>m</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	7673	7673	6413	6413	6526	6526
B <sub>comp</sub> [m]	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
σ <sub>L</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	63874	63874	60622	60622	65542	65542
<b>C<sub>SCH</sub></b>	<b>5.94592</b>	<b>5.94592</b>	<b>6.53738</b>	<b>6.53738</b>	<b>7.17420</b>	<b>7.17420</b>

VAR	CMB 7	CMB 8	CMB 10
P <sub>M</sub> [kg]	4500	4500	4500
P <sub>TM</sub> [kg]	1110	1110	1110
P <sub>TV</sub> [kg]	289	289	289
F <sub>I,X</sub> [kg]	-	-	0
F <sub>I,Y</sub> [kg]	-	-	-303
S <sub>T,X</sub> [kg]	0	0	0
S <sub>T,Y</sub> [kg]	1007	1007	1202
C <sub>C</sub> [kg]	800	800	1000
<b>N<sub>TOT</sub> [kg]</b>	<b>7706</b>	<b>7706</b>	<b>7798</b>
M <sub>TOT</sub> [kg•m]	5827.533	5827.533	4263.912
d <sub>N</sub> [m]	0.756	0.756	0.547
e <sub>N</sub> [m]	0.006	0.006	0.203
Pos <sub>N</sub>	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.
σ <sub>v</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	5009	5009	9424

$\sigma_m$ [kg/m <sup>2</sup> ]	5266	5266	973
$B_{comp}$ [m]	1.500	1.500	1.500
$\sigma_L$ [kg/m <sup>2</sup> ]	62009	62009	33438
<b>C<sub>SCH</sub></b>	<b>8.41163</b>	<b>8.41163</b>	<b>2.95674</b>

#### Verifica a scorrimento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10. Il coefficiente di attrito per il terreno di fondazione è  $f_t = \tan(\varphi_t) / \gamma_{\varphi} = 0.75355$ .

#### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro ( $P_M$ )	4500	0
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	1110	0
Peso del terreno a valle ( $P_{TV}$ )	289	0
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,x}$ )	0	606
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,y}$ )	-303	0
Carichi concentrati ( $C_C$ )	1000	0
Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,x}$ )	0	2618
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,y}$ )	1202	0
<b>Carico totale (<math>\Sigma_{\perp}</math>, <math>\Sigma_{\parallel}</math>)</b>	<b>7798</b>	<b>3224</b>

#### Coefficiente di sicurezza allo scorrimento

$$C_{sco} = (\Sigma_{\perp} \cdot f_t / R) / \Sigma_{\parallel} = 1.82279$$

#### Restanti combinazioni

Si riportano, in forma tabellare, i risultati delle varie combinazioni di carico: viene fornito l'elenco dei carichi (CAR) e le componenti ortogonali ( $F_{\perp}$  [kg]) e tangenziali ( $F_{\parallel}$  [kg]) al piano di scorrimento.

	CMB 1		CMB 2		CMB 3		CMB 4	
CAR	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$
$P_M$	5850	0	5850	0	5850	0	5850	0
$P_{TM}$	1443	0	1443	0	1443	0	1443	0
$P_{TV}$	375	0	375	0	375	0	375	0
$C_C$	1500	0	1500	0	800	0	800	0
$S_{T,x}$	0	2851	0	2851	0	2851	0	2851
$S_{T,y}$	1309	0	1309	0	1309	0	1309	0
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>10478</b>	<b>2851</b>	<b>10478</b>	<b>2851</b>	<b>9778</b>	<b>2851</b>	<b>9778</b>	<b>2851</b>
<b>C<sub>sco</sub></b>	<b>2.51767</b>		<b>2.51767</b>		<b>2.34947</b>		<b>2.34947</b>	

	CMB 5		CMB 6		CMB 7		CMB 8	
CAR	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$
$P_M$	4500	0	4500	0	4500	0	4500	0
$P_{TM}$	1110	0	1110	0	1110	0	1110	0
$P_{TV}$	289	0	289	0	289	0	289	0
$C_C$	1500	0	1500	0	800	0	800	0
$S_{T,x}$	0	2193	0	2193	0	2193	0	2193
$S_{T,y}$	1007	0	1007	0	1007	0	1007	0
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>8406</b>	<b>2193</b>	<b>8406</b>	<b>2193</b>	<b>7706</b>	<b>2193</b>	<b>7706</b>	<b>2193</b>
<b>C<sub>sco</sub></b>	<b>2.62581</b>		<b>2.62581</b>		<b>2.40714</b>		<b>2.40714</b>	

	CMB 9	
CAR	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$
$P_M$	4500	0
$P_{TM}$	1110	0
$P_{TV}$	289	0
$F_{I,x}$	0	606
$F_{I,y}$	303	0
$C_C$	1000	0
$S_{T,x}$	0	2814
$S_{T,y}$	1292	0
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>8494</b>	<b>3420</b>
<b>C<sub>sco</sub></b>	<b>1.87175</b>	

#### Verifica di stabilità globale (superata con successo)

##### Parametri di ricerca della superficie di rottura circolare

Metodo di ricerca	Bishop
Numero di punti di generazione delle superfici	$N_{pg} = 20$
Numero delle superfici generate per punto	$N_{sp} = 100$
Lunghezza dei segmenti generati	$L_s = 1.000$ m
Distanza della zona di generazione delle superfici	$D_{zg} = 3.000$ m
Lunghezza della zona di generazione delle superfici	$L_{zg} = 10.000$ m
Distanza della zona di arrivo della superfici	$D_{za} = 4.000$ m
Lunghezza della zona di arrivo della superfici	$L_{za} = 21.000$ m

##### Combinazioni

CMB	Tipo	$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_Q$	$\gamma_E^*$	$\gamma_{\varphi}$	$\gamma_c'$	$\gamma_{\gamma}$	R2
1	DA1-C2	1.00	1.30	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
2	DA1-C2	1.00	1.30	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
3	DA1-C2	1.00	0.80	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
4	DA1-C2	1.00	0.80	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
5	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00	1.00	1.00	1.00	1.20
6	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.20

\* Il segno di  $\gamma_E$  indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo  $\downarrow$  e negativo  $\uparrow$ .

#### Caratteristiche geometriche superficie di rottura (Combinazione 3)

Il sistema di riferimento coincide con il piede di valle della fondazione: l'asse delle ascisse è orizzontale diretto

verso monte e l'asse delle ordinate è verticale diretto verso l'alto.

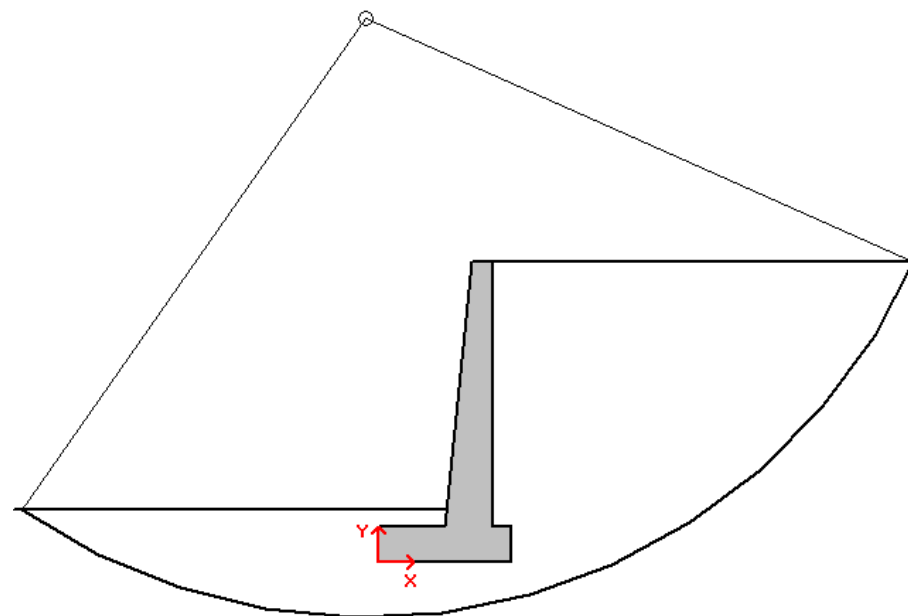
Ascissa centro  $X_{cs} = -0.142$  m

Ordinata centro  $Y_{cs} = 6.149$  m

Raggio  $R_s = 6.775$  m

#### Coefficiente di sicurezza alla stabilità globale

$$C_{sg} = 1.87455$$



Verifica delle armature

La verifica viene effettuata considerando lo stato limite ultimo, pertanto, si eseguono i seguenti controlli:

- Verifica N/M: si visualizza il valore del rapporto  $S_d/S_u$  ottenuto con incremento proporzionale delle sollecitazioni ( $S_d$  = sollecitazione di progetto derivante da N e M,  $S_u$  = sollecitazione ultima);
- Verifica (25): si visualizza il valore del rapporto  $N_d/N_u$ , dove  $N_u$  viene ottenuto con riduzione del 25% di  $f_{cd}$  ( $N_d$  = sollecitazione normale di progetto,  $N_u$  = sollecitazione normale ultima).

Entrambi i valori dei rapporti devono essere minori o uguali a 1 affinché la verifica sia superata. Si riporta inoltre il valore del rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile della sezione (rapporto  $x/d$ ) alla rottura della sezione (per sola flessione). Le sollecitazioni riportare si riferiscono ad un tratto di muro di estensione 1 m.

Mensola in elevazione

Le quote delle sezioni sono riferite allo spiccatto di fondazione.

Sezione 1 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]		A <sub>r</sub> ' [cm <sup>2</sup> ]
2.000	100.0	35.0	(1 Ø 16 / 30 cm)	6.70	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 1)					
Sforzo normale (N) [kg]		Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]	
2475		247		82.207	
Rapporto x/d = 0.12845					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.00678			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00685			

Sezione 2 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]		$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
1.000	100.0	45.0	[(1 Ø 16 + 1 Ø 10) / 30 cm] 9.32		(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]		
2830	1202		933.625		
Rapporto x/d = 0.12487					
Verifica N/M		$S_d/S_u = 0.03166$			
Verifica (25)		$N_d/N_u = 0.00613$			

Sezione 3 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]		$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
0.000	100.0	55.0	(1 Ø 16 / 15 cm)	13.40	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]		
4138	2567		2945.734		
Rapporto x/d = 0.13217					
Verifica N/M		$S_d/S_u = 0.07986$			
Verifica (25)		$N_d/N_u = 0.00729$			

Sezione d'incastro mensola di fondazione a valle (verificata)

Caratteristiche					
$L_{\text{mensola}}$ [m]	B [cm]	H [cm]		$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
1.025	100.0	40.0	(1 Ø 12 / 15 cm)	7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Compressione terreno estremo di valle		$\sigma_v$ =	10114 kg/m <sup>2</sup>		
Compressione terreno all'incastro		$\sigma_i$ =	4030 kg/m <sup>2</sup>		
Lunghezzazona compressa		$L_c$ =	1.025 m		

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]
Forza di compressione terreno	-7249	0.586	-4247.761
Peso della mensola	750	0.650	487.500
Peso del terreno	289	0.635	183.205
Inerzia verticale (terreno e cls)	48	0.646	30.745
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]		
6163	3546.310		
Rapporto x/d = 0.12099			
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.35047	

Sezione d'incastro mensola di fondazione a monte (verificata)

Caratteristiche					
L <sub>Mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]		A <sub>r</sub> ' [cm <sup>2</sup> ]
0.475	100.0	40.0	(1 Ø 12 / 15 cm)	7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Compressione terreno estremo di monte	σ <sub>m</sub> =	1211 kg/m <sup>2</sup>			
Compressione terreno all'incastro	σ <sub>i</sub> =	4030 kg/m <sup>2</sup>			
Lunghezza zona compressa	L <sub>c</sub> =	0.475 m			
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]		
Forza di compressione terreno	-1245	0.195	-242.655		
Peso della mensola	200	0.375	75.000		
Peso del terreno	1110	0.375	416.250		
Inerzia verticale (terreno e cls)	60	0.375	22.519		
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]				
-125	-271.113				
Rapporto x/d = 0.12099					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.02679			

Computo materiali

I valori riportati sono riferiti all'intera estensione del muro, pari a 20.00 metri.

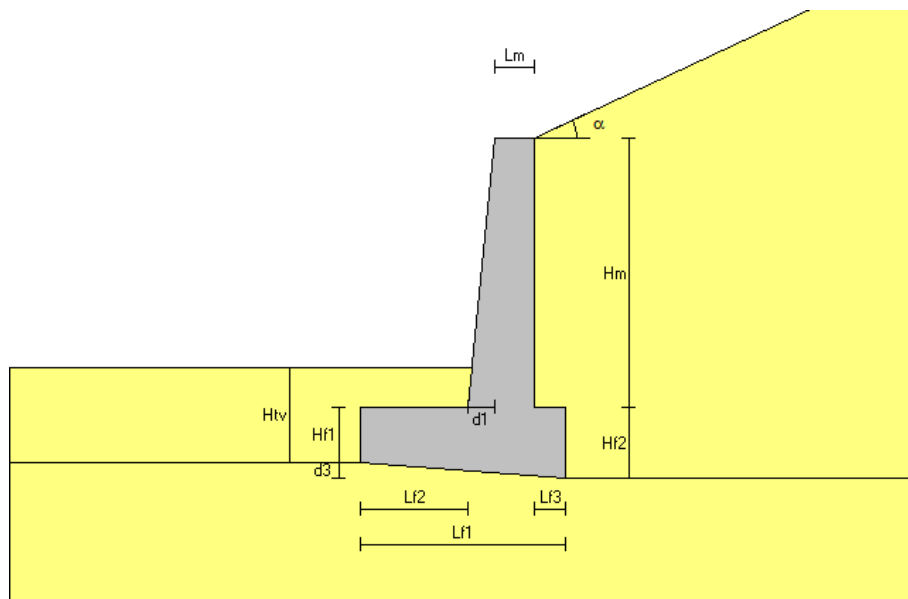
Volumi del calcestruzzo

Mensola in elevazione	24.00 m <sup>3</sup>
Soletta di fondazione	12.00 m <sup>3</sup>
Volume totale	36.00 m <sup>3</sup>

Pesi dei ferri di armatura

Mensola in elevazione	1652.46 Kg
Soletta di fondazione	668.38 Kg
Peso totale	2320.84 Kg

**INTERVENTO A2 – MURO DI SOSTEGNO H CM 170**  
**Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018**



**Descrizione dell'opera**

Tipo di opera:	muro in calcestruzzo armato
Tipo di sovrastruttura:	paramenti piani
Tipo di fondazione:	piana inclinata

**Caratteristiche geometriche**

Mensola in elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	1.700 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	0.250 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	0.420 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	5.71 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

Soletta di fondazione

Estensione	$E_f =$	20.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	1.300 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	0.680 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.350 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.200 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.450 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.600 m
Dislivello estremi fondazione	$d_3 =$	0.100 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	4.40 °

Angolo di inclinazione terrapieno	$\alpha =$	25.00 °
-----------------------------------	------------	---------

**Materiali utilizzati**

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	2500 kg/m <sup>3</sup>
<u>Caratteristiche calcestruzzo</u>		
Classe di resistenza		C25/30
Resistenza caratteristica	$R_{ck} =$	300 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	141 Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Caratteristiche armature</u>		
Tipo acciaio		B 450 C
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	3913 Kg/cm <sup>2</sup>

**Caratteristiche geotecniche dei terreni**

Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_v =$	33.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.00 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_f =$	37.00 °
Coesione	$c'_f =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_m =$	37.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	24.67 °
Coesione	$c'_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>

**Carichi applicati**

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

Uniforme a valle del muro	$G1_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G1_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G1_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G1n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G1n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente non strutturale

Uniforme a valle del muro	$G2_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G2_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G2_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G2n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G2n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo variabile

Uniforme a valle del muro	$Q_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$Q_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$Q_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{Qn} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{Qn} =$	0.000 m

**Normativa**

Le verifiche geotecniche e di resistenza vengono eseguite secondo i dettami del D.M. 17 gennaio 2018: la verifica di stabilità globale viene effettuata secondo l'approccio DA1-C2 (A2+M2+R2) mentre le rimanenti verifiche (scorrimento, carico limite, ribaltamento e di resistenza) vengono effettuate secondo l'approccio DA2 (A1+M1+R3). Le verifiche per azioni sismiche vengono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

#### Parametri per la determinazione dei carichi derivanti da sisma

Località:	BRENO (BS)
Vita nominale	$V_N = 50$ anni
Tipo di costruzione	tipo = 2
Classe d'uso	$Cl_U = II$
Coefficiente d'uso	$C_U = 1.0$
Periodo di riferimento	$V_R = 50$ anni
Probabilità di superamento	$P_{VR} = 10\%$
Periodo di ritorno	$T_R = 475$ anni
Fattore di amplificazione spettrale massima	$F_o = 2.6100$
Accelerazione orizzontale massima	$a_g = 0.0764$ g
Categoria di sottosuolo	suolo = E
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S = 1.60000$
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima	
verifiche locali	$\beta_m^* = 1.00000$
verifica di stabilità globale	$\beta_s = 0.20000$
Categoria topografica	$C_T = T3$
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T = 1.20000$
Coefficienti sismici per le verifiche locali	
orizzontale	$k_h = 0.14669$
verticale	$k_v = 0.07334$
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale	
orizzontale	$k_h = 0.02934$
verticale	$k_v = 0.01467$

\* Il muro non è in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

#### Coefficienti parziali per le azioni

Tipo CMB	$\gamma_{G1max}$	$\gamma_{G1min}$	$\gamma_{G2max}$	$\gamma_{G2min}$	$\gamma_Q/\psi/2i$
DA2 (A1)	1.30	1.00	1.50	0.80	1.50
DA1-C2 (A2)	1.00	1.00	1.30	0.80	1.30
SIS	1.00	-	1.00	-	0.60

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tipo CMB	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_\gamma$
DA2 (M1)	1.00	1.00	1.00
DA1-C2 (M2)	1.25	1.25	1.00
SIS	1.00	1.00	1.00

#### Coefficienti per la determinazione delle masse sismiche

Carichi permanenti strutturali G1	$\gamma_{G1} = 1.00$
Carichi permanenti non strutturali G2	$\gamma_{G2} = 1.00$
Carichi variabili Q	$\psi_{EI} = 0.60$

#### Coefficienti parziali per le verifiche

Verifica	DA2 (R3)	DA1-C2 (R2)	SIS
Capacità portante fondazione	1.40	-	(R3) 1.20
Scorrimento	1.10	-	(R3) 1.00
Ribaltamento	1.15	-	(R3) 1.00
Stabilità globale	-	1.10	(R2) 1.20

#### Combinazioni per le verifiche locali e di resistenza

CMB	Tipo	$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_Q$	$\gamma_E^1$
1	DA2	1.30	1.50	1.50	0.00
2	DA2	1.30	1.50	0.00	0.00
3	DA2	1.30	0.80	1.50	0.00
4	DA2	1.30	0.80	0.00	0.00
5	DA2	1.00	1.50	1.50	0.00
6	DA2	1.00	1.50	0.00	0.00
7	DA2	1.00	0.80	1.50	0.00

8	DA2	1.00	0.80	0.00	0.00
9	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00
10	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00

<sup>1</sup> Il segno di  $\gamma_E$  indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo  $\Downarrow$  e negativo  $\Uparrow$ .

#### Verifiche di stabilità dell'opera

##### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)	$K_{AS} = 0.3242$
Spinta attiva	
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)	
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.6095$
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.5467$

##### Valori della spinta attiva del terreno di monte per metro di estensione del muro

Altezza di calcolo					H <sub>t</sub> = 2.150 m							
Le spinte sono espresse in <u>chilogrammi</u> e le coordinate in <u>metri</u> .												
CMB	S <sub>S,X</sub>	S <sub>S,Y</sub>	Y <sub>S</sub>	X <sub>S</sub>	S <sub>D,X</sub>	S <sub>D,Y</sub>	Y <sub>D</sub>	X <sub>D</sub>	S <sub>T,X</sub>	S <sub>T,Y</sub>	Y <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>
1	1638	752	0.717	1.100	-	-	-	-	1638	752	0.617	1.100
2	1638	752	0.717	1.100	-	-	-	-	1638	752	0.617	1.100
3	1638	752	0.717	1.100	-	-	-	-	1638	752	0.617	1.100
4	1638	752	0.717	1.100	-	-	-	-	1638	752	0.617	1.100
5	1260	579	0.717	1.100	-	-	-	-	1260	579	0.617	1.100
6	1260	579	0.717	1.100	-	-	-	-	1260	579	0.617	1.100
7	1260	579	0.717	1.100	-	-	-	-	1260	579	0.617	1.100
8	1260	579	0.717	1.100	-	-	-	-	1260	579	0.617	1.100
9	1260	579	0.717	1.100	1020	469	1.075	1.100	2280	1047	0.777	1.100
10	1260	579	0.717	1.100	935	429	1.075	1.100	2195	1008	0.769	1.100

##### Legenda

$S_{S,X}$ , $S_{D,X}$ , $S_{T,X}$	componente orizzontale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$S_{S,Y}$ , $S_{D,Y}$ , $S_{T,Y}$	componente verticale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$Y_S$ , $Y_D$ , $Y_T$	ordinata del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
$X_S$ , $X_D$ , $X_T$	ascissa del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
(le coordinate del punto di applicazione sono riferite al piede di valle della fondazione)	

#### Forze d'inerzia per metro di estensione del muro

Componente orizzontale forza d'inerzia	$F_{I,X} = 494$ kg
Ordinata del punto di applicazione della forza	$Y_I = 0.769$ m
Componente verticale forza d'inerzia	$F_{I,Y} = \pm 247$ kg
Ascissa del punto di applicazione della forza	$X_I = 0.884$ m

#### Verifica a ribaltamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica si considerano positive le forze verticali dirette verso il basso, le forze orizzontali dirette verso monte e i momenti aventi senso orario: se il momento ribaltante risulta positivo (quindi stabilizzante) viene posto pari a zero. Vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10.

#### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Il centro di rotazione coincide con il piede di valle della soletta di fondazione.

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg*m]
Peso del muro ( $P_M$ )	2724	0.809	2202.737
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	646	1.201	776.079
Peso del terreno a valle ( $P_{TV}$ )	328	0.355	116.643
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-247	0.884	-218.478
<b>Momento stabilizzante (<math>M_{STAB}</math>)</b>			<b>2876.981</b>

Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	-2195	0.769	-1688.277
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	1008	1.100	1108.774
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	-494	0.769	-379.995

Momento ribaltante (M<sub>RIB</sub>) -959.498

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento C<sub>RIB</sub> = M<sub>STAB</sub> / |M<sub>RIB</sub>| = 2.99842

#### Verifica a schiacciamento (superata con successo)

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	2716
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	644
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	327
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	38
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-246
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	168
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	1005
<b>Carico totale ortogonale al piano di fondazione (N<sub>TOT</sub>)</b>	<b>4652</b>

Momento rispetto al piede di valle (M<sub>TOT</sub> = M<sub>STAB</sub> + M<sub>RIB</sub>) 1917.483 kg·m

Distanza carico dal piede di valle (d<sub>N</sub> = M<sub>TOT</sub> / N<sub>TOT</sub>) 0.412 m  
Eccentricità del carico (e<sub>N</sub> = |L<sub>f1</sub> / 2 - d<sub>N</sub>|) 0.240 m  
(Il punto di applicazione del carico è **esterno** al terzo medio)

Compressione all'estremo di valle (σ<sub>v</sub>) 7525 kg/m<sup>2</sup>  
Compressione all'estremo di monte (σ<sub>m</sub>) 0 kg/m<sup>2</sup>  
Ampiezza della zona compressa (B<sub>comp</sub>) 1.236 m  
Compressione limite (σ<sub>L</sub>) 17349 kg/m<sup>2</sup>

Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento C<sub>SCH</sub> = (σ<sub>L</sub> / R) / σ<sub>max</sub> = 1.92120

#### Verifica a scorrimento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10. Il coefficiente di attrito per il terreno di fondazione è f<sub>t</sub> = tan(φ) / γ<sub>φ</sub> = 0.75355.

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	2716	-209
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	644	-50
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	327	-25
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	38	493
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-246	19
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	168	2188
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	1005	-77
<b>Carico totale (Σ<sub>L</sub>, Σ<sub>II</sub>)</b>	<b>4652</b>	<b>2339</b>

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento C<sub>SCO</sub> = (Σ<sub>L</sub> · f<sub>t</sub> / R) / Σ<sub>II</sub> = 1.49886

#### Verifica di stabilità globale (superata con successo)

Parametri di ricerca della superficie di rottura circolare

Metodo di ricerca	Bishop
Numero di punti di generazione delle superfici	N <sub>pg</sub> = 20
Numero delle superfici generate per punto	N <sub>sp</sub> = 100
Lunghezza dei segmenti generati	L <sub>s</sub> = 1.000 m
Distanza della zona di generazione delle superfici	D <sub>zg</sub> = 2.000 m
Lunghezza della zona di generazione delle superfici	L <sub>zg</sub> = 6.000 m
Distanza della zona di arrivo della superfici	D <sub>za</sub> = 3.000 m
Lunghezza della zona di arrivo della superfici	L <sub>za</sub> = 15.000 m

#### Combinazioni

CMB	Tipo	γ <sub>G1</sub>	γ <sub>G2</sub>	γ <sub>Q</sub>	γ <sub>E</sub> *	γ <sub>φ</sub>	γ <sub>c</sub>	γ <sub>γ</sub>	R2
-----	------	-----------------	-----------------	----------------	------------------	----------------	----------------	----------------	----

1	DA1-C2	1.00	1.30	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
2	DA1-C2	1.00	1.30	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
3	DA1-C2	1.00	0.80	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
4	DA1-C2	1.00	0.80	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
5	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00	1.00	1.00	1.00	1.20
6	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.20

\* Il segno di γ<sub>E</sub> indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo ↓ e negativo ↑.

#### Caratteristiche geometriche superficie di rottura (Combinazione 1)

Il sistema di riferimento coincide con il piede di valle della fondazione: l'asse delle ascisse è orizzontale

diretto

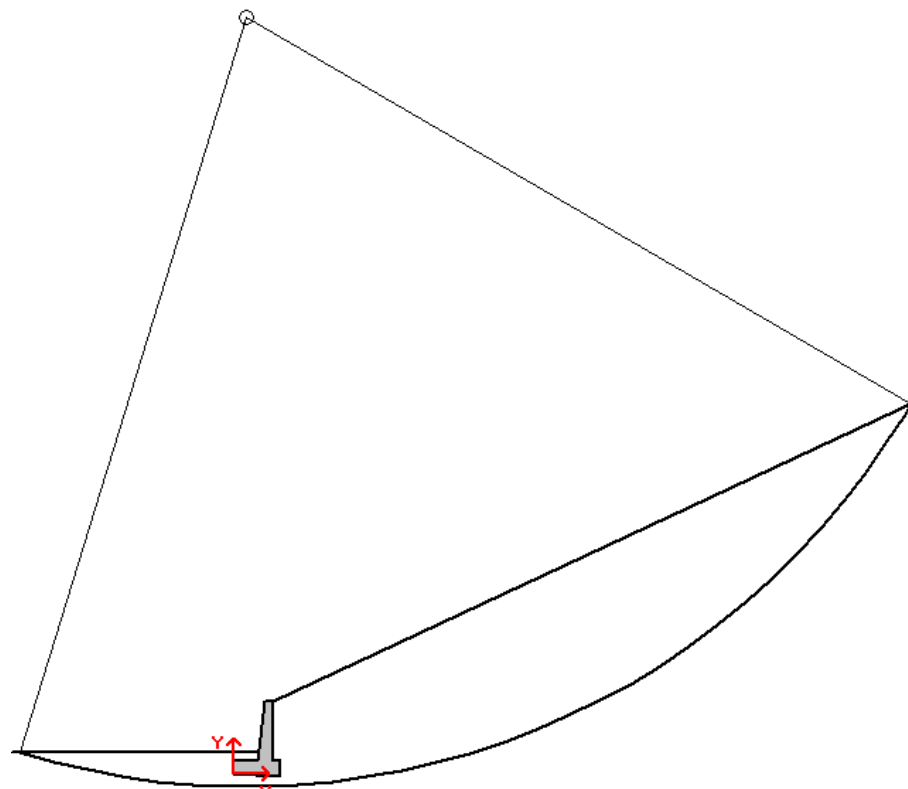
verso monte e l'asse delle ordinate è verticale diretto verso l'alto.

Ascissa centro X<sub>cs</sub> = 0.357 m

Ordinata centro Y<sub>cs</sub> = 21.606 m

Raggio R<sub>s</sub> = 21.880 m

Coefficiente di sicurezza alla stabilità globale C<sub>SG</sub> = 1.41818



#### Verifica delle armature

La verifica viene effettuata considerando lo stato limite ultimo, pertanto, si eseguono i seguenti controlli:

- Verifica N/M: si visualizza il valore del rapporto S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> ottenuto con incremento proporzionale delle sollecitazioni (S<sub>d</sub> = sollecitazione di progetto derivante da N e M, S<sub>u</sub> = sollecitazione ultima);
- Verifica (25): si visualizza il valore del rapporto N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub>, dove N<sub>u</sub> viene ottenuto con riduzione del 25% di f<sub>cd</sub>

( $N_d$  = sollecitazione normale di progetto,  $N_u$  = sollecitazione normale ultima).  
 Entrambi i valori dei rapporti devono essere minori o uguali a 1 affinché la verifica sia superata.  
 Si riporta inoltre il valore del rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile della sezione (rapporto  $x/d$ ) alla rottura della sezione (per sola flessione).  
 Le sollecitazioni riportate si riferiscono ad un tratto di muro di estensione 1 m.

#### Mensola in elevazione

Le quote delle sezioni sono riferite allo spiccatto di fondazione.

#### Sezione 1 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]	
1.133	100.0	30.7	(1 Ø 14 / 30 cm) 5.13	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24	
Condizioni più gravose (Combinazione 10)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg•m]		
365	244		60.988		
Rapporto x/d = 0.12859					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.00412			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00115			

#### Sezione 2 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]	
0.567	100.0	36.3	$[(1 \varnothing 14 + 1 \varnothing 10) / 30 \text{ cm}]$ 7.75	$(1 \varnothing 10 / 15 \text{ cm})$ 5.24	
Condizioni più gravose (Combinazione 10)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg•m]		
805	801		385.010		
Rapporto x/d = 0.13223					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.02866			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00213			

#### Sezione 3 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]		$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
0.000	100.0	42.0	(1 Ø 14 / 15 cm)	10.26	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg•m]		
1528	1729		1233.798		
Rapporto x/d = 0.13654					
Verifica N/M		$S_d/S_u = 0.06737$			
Verifica (25)		$N_d/N_u = 0.00349$			

#### Sezione d'incastro mensola di fondazione a valle (verificata)

Caratteristiche					
L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>r</sub> ' [cm <sup>2</sup> ]	
0.890	100.0	40.2	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54	
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Compressione terreno estremo di valle	σ <sub>v</sub> =	7757 kg/m <sup>2</sup>			
Compressione terreno all'incastro	σ <sub>i</sub> =	2587 kg/m <sup>2</sup>			
Lunghezza zona compressa	L <sub>c</sub> =	0.893 m			
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]		
Forza di compressione terreno	-4617	0.521	-2403.703		
Peso della mensola	639	0.542	346.665		
Peso del terreno	328	0.535	175.611		
Inerzia verticale (terreno e cls)	71	0.540	38.306		
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]				
3578	1843.122				

Rapporto  $x/d = 0.12091$

**Verifica N/M**

**$S_d/S_u = 0.18098$**

#### Sezione d'incastro mensola di fondazione a monte (verificata)

Caratteristiche					
$L_{\text{mensola}}$ [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]	
0.410	100.0	43.5	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54	

#### Condizioni più gravose (Combinazione 10)

Compressione terreno estremo di monte				$\sigma_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Compressione terreno all'incastro				$\sigma_i =$	2093 kg/m <sup>2</sup>
Lunghezza zona compressa				$L_c =$	0.344 m
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]		
Forza di compressione terreno	-360	0.115	-41.236		
Peso della mensola	221	0.310	68.558		
Peso del terreno	646	0.311	200.914		
Inerzia verticale (terreno e cls)	-64	0.311	-19.764		
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]				
-444	-208.471				
Rapporto x/d = 0.11455					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.01875			

#### Computo materiali

I valori riportati sono riferiti all'intera estensione del muro, pari a 20.00 metri.

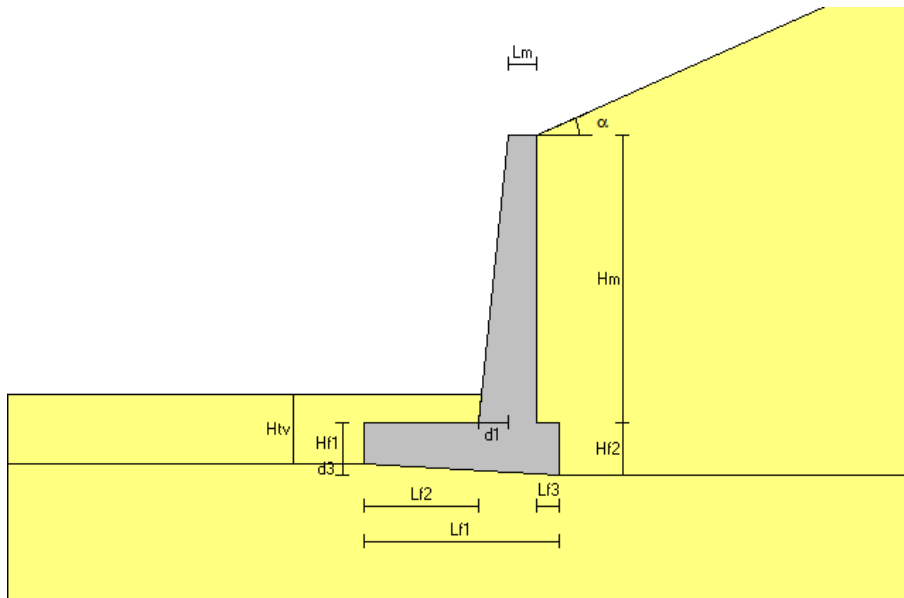
#### Volumi del calcestruzzo

Mensola in elevazione	11.39 m <sup>3</sup>
Soletta di fondazione	10.40 m <sup>3</sup>
Volume totale	21.79 m <sup>3</sup>

#### Pesi dei ferri di armatura

Mensola in elevazione	964.29 Kg
Soletta di fondazione	597.20 Kg
Peso totale	1561.49 Kg

**INTERVENTO A2 – MURO DI SOSTEGNO H CM 250**  
**Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018**



**Descrizione dell'opera**

Tipo di opera:	muro in calcestruzzo armato
Tipo di sovrastruttura:	paramenti piani
Tipo di fondazione:	piana inclinata

**Caratteristiche geometriche**

Mensola in elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	2.500 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	0.250 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	0.500 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	5.71 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

Soletta di fondazione

Estensione	$E_f =$	20.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	1.700 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	1.000 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.350 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.200 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.450 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.600 m
Dislivello estremi fondazione	$d_3 =$	0.100 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	3.37 °

<u>Angolo di inclinazione terrapieno</u>	$\alpha =$	24.00 °
--	------------	---------

**Materiali utilizzati**

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	2500 kg/m <sup>3</sup>
<u>Caratteristiche calcestruzzo</u>		
Classe di resistenza		C25/30
Resistenza caratteristica	$R_{ck} =$	300 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	141 Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Caratteristiche armature</u>		
Tipo acciaio		B 450 C
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	3913 Kg/cm <sup>2</sup>

**Caratteristiche geotecniche dei terreni**

Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_v =$	33.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.00 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_f =$	37.00 °
Coesione	$c'_f =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_m =$	37.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	24.67 °
Coesione	$c'_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>

**Carichi applicati**

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

Uniforme a valle del muro	$G1_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G1_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G1_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G1n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G1n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente non strutturale

Uniforme a valle del muro	$G2_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G2_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G2_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G2n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G2n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo variabile

Uniforme a valle del muro	$Q_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$Q_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$Q_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{Qn} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{Qn} =$	0.000 m

**Normativa**

Le verifiche geotecniche e di resistenza vengono eseguite secondo i dettami del D.M. 17 gennaio 2018: la verifica di stabilità globale viene effettuata secondo l'approccio DA1-C2 (A2+M2+R2) mentre le rimanenti verifiche (scorrimento, carico limite, ribaltamento e di resistenza) vengono effettuate secondo l'approccio DA2 (A1+M1+R3). Le verifiche per azioni sismiche vengono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.



#### Parametri per la determinazione dei carichi derivanti da sisma

Località:	BRENO (BS)
Vita nominale	$V_N = 50$ anni
Tipo di costruzione	tipo = 2
Classe d'uso	$Cl_U = II$
Coefficiente d'uso	$C_U = 1.0$
Periodo di riferimento	$V_R = 50$ anni
Probabilità di superamento	$P_{VR} = 10\%$
Periodo di ritorno	$T_R = 475$ anni
Fattore di amplificazione spettrale massima	$F_o = 2.6100$
Accelerazione orizzontale massima	$a_g = 0.0764$ g
Categoria di sottosuolo	suolo = E
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S = 1.60000$
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima	
verifiche locali	$\beta_m^* = 1.00000$
verifica di stabilità globale	$\beta_s = 0.20000$
Categoria topografica	$C_T = T3$
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T = 1.20000$
Coefficienti sismici per le verifiche locali	
orizzontale	$k_h = 0.14669$
verticale	$k_v = 0.07334$
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale	
orizzontale	$k_h = 0.02934$
verticale	$k_v = 0.01467$

\* Il muro non è in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

#### Coefficienti parziali per le azioni

Tipo CMB	$\gamma_{G1max}$	$\gamma_{G1min}$	$\gamma_{G2max}$	$\gamma_{G2min}$	$\gamma_Q/\psi/2i$
DA2 (A1)	1.30	1.00	1.50	0.80	1.50
DA1-C2 (A2)	1.00	1.00	1.30	0.80	1.30
SIS	1.00	-	1.00	-	0.60

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tipo CMB	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_\gamma$
DA2 (M1)	1.00	1.00	1.00
DA1-C2 (M2)	1.25	1.25	1.00
SIS	1.00	1.00	1.00

#### Coefficienti per la determinazione delle masse sismiche

Carichi permanenti strutturali G1	$\gamma_{G1} = 1.00$
Carichi permanenti non strutturali G2	$\gamma_{G2} = 1.00$
Carichi variabili Q	$\psi_{EI} = 0.60$

#### Coefficienti parziali per le verifiche

Verifica	DA2 (R3)	DA1-C2 (R2)	SIS
Capacità portante fondazione	1.40	-	(R3) 1.20
Scorrimento	1.10	-	(R3) 1.00
Ribaltamento	1.15	-	(R3) 1.00
Stabilità globale	-	1.10	(R2) 1.20

#### Combinazioni per le verifiche locali e di resistenza

CMB	Tipo	$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_Q$	$\gamma_E^1$
1	DA2	1.30	1.50	1.50	0.00
2	DA2	1.30	1.50	0.00	0.00
3	DA2	1.30	0.80	1.50	0.00
4	DA2	1.30	0.80	0.00	0.00
5	DA2	1.00	1.50	1.50	0.00
6	DA2	1.00	1.50	0.00	0.00
7	DA2	1.00	0.80	1.50	0.00

8	DA2	1.00	0.80	0.00	0.00
9	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00
10	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00

<sup>1</sup> Il segno di  $\gamma_E$  indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo  $\Downarrow$  e negativo  $\Uparrow$ .

#### Verifiche di stabilità dell'opera

##### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)	
Spinta attiva	$K_{AS} = 0.3168$
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)	
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.5749$
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.5211$

##### Valori della spinta attiva del terreno di monte per metro di estensione del muro

Altezza di calcolo										Ht = 2.950 m		
Le spinte sono espresse in <u>chilogrammi</u> e le coordinate in <u>metri</u> .												
CMB	S <sub>S,X</sub>	S <sub>S,Y</sub>	Y <sub>S</sub>	X <sub>S</sub>	S <sub>D,X</sub>	S <sub>D,Y</sub>	Y <sub>D</sub>	X <sub>D</sub>	S <sub>T,X</sub>	S <sub>T,Y</sub>	Y <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>
1	3013	1384	0.983	1.500	-	-	-	-	3013	1384	0.883	1.500
2	3013	1384	0.983	1.500	-	-	-	-	3013	1384	0.883	1.500
3	3013	1384	0.983	1.500	-	-	-	-	3013	1384	0.883	1.500
4	3013	1384	0.983	1.500	-	-	-	-	3013	1384	0.883	1.500
5	2318	1065	0.983	1.500	-	-	-	-	2318	1065	0.883	1.500
6	2318	1065	0.983	1.500	-	-	-	-	2318	1065	0.883	1.500
7	2318	1065	0.983	1.500	-	-	-	-	2318	1065	0.883	1.500
8	2318	1065	0.983	1.500	-	-	-	-	2318	1065	0.883	1.500
9	2318	1065	0.983	1.500	1774	815	1.475	1.500	4092	1879	1.096	1.500
10	2318	1065	0.983	1.500	1579	725	1.475	1.500	3897	1790	1.083	1.500

##### Legenda

$S_{S,X}$ , $S_{D,X}$ , $S_{T,X}$	componente orizzontale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$S_{S,Y}$ , $S_{D,Y}$ , $S_{T,Y}$	componente verticale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$Y_S$ , $Y_D$ , $Y_T$	ordinata del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
$X_S$ , $X_D$ , $X_T$	ascissa del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
(le coordinate del punto di applicazione sono riferite al piede di valle della fondazione)	

#### Forze d'inerzia per metro di estensione del muro

Componente orizzontale forza d'inerzia	$F_{I,X} = 731$ kg
Ordinata del punto di applicazione della forza	$Y_I = 1.044$ m
Componente verticale forza d'inerzia	$F_{I,Y} = \pm 366$ kg
Ascissa del punto di applicazione della forza	$X_I = 1.218$ m

#### Verifica a ribaltamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica si considerano positive le forze verticali dirette verso il basso, le forze orizzontali dirette verso monte e i momenti aventi senso orario: se il momento ribaltante risulta positivo (quindi stabilizzante) viene posto pari a zero. Vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10.

#### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Il centro di rotazione coincide con il piede di valle della soletta di fondazione.

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]
Peso del muro ( $P_M$ )	4044	1.129	4565.104
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	941	1.601	1506.907
Peso del terreno a valle ( $P_{TV}$ )	476	0.515	245.403
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-366	1.218	-445.346
<b>Momento stabilizzante (<math>M_{STAB}</math>)</b>			<b>5872.068</b>

Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	-3897	1.083	-4218.510
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	1790	1.500	2684.753
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	-731	1.044	-763.533

**Momento ribaltante (M<sub>RIB</sub>)****-2297.289**

Compressione all'estremo di monte ( $\sigma_m$ )  
Ampiezza della zona compressa ( $B_{comp}$ )  
Compressione limite ( $\sigma_L$ )

0 kg/m<sup>2</sup>  
1.501 m  
12160 kg/m<sup>2</sup>

**Coefficiente di sicurezza al ribaltamento**

$$C_{RIB} = M_{STAB} / |M_{RIB}| = 2.55609$$

Restanti combinazioni

Si riportano, in forma tabellare, i risultati delle varie combinazioni di carico: viene fornito l'elenco delle variabili (VAR), le forze applicate (F [kg]), i relativi bracci (B [m]) e i momenti risultanti (M [kg•m]).

CMB 1			CMB 2			CMB 3		
VAR	F	B	M	F	B	M	F	B
P <sub>M</sub>	5257	1.129	5934.635	5257	1.129	5934.635	5257	1.129
P <sub>TM</sub>	1224	1.601	1958.979	1224	1.601	1958.979	1224	1.601
P <sub>TV</sub>	619	0.515	319.023	619	0.515	319.023	619	0.515
M <sub>STAB</sub>			<b>8212.637</b>			<b>8212.637</b>		
S <sub>T,X</sub>	-3013	0.883	-2661.471	-3013	0.883	-2661.471	-3013	0.883
S <sub>T,Y</sub>	1384	1.500	2075.862	1384	1.500	2075.862	1384	1.500
M <sub>RIB</sub>			<b>-585.609</b>			<b>-585.609</b>		
C <sub>RIB</sub>			<b>14.02410</b>			<b>14.02410</b>		

CMB 4			CMB 5			CMB 6		
VAR	F	B	M	F	B	M	F	B
P <sub>M</sub>	5257	1.129	5934.635	4044	1.129	4565.104	4044	1.129
P <sub>TM</sub>	1224	1.601	1958.979	941	1.601	1506.907	941	1.601
P <sub>TV</sub>	619	0.515	319.023	476	0.515	245.403	476	0.515
M <sub>STAB</sub>			<b>8212.637</b>			<b>6317.413</b>		
S <sub>T,X</sub>	-3013	0.883	-2661.471	-2318	0.883	-2047.286	-2318	0.883
S <sub>T,Y</sub>	1384	1.500	2075.862	1065	1.500	1596.817	1065	1.500
M <sub>RIB</sub>			<b>-585.609</b>			<b>-450.469</b>		
C <sub>RIB</sub>			<b>14.02410</b>			<b>14.02409</b>		

CMB 7			CMB 8			CMB 9		
VAR	F	B	M	F	B	M	F	B
P <sub>M</sub>	4044	1.129	4565.104	4044	1.129	4565.104	4044	1.129
P <sub>TM</sub>	941	1.601	1506.907	941	1.601	1506.907	941	1.601
P <sub>TV</sub>	476	0.515	245.403	476	0.515	245.403	476	0.515
F <sub>I,Y</sub>	-	-	-	-	-	-	366	1.218
M <sub>STAB</sub>			<b>6317.413</b>			<b>6317.413</b>		
S <sub>T,X</sub>	-2318	0.883	-2047.286	-2318	0.883	-2047.286	-4092	1.096
S <sub>T,Y</sub>	1065	1.500	1596.817	1065	1.500	1596.817	1879	1.500
F <sub>I,X</sub>	-	-	-	-	-	-	-731	1.044
M <sub>RIB</sub>			<b>-450.469</b>			<b>-450.469</b>		
C <sub>RIB</sub>			<b>14.02409</b>			<b>14.02409</b>		

**Verifica a schiacciamento (superata con successo)**Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	4037
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	940
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	476
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	43
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-365
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	229
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	1787
<b>Carico totale ortogonale al piano di fondazione (N<sub>TOT</sub>)</b>	<b>7146</b>

Momento rispetto al piede di valle (M<sub>TOT</sub> = M<sub>STAB</sub> + M<sub>RIB</sub>) 3574.779 kg•m

Distanza carico dal piede di valle (d<sub>N</sub> = M<sub>TOT</sub> / N<sub>TOT</sub>) 0.500 m

Eccentricità del carico (e<sub>N</sub> = |L<sub>F1</sub> / 2 - d<sub>N</sub>|) 0.351 m  
(Il punto di applicazione del carico è **esterno** al terzo medio)

Compressione all'estremo di valle ( $\sigma_v$ ) 9522 kg/m<sup>2</sup>

**Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento**

$$C_{SCH} = (\sigma_L / R) / \sigma_{max} = 1.06413$$

Restanti combinazioni

Si riportano, in forma tabellare, i risultati delle varie combinazioni di carico, fornendo l'elenco delle variabili (VAR) e il relativo valore (CMB i). Con la sigla Pos<sub>N</sub> si indica la posizione del carico totale ortogonale al piano di fondazione rispetto alla fondazione stessa: i.t.m. significa interno al terzo medio, e.t.m. significa esterno al terzo medio ed e.f. significa esterno alla fondazione.

VAR	CMB 1	CMB 2	CMB 3	CMB 4	CMB 5	CMB 6
P <sub>M</sub> [kg]	5248	5248	5248	5248	4037	4037
P <sub>TM</sub> [kg]	1222	1222	1222	1222	940	940
P <sub>TV</sub> [kg]	618	618	618	618	476	476
S <sub>T,X</sub> [kg]	177	177	177	177	136	136
S <sub>T,Y</sub> [kg]	1382	1382	1382	1382	1063	1063
N <sub>TOT</sub> [kg]	<b>8646</b>	<b>8646</b>	<b>8646</b>	<b>8646</b>	<b>6651</b>	<b>6651</b>
M <sub>TOT</sub> [kg•m]	7627.028	7627.028	7627.028	7627.028	5866.945	5866.945
d <sub>N</sub> [m]	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882
e <sub>N</sub> [m]	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031
Pos <sub>N</sub>	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.
$\sigma_v$ [kg/m <sup>2</sup> ]	4529	4529	4529	4529	3484	3484
$\sigma_m$ [kg/m <sup>2</sup> ]	5626	5626	5626	5626	4327	4327
B <sub>comp</sub> [m]	1.703	1.703	1.703	1.703	1.703	1.703
$\sigma_L$ [kg/m <sup>2</sup> ]	56236	56236	56236	56236	56236	56236
C <sub>SCH</sub>	<b>7.14044</b>	<b>7.14044</b>	<b>7.14044</b>	<b>7.14044</b>	<b>9.28256</b>	<b>9.28256</b>

VAR	CMB 7	CMB 8	CMB 9
P <sub>M</sub> [kg]	4037	4037	4037
P <sub>TM</sub> [kg]	940	940	940
P <sub>TV</sub> [kg]	476	476	476
F <sub>I,X</sub> [kg]	-	-	43
F <sub>I,Y</sub> [kg]	-	-	365
S <sub>T,X</sub> [kg]	136	136	240
S <sub>T,Y</sub> [kg]	1063	1063	1876
N <sub>TOT</sub> [kg]	<b>6651</b>	<b>6651</b>	<b>7976</b>
M <sub>TOT</sub> [kg•m]	5866.945	5866.945	4331.822
d <sub>N</sub> [m]	0.882	0.882	0.543
e <sub>N</sub> [m]	0.031	0.031	0.308
Pos <sub>N</sub>	i.t.m.	i.t.m.	e.t.m.
$\sigma_v$ [kg/m <sup>2</sup> ]	3484	3484	9792
$\sigma_m$ [kg/m <sup>2</sup> ]	4327	4327	0
B <sub>comp</sub> [m]	1.703	1.703	1.629
$\sigma_L$ [kg/m <sup>2</sup> ]	56236	56236	15715
C <sub>SCH</sub>	<b>9.28256</b>	<b>9.28256</b>	<b>1.33744</b>

**Verifica a scorrimento (superata con successo)**

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10. Il coefficiente di attrito per il terreno di fondazione è  $f_t = \tan(\varphi_t) / \gamma_{\varphi} = 0.75355$ .

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	4037	-237
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	940	-55
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	476	-28
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	43	730
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-365	21
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	229	3890
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	1787	-105

Carico totale ( $\Sigma_{\perp}$ ,  $\Sigma_{\parallel}$ )

7146

4216

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento

$$C_{sco} = (\Sigma_{\perp} \cdot f_t / R) / \Sigma_{\parallel} = 1.27729$$

#### Restanti combinazioni

Si riportano, in forma tabellare, i risultati delle varie combinazioni di carico: viene fornito l'elenco dei carichi (CAR) e le componenti ortogonali ( $F_{\perp}$  [kg]) e tangenziali ( $F_{\parallel}$  [kg]) al piano di scorrimento.

	CMB 1		CMB 2		CMB 3		CMB 4	
CAR	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$
$P_M$	5248	-309	5248	-309	5248	-309	5248	-309
$P_{TM}$	1222	-72	1222	-72	1222	-72	1222	-72
$P_{TV}$	618	-36	618	-36	618	-36	618	-36
$S_{T,X}$	177	3008	177	3008	177	3008	177	3008
$S_{T,Y}$	1382	-81	1382	-81	1382	-81	1382	-81
$\Sigma$	8646	2510	8646	2510	8646	2510	8646	2510
$C_{sco}$	2.36020		2.36020		2.36020		2.36020	

	CMB 5		CMB 6		CMB 7		CMB 8	
CAR	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$
$P_M$	4037	-237	4037	-237	4037	-237	4037	-237
$P_{TM}$	940	-55	940	-55	940	-55	940	-55
$P_{TV}$	476	-28	476	-28	476	-28	476	-28
$S_{T,X}$	136	2314	136	2314	136	2314	136	2314
$S_{T,Y}$	1063	-63	1063	-63	1063	-63	1063	-63
$\Sigma$	6651	1930	6651	1930	6651	1930	6651	1930
$C_{sco}$	2.36020		2.36020		2.36020		2.36020	

	CMB 9	
CAR	$F_{\perp}$	$F_{\parallel}$
$P_M$	4037	-237
$P_{TM}$	940	-55
$P_{TV}$	476	-28
$F_{I,X}$	43	730
$F_{I,Y}$	365	-21
$S_{T,X}$	240	4085
$S_{T,Y}$	1876	-110
$\Sigma$	7976	4362
$C_{sco}$	1.37798	

#### Verifica di stabilità globale (superata con successo)

##### Parametri di ricerca della superficie di rottura circolare

Metodo di ricerca	Bishop
Numero di punti di generazione delle superfici	$N_{pg} = 20$
Numero delle superfici generate per punto	$N_{sp} = 100$
Lunghezza dei segmenti generati	$L_s = 1.000 \text{ m}$
Distanza della zona di generazione delle superfici	$D_{zg} = 2.000 \text{ m}$
Lunghezza della zona di generazione delle superfici	$L_{zg} = 8.000 \text{ m}$
Distanza della zona di arrivo della superfici	$D_{za} = 4.000 \text{ m}$
Lunghezza della zona di arrivo della superfici	$L_{za} = 20.000 \text{ m}$

##### Combinazioni

CMB	Tipo	$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_Q$	$\gamma_E^*$	$\gamma_{\phi}$	$\gamma_c$	$\gamma_r$	R2
1	DA1-C2	1.00	1.30	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
2	DA1-C2	1.00	1.30	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
3	DA1-C2	1.00	0.80	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
4	DA1-C2	1.00	0.80	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
5	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00	1.00	1.00	1.00	1.20
6	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.20

\* Il segno di  $\gamma_E$  indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo  $\downarrow$  e negativo  $\uparrow$ .

#### Caratteristiche geometriche superficie di rottura (Combinazione 1)

Il sistema di riferimento coincide con il piede di valle della fondazione: l'asse delle ascisse è orizzontale diretto

verso monte e l'asse delle ordinate è verticale diretto verso l'alto.

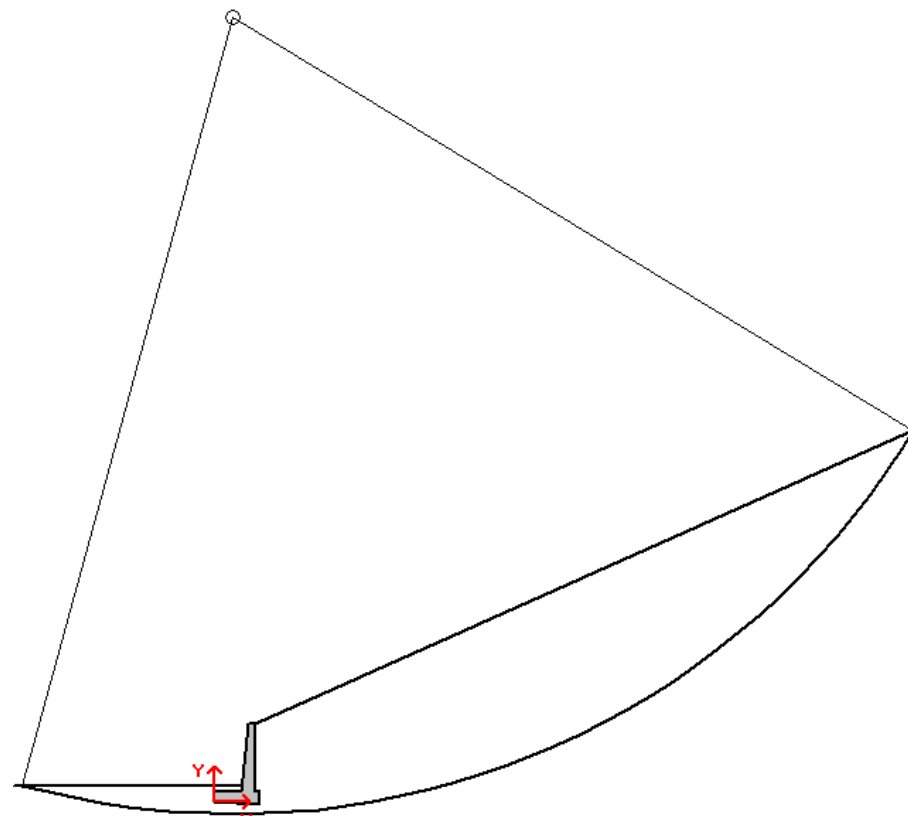
Ascissa centro  $X_{cs} = 0.699 \text{ m}$

Ordinata centro  $Y_{cs} = 28.888 \text{ m}$

Raggio  $R_s = 29.234 \text{ m}$

Coefficiente di sicurezza alla stabilità globale

$$C_{sg} = 1.41273$$



#### Verifica delle armature

La verifica viene effettuata considerando lo stato limite ultimo, pertanto, si eseguono i seguenti controlli:

- Verifica N/M: si visualizza il valore del rapporto  $S_d/S_u$  ottenuto con incremento proporzionale delle sollecitazioni ( $S_d$  = sollecitazione di progetto derivante da N e M,  $S_u$  = sollecitazione ultima);
- Verifica (25): si visualizza il valore del rapporto  $N_d/N_u$ , dove  $N_u$  viene ottenuto con riduzione del 25% di  $f_{cd}$  ( $N_d$  = sollecitazione normale di progetto,  $N_u$  = sollecitazione normale ultima).

Entrambi i valori dei rapporti devono essere minori o uguali a 1 affinché la verifica sia superata.

Si riporta inoltre il valore del rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile della sezione (rapporto  $x/d$ ) alla rottura della sezione (per sola flessione).

Le sollecitazioni riportate si riferiscono ad un tratto di muro di estensione 1 m.

Mensola in elevazione

Le quote delle sezioni sono riferite allo spiccatto di fondazione.

Sezione 1 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm²]		A <sub>r</sub> ' [cm²]
1.667	100.0	33.3	(1 Ø 14 / 30 cm)	5.13	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 10)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]		
563	448		160.178		
Rapporto x/d = 0.11930					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.01489			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00165			

Sezione 2 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]		A <sub>r</sub> [cm²]	A <sub>r</sub> ' [cm²]
0.833	100.0	41.7	[(1 Ø 14 + 1 Ø 10) / 30 cm]	7.75	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]	Momento flettente (M) [kg·m]			
1491	1603	1117.947			
Rapporto x/d = 0.12045					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.07867			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00350			

Sezione 3 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]		A <sub>r</sub> [cm²]	A <sub>r</sub> ' [cm²]
0.000	100.0	50.0		(1 Ø 14 / 15 cm) 10.26	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]		
2516	3420		3537.294		
Rapporto x/d = 0.12207					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.17074			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00493			

Sezione d'incastro mensola di fondazione a valle (verificata)

Caratteristiche					
L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]		A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A' <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]
1.250	100.0	40.9	(1 Ø 12 / 15 cm)	7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Compressione terreno estremo di valle	σ <sub>v</sub> =	9792 kg/m <sup>2</sup>			
Compressione terreno all'incastro	σ <sub>i</sub> =	2266 kg/m <sup>2</sup>			
Lunghezzazona compressa	L <sub>c</sub> =	1.252 m			
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]		
Forza di compressione terreno	-7549	0.756	-5709.689		
Peso della mensola	949	0.737	699.142		
Peso del terreno	476	0.735	350.066		
Inerzia verticale (terreno e cls)	105	0.736	76.953		
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]				
6020	4583.527				
Rapporto x/d = 0.11961					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.44187			

Sezione d'incastro mensola di fondazione a monte (verificata)

Caratteristiche					
L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]		A <sub>r</sub> [cm²]	A' [cm²]

0.450      100.0      43.8      (1 Ø 12 / 15 cm) 7.54      (1 Ø 12 / 15 cm) 7.54

Condizioni più gravose (Combinazione 9)

Compressione terreno estremo di monte	$\sigma_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>		
Compressione terreno all'incastro	$\sigma_i =$	2266 kg/m <sup>2</sup>		
Lunghezzazona compressa	$L_c =$	0.377 m		
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg·m]	
Forza di compressione terreno	-427	0.126	-53.701	
Peso della mensola	222	0.350	77.721	
Peso del terreno	941	0.351	330.065	
Inerzia verticale (terreno e cls)	85	0.350	29.909	
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg·m]			
-822	-383.994			
Rapporto x/d = 0.11338				
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.03422		

Computo materiali

I valori riportati sono riferiti all'intera estensione del muro, pari a 20.00 metri.

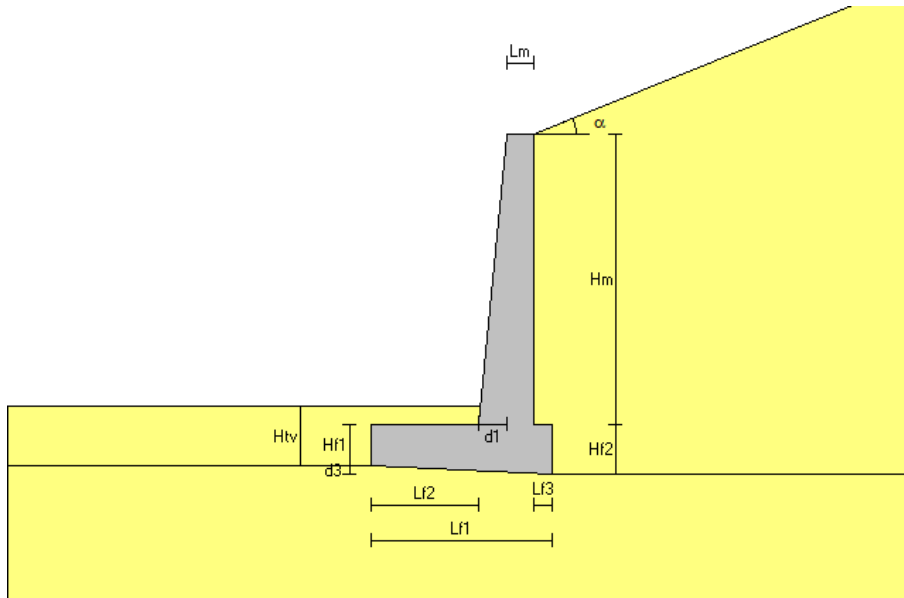
Volumi del calcestruzzo

Mensola in elevazione	18.75 m³
Soletta di fondazione	13.60 m³
Volume totale	32.35 m³

Pesi dei ferri di armatura

Mensola in elevazione	1270.06 Kg
Soletta di fondazione	740.23 Kg
Peso totale	2010.29 Kg

**INTERVENTO A2 – MURO DI SOSTEGNO H CM 320**  
**Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018**



**Descrizione dell'opera**

Tipo di opera:	muro in calcestruzzo armato
Tipo di sovrastruttura:	paramenti piani
Tipo di fondazione:	piana inclinata

**Caratteristiche geometriche**

Mensola in elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	3.200 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	0.300 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	0.620 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	5.71 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

Soletta di fondazione

Estensione	$E_f =$	3.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	2.000 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	1.180 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.450 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.200 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.550 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.650 m
Dislivello estremi fondazione	$d_3 =$	0.100 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	2.86 °

<u>Angolo di inclinazione terrapieno</u>	$\alpha =$	22.00 °
--	------------	---------

**Materiali utilizzati**

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	2500 kg/m <sup>3</sup>
<u>Caratteristiche calcestruzzo</u>		
Classe di resistenza		C25/30
Resistenza caratteristica	$R_{ck} =$	300 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	141 Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Caratteristiche armature</u>		
Tipo acciaio		B 450 C
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	3913 Kg/cm <sup>2</sup>

**Caratteristiche geotecniche dei terreni**

Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_v =$	33.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.00 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_f =$	37.00 °
Coesione	$c'_f =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_m =$	37.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	24.67 °
Coesione	$c'_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>

**Carichi applicati**

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

Uniforme a valle del muro	$G1_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G1_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G1_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G1n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G1n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente non strutturale

Uniforme a valle del muro	$G2_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G2_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G2_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G2n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G2n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo variabile

Uniforme a valle del muro	$Q_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$Q_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$Q_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{Qn} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{Qn} =$	0.000 m

**Normativa**

Le verifiche geotecniche e di resistenza vengono eseguite secondo i dettami del D.M. 17 gennaio 2018: la verifica di stabilità globale viene effettuata secondo l'approccio DA1-C2 (A2+M2+R2) mentre le rimanenti verifiche (scorrimento, carico limite, ribaltamento e di resistenza) vengono effettuate secondo l'approccio DA2 (A1+M1+R3). Le verifiche per azioni sismiche vengono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

#### Parametri per la determinazione dei carichi derivanti da sisma

Località:	BRENO (BS)
Vita nominale	$V_N = 50$ anni
Tipo di costruzione	tipo = 2
Classe d'uso	$Cl_U = II$
Coefficiente d'uso	$C_U = 1.0$
Periodo di riferimento	$V_R = 50$ anni
Probabilità di superamento	$P_{VR} = 10\%$
Periodo di ritorno	$T_R = 475$ anni
Fattore di amplificazione spettrale massima	$F_o = 2.6100$
Accelerazione orizzontale massima	$a_g = 0.0764$ g
Categoria di sottosuolo	suolo = E
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S = 1.60000$
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima	
verifiche locali	$\beta_m^* = 1.00000$
verifica di stabilità globale	$\beta_s = 0.20000$
Categoria topografica	$C_T = T3$
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T = 1.20000$
Coefficienti sismici per le verifiche locali	
orizzontale	$k_h = 0.14669$
verticale	$k_v = 0.07334$
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale	
orizzontale	$k_h = 0.02934$
verticale	$k_v = 0.01467$

\* Il muro non è in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

#### Coefficienti parziali per le azioni

Tipo CMB	$\gamma_{G1max}$	$\gamma_{G1min}$	$\gamma_{G2max}$	$\gamma_{G2min}$	$\gamma_Q/\psi/2i$
DA2 (A1)	1.30	1.00	1.50	0.80	1.50
DA1-C2 (A2)	1.00	1.00	1.30	0.80	1.30
SIS	1.00	-	1.00	-	0.60

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tipo CMB	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_\gamma$
DA2 (M1)	1.00	1.00	1.00
DA1-C2 (M2)	1.25	1.25	1.00
SIS	1.00	1.00	1.00

#### Coefficienti per la determinazione delle masse sismiche

Carichi permanenti strutturali G1	$\gamma_{G1} = 1.00$
Carichi permanenti non strutturali G2	$\gamma_{G2} = 1.00$
Carichi variabili Q	$\psi_{EI} = 0.60$

#### Coefficienti parziali per le verifiche

Verifica	DA2 (R3)	DA1-C2 (R2)	SIS
Capacità portante fondazione	1.40	-	(R3) 1.20
Scorrimento	1.10	-	(R3) 1.00
Ribaltamento	1.15	-	(R3) 1.00
Stabilità globale	-	1.10	(R2) 1.20

#### Combinazioni per le verifiche locali e di resistenza

CMB	Tipo	$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_Q$	$\gamma_E^1$
1	DA2	1.30	1.50	1.50	0.00
2	DA2	1.30	1.50	0.00	0.00
3	DA2	1.30	0.80	1.50	0.00
4	DA2	1.30	0.80	0.00	0.00
5	DA2	1.00	1.50	1.50	0.00
6	DA2	1.00	1.50	0.00	0.00
7	DA2	1.00	0.80	1.50	0.00

8	DA2	1.00	0.80	0.00	0.00
9	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00
10	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00

<sup>1</sup> Il segno di  $\gamma_E$  indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo  $\Downarrow$  e negativo  $\Uparrow$ .

#### Verifiche di stabilità dell'opera

##### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)	
Spinta attiva	$K_{AS} = 0.3038$
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)	
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.5238$
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.4812$

##### Valori della spinta attiva del terreno di monte per metro di estensione del muro

Altezza di calcolo												Ht = 3.750 m			
Le spinte sono espresse in <u>chilogrammi</u> e le coordinate in <u>metri</u> .															
CMB	S <sub>S,X</sub>	S <sub>S,Y</sub>	Y <sub>S</sub>	X <sub>S</sub>	S <sub>D,X</sub>	S <sub>D,Y</sub>	Y <sub>D</sub>	X <sub>D</sub>	S <sub>T,X</sub>	S <sub>T,Y</sub>	Y <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>			
1	4668	2144	1.250	1.800	-	-	-	-	4668	2144	1.150	1.800			
2	4668	2144	1.250	1.800	-	-	-	-	4668	2144	1.150	1.800			
3	4668	2144	1.250	1.800	-	-	-	-	4668	2144	1.150	1.800			
4	4668	2144	1.250	1.800	-	-	-	-	4668	2144	1.150	1.800			
5	3591	1649	1.250	1.800	-	-	-	-	3591	1649	1.150	1.800			
6	3591	1649	1.250	1.800	-	-	-	-	3591	1649	1.150	1.800			
7	3591	1649	1.250	1.800	-	-	-	-	3591	1649	1.150	1.800			
8	3591	1649	1.250	1.800	-	-	-	-	3591	1649	1.150	1.800			
9	3591	1649	1.250	1.800	2514	1155	1.875	1.800	6105	2804	1.407	1.800			
10	3591	1649	1.250	1.800	2147	986	1.875	1.800	5738	2636	1.384	1.800			

##### Legenda

$S_{S,X}$ , $S_{D,X}$ , $S_{T,X}$	componente orizzontale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$S_{S,Y}$ , $S_{D,Y}$ , $S_{T,Y}$	componente verticale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$Y_S$ , $Y_D$ , $Y_T$	ordinata del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
$X_S$ , $X_D$ , $X_T$	ascissa del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
(le coordinate del punto di applicazione sono riferite al piede di valle della fondazione)	

#### Forze d'inerzia per metro di estensione del muro

Componente orizzontale forza d'inerzia	$F_{I,X} = 1082$ kg
Ordinata del punto di applicazione della forza	$Y_I = 1.334$ m
Componente verticale forza d'inerzia	$F_{I,Y} = \pm 541$ kg
Ascissa del punto di applicazione della forza	$X_I = 1.437$ m

#### Verifica a ribaltamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica si considerano positive le forze verticali dirette verso il basso, le forze orizzontali dirette verso monte e i momenti aventi senso orario: se il momento ribaltante risulta positivo (quindi stabilizzante) viene posto pari a zero. Vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10.

#### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Il centro di rotazione coincide con il piede di valle della soletta di fondazione.

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg*m]
Peso del muro ( $P_M$ )	6180	1.347	8326.799
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	1199	1.900	2278.502
Peso del terreno a valle ( $P_{TV}$ )	449	0.606	272.044
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-541	1.437	-777.835
<b>Momento stabilizzante (<math>M_{STAB}</math>)</b>			<b>10099.510</b>

Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	-5738	1.384	-7940.539
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	2636	1.800	4743.974
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	-1082	1.334	-1443.618

**Momento ribaltante (M<sub>RIB</sub>)** **-4640.182**

**Coefficiente di sicurezza al ribaltamento** **C<sub>RIB</sub> = M<sub>STAB</sub> / |M<sub>RIB</sub>| = 2.17653**

**Verifica a schiacciamento (superata con successo)**

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	6172
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	1197
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	448
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	54
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-541
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	287
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	2632
<b>Carico totale ortogonale al piano di fondazione (N<sub>TOT</sub>)</b>	<b>10250</b>

Momento rispetto al piede di valle (M<sub>TOT</sub> = M<sub>STAB</sub> + M<sub>RIB</sub>) 5459.328 kg·m

Distanza carico dal piede di valle (d<sub>N</sub> = M<sub>TOT</sub> / N<sub>TOT</sub>) 0.533 m  
Eccentricità del carico (e<sub>N</sub> = |L<sub>f1</sub> / 2 - d<sub>N</sub>|) 0.469 m  
(Il punto di applicazione del carico è **esterno** al terzo medio)

Compressione all'estremo di valle (σ<sub>v</sub>) 12830 kg/m<sup>2</sup>  
Compressione all'estremo di monte (σ<sub>m</sub>) 0 kg/m<sup>2</sup>  
Ampiezza della zona compressa (B<sub>comp</sub>) 1.598 m  
Compressione limite (σ<sub>L</sub>) 15776 kg/m<sup>2</sup>

**Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento** **C<sub>SCH</sub> = (σ<sub>L</sub> / R) / σ<sub>max</sub> = 1.02470**

**Verifica a scorrimento (superata con successo)**

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10. Il coefficiente di attrito per il terreno di fondazione è f<sub>t</sub> = tan(φ) / γ<sub>φ</sub> = 0.75355.

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	6172	-309
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	1197	-60
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	448	-22
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	54	1081
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-541	27
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	287	5731
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	2632	-132
<b>Carico totale (Σ<sub>L</sub>, Σ<sub>II</sub>)</b>	<b>10250</b>	<b>6316</b>

**Coefficiente di sicurezza allo scorrimento** **C<sub>SCO</sub> = (Σ<sub>L</sub> · f<sub>t</sub> / R) / Σ<sub>II</sub> = 1.22285**

**Verifica di stabilità globale (superata con successo)**

Parametri di ricerca della superficie di rottura circolare

Metodo di ricerca	Bishop
Numero di punti di generazione delle superfici	N <sub>pg</sub> = 20
Numero delle superfici generate per punto	N <sub>sp</sub> = 100
Lunghezza dei segmenti generati	L <sub>s</sub> = 1.000 m
Distanza della zona di generazione delle superfici	D <sub>zg</sub> = 3.000 m
Lunghezza della zona di generazione delle superfici	L <sub>zg</sub> = 11.000 m
Distanza della zona di arrivo della superfici	D <sub>za</sub> = 5.000 m
Lunghezza della zona di arrivo della superfici	L <sub>za</sub> = 25.000 m

Combinazioni

CMB	Tipo	γ <sub>G1</sub>	γ <sub>G2</sub>	γ <sub>Q</sub>	γ <sub>E</sub> *	γ <sub>φ</sub>	γ <sub>c'</sub>	γ <sub>γ</sub>	R2
-----	------	-----------------	-----------------	----------------	------------------	----------------	-----------------	----------------	----

1	DA1-C2	1.00	1.30	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
2	DA1-C2	1.00	1.30	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
3	DA1-C2	1.00	0.80	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
4	DA1-C2	1.00	0.80	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
5	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00	1.00	1.00	1.00	1.20
6	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.20

\* Il segno di γ<sub>E</sub> indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo ↓ e negativo ↑.

Caratteristiche geometriche superficie di rottura (Combinazione 1)

Il sistema di riferimento coincide con il piede di valle della fondazione: l'asse delle ascisse è orizzontale

diretto

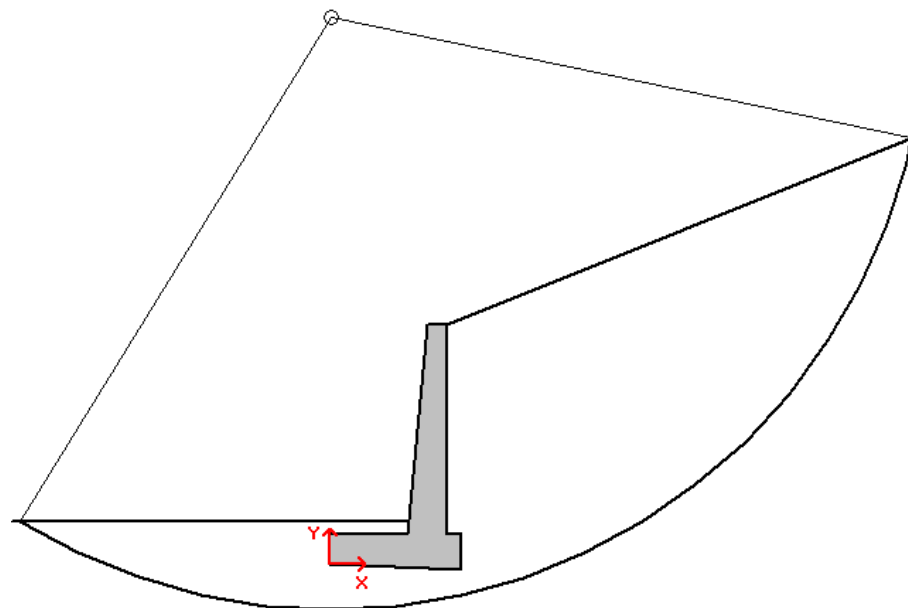
verso monte e l'asse delle ordinate è verticale diretto verso l'alto.

Ascissa centro X<sub>cs</sub> = 0.028 m

Ordinata centro Y<sub>cs</sub> = 8.441 m

Raggio R<sub>s</sub> = 9.049 m

**Coefficiente di sicurezza alla stabilità globale** **C<sub>SG</sub> = 1.44818**



**Verifica delle armature**

La verifica viene effettuata considerando lo stato limite ultimo, pertanto, si eseguono i seguenti controlli:

- Verifica N/M: si visualizza il valore del rapporto S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> ottenuto con incremento proporzionale delle sollecitazioni (S<sub>d</sub> = sollecitazione di progetto derivante da N e M, S<sub>u</sub> = sollecitazione ultima);
- Verifica (25): si visualizza il valore del rapporto N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub>, dove N<sub>u</sub> viene ottenuto con riduzione del 25% di f<sub>cd</sub> (N<sub>d</sub> = sollecitazione normale di progetto, N<sub>u</sub> = sollecitazione normale ultima).

Entrambi i valori dei rapporti devono essere minori o uguali a 1 affinché la verifica sia superata.

Si riporta inoltre il valore del rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile della sezione (rapporto x/d) alla rottura della sezione (per sola flessione).

Le sollecitazioni riportare si riferiscono ad un tratto di muro di estensione 1 m.

**Mensola in elevazione**

Le quote delle sezioni sono riferite allo spiccatto di fondazione.

Sezione 1 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	Ar [cm²]		Ar' [cm²]
2.133	100.0	40.7	(1 Ø 16 / 30 cm)	6.70	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 10)					
Sforzo normale (N) [kg]		Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]	
873		663		299.228	
Rapporto x/d = 0.11427					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.01687			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00212			

Sezione 2 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]		$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
1.067	100.0	51.3	[(1 Ø 16 + 1 Ø 10) / 30 cm] 9.32		(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]		
2328	2412		2132.361		
Rapporto x/d = 0.11491					
Verifica N/M		$S_d/S_u = 0.09840$			
Verifica (25)		$N_d/N_u = 0.00449$			

Sezione 3 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]		A <sub>r</sub> ' [cm <sup>2</sup> ]
0.000	100.0	62.0	(1 Ø 16 / 15 cm)	13.40	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]		
3950	5162		6767.225		
Rapporto x/d = 0.12266					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.19747			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00626			

**Sezione d'incastro mensola di fondazione a valle** (verificata)

Caratteristiche					
L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]		A <sub>r</sub> ' [cm <sup>2</sup> ]
1.490	100.0	50.9	(1 Ø 14 / 15 cm) 10.26		(1 Ø 14 / 15 cm) 10.26
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Compressione terreno estremo di valle	σ <sub>v</sub> =	13267 kg/m <sup>2</sup>			
Compressione terreno all'incastro	σ <sub>i</sub> =	1868 kg/m <sup>2</sup>			
Lunghezzazona compressa	L <sub>c</sub> =	1.492 m			
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]		
Forza di compressione terreno	-11290	0.933	-10535.400		
Peso della mensola	1415	0.888	1255.957		
Peso del terreno	449	0.884	396.407		
Inerzia verticale (terreno e cls)	137	0.887	121.191		
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]				
9290	8761.845				
Rapporto x/d = 0.11499					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.48914			

**Sezione d'incastro mensola di fondazione a monte** (verificata)

Caratteristiche					
L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]	Ar [cm²]	Ar' [cm²]	
0.510	100.0	54.0	(1 Ø 14 / 15 cm) 10.26	(1 Ø 14 / 15 cm) 10.26	

Condizioni più gravose (Combinazione 9)

Compressione terreno estremo di monte	$\sigma_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>		
Compressione terreno all'incastro	$\sigma_i =$	1868 kg/m <sup>2</sup>		
Lunghezzazona compressa	$L_c =$	0.245 m		
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]	
Forza di compressione terreno	-228	0.082	-18.617	
Peso della mensola	273	0.410	111.725	
Peso del terreno	1199	0.410	492.067	
Inerzia verticale (terreno e cls)	108	0.410	44.285	
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]			
-1351	-629.460			
Rapporto x/d = 0.11127				
<b>Verifica N/M</b>		<b>S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> = 0.03289</b>		

**Computo materiali**

I valori riportati sono riferiti all'intera estensione del muro, pari a 3.00 metri.

Volumi del calcestruzzo

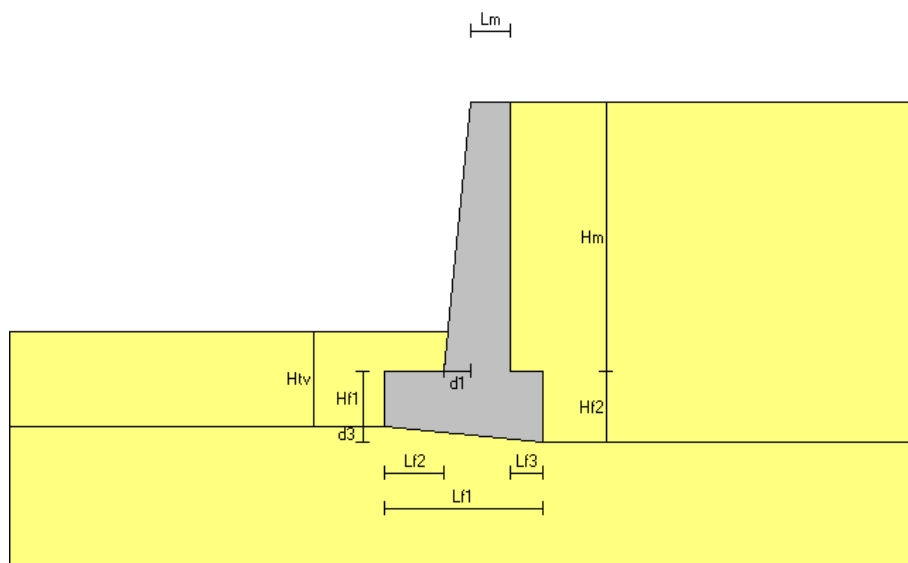
Mensola in elevazione	4.42 m³
Soletta di fondazione	3.00 m³
Volume totale	7.42 m³

Pesi dei ferri di armatura

Mensola in elevazione	270.13 Kg
Soletta di fondazione	165.69 Kg
Peso totale	435.83 Kg



**INTERVENTO B – MURO DI SOSTEGNO H CM 150**  
**Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018**



**Descrizione dell'opera**

Tipo di opera:	muro in calcestruzzo armato
Tipo di sovrastruttura:	paramenti piani
Tipo di fondazione:	piana inclinata

**Caratteristiche geometriche**

Mensola in elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	1.700 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	0.250 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	0.420 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	5.71 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

Soletta di fondazione

Estensione	$E_f =$	20.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	1.000 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	0.380 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.350 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.200 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.450 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.600 m
Dislivello estremi fondazione	$d_3 =$	0.100 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	5.71 °

Angolo di inclinazione terrapieno	$\alpha =$	0.00 °
-----------------------------------	------------	--------

**Materiali utilizzati**

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	2500 kg/m <sup>3</sup>
<u>Caratteristiche calcestruzzo</u>		
Classe di resistenza		C25/30
Resistenza caratteristica	$R_{ck} =$	300 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	141 Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Caratteristiche armature</u>		
Tipo acciaio		B 450 C
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	3913 Kg/cm <sup>2</sup>

**Caratteristiche geotecniche dei terreni**

Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_v =$	33.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.00 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_f =$	37.00 °
Coesione	$c'_f =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_m =$	37.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	24.67 °
Coesione	$c'_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>

**Carichi applicati**

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

Uniforme a valle del muro	$G1_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G1_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G1_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G1n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G1n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente non strutturale

Uniforme a valle del muro	$G2_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G2_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G2_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G2n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G2n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo variabile

Uniforme a valle del muro	$Q_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$Q_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$Q_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{Qn} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{Qn} =$	0.000 m

**Normativa**

Le verifiche geotecniche e di resistenza vengono eseguite secondo i dettami del D.M. 17 gennaio 2018: la verifica di stabilità globale viene effettuata secondo l'approccio DA1-C2 (A2+M2+R2) mentre le rimanenti verifiche (scorrimento, carico limite, ribaltamento e di resistenza) vengono effettuate secondo l'approccio DA2 (A1+M1+R3). Le verifiche per azioni sismiche vengono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

#### Parametri per la determinazione dei carichi derivanti da sisma

Località:	BRENO (BS)
Vita nominale	$V_N = 50$ anni
Tipo di costruzione	tipo = 2
Classe d'uso	$Cl_U = II$
Coefficiente d'uso	$C_U = 1.0$
Periodo di riferimento	$V_R = 50$ anni
Probabilità di superamento	$P_{VR} = 10\%$
Periodo di ritorno	$T_R = 475$ anni
Fattore di amplificazione spettrale massima	$F_0 = 2.6100$
Accelerazione orizzontale massima	$a_g = 0.0764$ g
Categoria di sottosuolo	suolo = A
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S = 1.00000$
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima	
verifiche locali	$\beta_m^* = 1.00000$
verifica di stabilità globale	$\beta_s = 0.20000$
Categoria topografica	$C_T = T2$
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T = 1.20000$
Coefficienti sismici per le verifiche locali	
orizzontale	$k_h = 0.09168$
verticale	$k_v = 0.04584$
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale	
orizzontale	$k_h = 0.01834$
verticale	$k_v = 0.00917$

\* Il muro non è in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

#### Coefficienti parziali per le azioni

Tipo CMB	$\gamma_{G1max}$	$\gamma_{G1min}$	$\gamma_{G2max}$	$\gamma_{G2min}$	$\gamma_Q/\psi/2i$
DA2 (A1)	1.30	1.00	1.50	0.80	1.50
DA1-C2 (A2)	1.00	1.00	1.30	0.80	1.30
SIS	1.00	-	1.00	-	0.60

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tipo CMB	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_\gamma$
DA2 (M1)	1.00	1.00	1.00
DA1-C2 (M2)	1.25	1.25	1.00
SIS	1.00	1.00	1.00

#### Coefficienti per la determinazione delle masse sismiche

Carichi permanenti strutturali G1	$\gamma_{G1} = 1.00$
Carichi permanenti non strutturali G2	$\gamma_{G2} = 1.00$
Carichi variabili Q	$\psi_{EI} = 0.60$

#### Coefficienti parziali per le verifiche

Verifica	DA2 (R3)	DA1-C2 (R2)	SIS
Capacità portante fondazione	1.40	-	(R3) 1.20
Scorrimento	1.10	-	(R3) 1.00
Ribaltamento	1.15	-	(R3) 1.00
Stabilità globale	-	1.10	(R2) 1.20

#### Combinazioni per le verifiche locali e di resistenza

CMB	Tipo	$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_Q$	$\gamma_E^1$
1	DA2	1.30	1.50	1.50	0.00
2	DA2	1.00	1.50	1.50	0.00
3	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00
4	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00

<sup>1</sup> Il segno di  $\gamma_E$  indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo ↓ e negativo ↑.

#### Verifiche di stabilità dell'opera

##### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)	
Spinta attiva	$K_{AS} = 0.2257$
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)	
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.2823$
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.2769$

##### Valori della spinta attiva del terreno di monte per metro di estensione del muro

valori della spinta attiva del terreno di monte per metro di estensione muraria												
Altezza di calcolo					$H_t = 2.150$ m							
Le spinte sono espresse in <u>chilogrammi</u> e le coordinate in <u>metri</u> .												
CMB	$S_{S,X}$	$S_{S,Y}$	$Y_S$	$X_S$	$S_{D,X}$	$S_{D,Y}$	$Y_D$	$X_D$	$S_{T,X}$	$S_{T,Y}$	$Y_T$	$X_T$
1	1140	524	0.717	0.800	-	-	-	-	1140	524	0.617	0.800
2	877	403	0.717	0.800	-	-	-	-	877	403	0.617	0.800
3	877	403	0.717	0.800	248	114	1.075	0.800	1125	517	0.696	0.800
4	877	403	0.717	0.800	170	78	1.075	0.800	1047	481	0.675	0.800

##### Legenda

$S_{S,X}$ , $S_{D,X}$ , $S_{T,X}$	componente orizzontale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$S_{S,Y}$ , $S_{D,Y}$ , $S_{T,Y}$	componente verticale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$Y_S$ , $Y_D$ , $Y_T$	ordinata del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
$X_S$ , $X_D$ , $X_T$	ascissa del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale (le coordinate del punto di applicazione sono riferite al piede di valle della fondazione)

##### Forze d'inerzia per metro di estensione del muro

Componente orizzontale forza d'inerzia	$F_{I,X} = 280$ kg
Ordinata del punto di applicazione della forza	$Y_I = 0.822$ m
Componente verticale forza d'inerzia	$F_{I,Y} = \pm 140$ kg
Ascissa del punto di applicazione della forza	$X_I = 0.649$ m

#### Verifica a ribaltamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica si considerano positive le forze verticali dirette verso il basso, le forze orizzontali dirette verso monte e i momenti aventi senso orario: se il momento ribaltante risulta positivo (quindi stabilizzante) viene posto pari a zero. Vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 4.

##### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 4)

Il centro di rotazione coincide con il piede di valle della soletta di fondazione.

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg·m]
Peso del muro ( $P_M$ )	2424	0.584	1416.237
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	629	0.900	566.100
Peso del terreno a valle ( $P_{TV}$ )	190	0.205	38.943
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-140	0.649	-90.870
<b>Momento stabilizzante (<math>M_{STAB}</math>)</b>			<b>1930.410</b>

Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	-1047	0.675	-706.348
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	481	0.800	384.629
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	-280	0.822	-230.108
<b>Momento ribaltante (<math>M_{RIB}</math>)</b>			<b>-551.827</b>

##### Coefficiente di sicurezza al ribaltamento

$$C_{RIB} = (M_{STAB} / R) / |M_{RIB}| = 3.49822$$

#### Verifica a schiacciamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 4.

##### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 3)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kg]
Peso del muro ( $P_M$ )	2412
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	626
Peso del terreno a valle ( $P_{TV}$ )	189
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	28

Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	139
Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	112
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	514
<b>Carico totale ortogonale al piano di fondazione (<math>N_{TOT}</math>)</b>	<b>4020</b>

Momento rispetto al piede di valle ( $M_{TOT} = M_{STAB} + M_{RIB}$ ) 1512.735 kg•m

Distanza carico dal piede di valle ( $d_N = M_{TOT} / N_{TOT}$ ) 0.376 m  
 Eccentricità del carico ( $e_N = |L_{T1} / 2 - d_N|$ ) 0.126 m  
 (Il punto di applicazione del carico è **interno** al terzo medio)

Compressione all'estremo di valle ( $\sigma_v$ )	7012 kg/m <sup>2</sup>
Compressione all'estremo di monte ( $\sigma_m$ )	987 kg/m <sup>2</sup>
Ampiezza della zona compressa ( $B_{comp}$ )	1.005 m
Compressione limite ( $\sigma_L$ )	42033 kg/m <sup>2</sup>

**Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento**  $C_{SCH} = (\sigma_L / R) / \sigma_{max} = 4.99555$

#### Verifica a scorrimento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 4. Il coefficiente di attrito per il terreno di fondazione è  $f_t = \tan(\varphi_t) / \gamma_{\varphi} = 0.75355$ .

#### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 4)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro ( $P_M$ )	2412	-241
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	626	-63
Peso del terreno a valle ( $P_{TV}$ )	189	-19
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	28	278
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-139	14
Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	104	1042
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	478	-48
<b>Carico totale (<math>\Sigma_L, \Sigma_{II}</math>)</b>	<b>3697</b>	<b>963</b>

**Coefficiente di sicurezza allo scorrimento**  $C_{SCO} = (\Sigma_L \cdot f_t / R) / \Sigma_{II} = 2.89179$

#### Verifica delle armature

La verifica viene effettuata considerando lo stato limite ultimo, pertanto, si eseguono i seguenti controlli:

- Verifica N/M: si visualizza il valore del rapporto  $S_d/S_u$  ottenuto con incremento proporzionale delle sollecitazioni ( $S_d$  = sollecitazione di progetto derivante da N e M,  $S_u$  = sollecitazione ultima);
- Verifica (25): si visualizza il valore del rapporto  $N_d/N_u$ , dove  $N_u$  viene ottenuto con riduzione del 25% di  $f_{cd}$  ( $N_d$  = sollecitazione normale di progetto,  $N_u$  = sollecitazione normale ultima).

Entrambi i valori dei rapporti devono essere minori o uguali a 1 affinché la verifica sia superata.

Si riporta inoltre il valore del rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile della sezione (rapporto  $x/d$ ) alla rottura della sezione (per sola flessione).

Le sollecitazioni riportare si riferiscono ad un tratto di muro di estensione 1 m.

#### Mensola in elevazione

Le quote delle sezioni sono riferite allo spiccatto di fondazione.

#### Sezione 1 (verificata)

Caratteristiche	Quota [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
	1.133	100.0	30.7	(1 Ø 14 / 30 cm) 5.13	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 3)					
Sforzo normale (N) [kg]	412		134		
Sforzo di taglio (T) [kg]					
Rapporto $x/d = 0.12859$					
<b>Verifica N/M</b>				<b><math>S_d/S_u = 0.00189</math></b>	

**Verifica (25)**  $N_d/N_u = 0.00130$

#### Sezione 2 (verificata)

Caratteristiche	Quota [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
	0.567	100.0	36.3	[(1 Ø 14 + 1 Ø 10) / 30 cm] 7.75	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 3)					
Sforzo normale (N) [kg]	909				
Sforzo di taglio (T) [kg]	431				
Momento flettente (M) [kg•m]					195.272
Rapporto $x/d = 0.13223$					
<b>Verifica N/M</b>				<b><math>S_d/S_u = 0.00875</math></b>	
<b>Verifica (25)</b>				<b><math>N_d/N_u = 0.00241</math></b>	

#### Sezione 3 (verificata)

Caratteristiche	Quota [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
	0.000	100.0	42.0	(1 Ø 14 / 15 cm) 10.26	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 3)					
Sforzo normale (N) [kg]	1489				
Sforzo di taglio (T) [kg]	892				
Momento flettente (M) [kg•m]					593.134
Rapporto $x/d = 0.13654$					
<b>Verifica N/M</b>				<b><math>S_d/S_u = 0.02433</math></b>	
<b>Verifica (25)</b>				<b><math>N_d/N_u = 0.00340</math></b>	

#### Sezione d'incastro mensola di fondazione a valle (verificata)

Caratteristiche	$L_{mensola}$ [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
	0.590	100.0	38.8	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54
Condizioni più gravose (Combinazione 3)					
Compressione terreno estremo di valle	$\sigma_v =$			7012 kg/m <sup>2</sup>	
Compressione terreno all'incastro	$\sigma_i =$			3457 kg/m <sup>2</sup>	
Lunghezzazona compressa	$L_c =$			0.593 m	
Descrizione carico	Forza [kg]		Braccio [m]		Momento [kg•m]
Forza di compressione terreno	-3104		0.330		-1024.326
Peso della mensola	351		0.397		139.077
Peso del terreno	190		0.385		72.936
Inerzia verticale (terreno e cls)	25		0.392		9.719
Sforzo di taglio [kg]	2539				
Momento flettente [kg•m]					802.594
Rapporto $x/d = 0.12358$					
<b>Verifica N/M</b>				<b><math>S_d/S_u = 0.08212</math></b>	

#### Sezione d'incastro mensola di fondazione a monte (verificata)

Caratteristiche	$L_{mensola}$ [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
	0.410	100.0	43.0	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54
Condizioni più gravose (Combinazione 3)					
Compressione terreno estremo di monte	$\sigma_m =$			987 kg/m <sup>2</sup>	
Compressione terreno all'incastro	$\sigma_i =$			3457 kg/m <sup>2</sup>	
Lunghezzazona compressa	$L_c =$			0.412 m	
Descrizione carico	Forza [kg]		Braccio [m]		Momento [kg•m]
Forza di compressione terreno	-916		0.168		-153.713
Peso della mensola	220		0.310		68.200
Peso del terreno	629		0.310		194.990
Inerzia verticale (terreno e cls)	39		0.310		12.065
Sforzo di taglio [kg]	28				
Momento flettente [kg•m]					-121.541

Rapporto  $x/d = 0.11467$

**Verifica N/M**

**$S_d/S_u = 0.01106$**

**Computo materiali**

I valori riportati sono riferiti all'intera estensione del muro, pari a 20.00 metri.

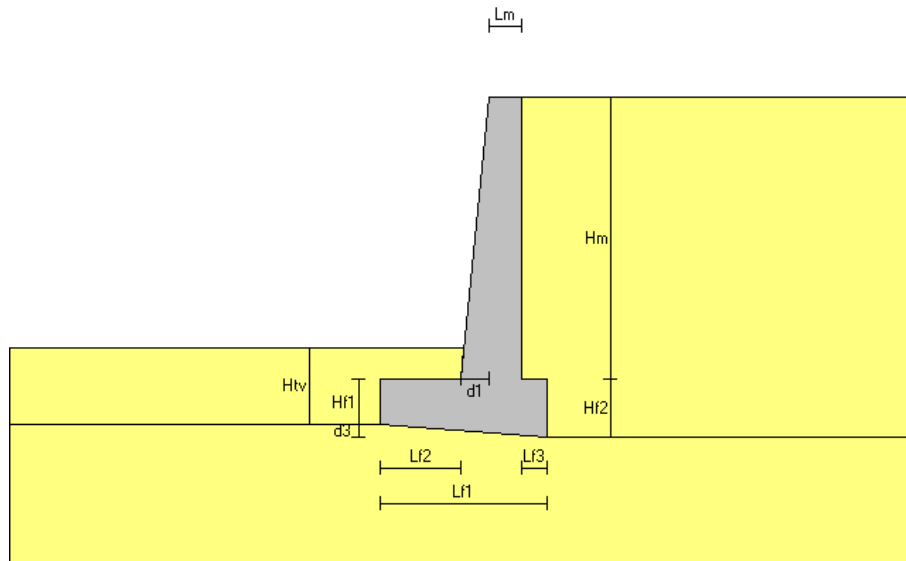
Volumi del calcestruzzo

Mensola in elevazione	11.39 m <sup>3</sup>
Soletta di fondazione	8.00 m <sup>3</sup>
Volume totale	19.39 m <sup>3</sup>

Pesi dei ferri di armatura

Mensola in elevazione	962.29 Kg
Soletta di fondazione	502.20 Kg
Peso totale	1464.48 Kg

**INTERVENTO B – MURO DI SOSTEGNO H CM 200**  
**Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018**



**Descrizione dell'opera**

Tipo di opera:	muro in calcestruzzo armato
Tipo di sovrastruttura:	paramenti piani
Tipo di fondazione:	piana inclinata

**Caratteristiche geometriche**

Mensola in elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	2.200 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	0.250 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	0.470 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	5.71 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

Soletta di fondazione

Estensione	$E_f =$	20.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	1.300 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	0.630 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.350 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.200 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.450 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.600 m
Dislivello estremi fondazione	$d_3 =$	0.100 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	4.40 °

<u>Angolo di inclinazione terrapieno</u>	$\alpha =$	0.00 °
--	------------	--------

**Materiali utilizzati**

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	2500 kg/m <sup>3</sup>
<u>Caratteristiche calcestruzzo</u>		
Classe di resistenza		C25/30
Resistenza caratteristica	$R_{ck} =$	300 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	141 Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Caratteristiche armature</u>		
Tipo acciaio		B 450 C
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	3913 Kg/cm <sup>2</sup>

**Caratteristiche geotecniche dei terreni**

Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_v =$	33.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.00 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_f =$	37.00 °
Coesione	$c'_f =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_m =$	37.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	24.67 °
Coesione	$c'_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>

**Carichi applicati**

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

Uniforme a valle del muro	$G1_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G1_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G1_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G1n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G1n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente non strutturale

Uniforme a valle del muro	$G2_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G2_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G2_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G2n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G2n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo variabile

Uniforme a valle del muro	$Q_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$Q_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$Q_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{Qn} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{Qn} =$	0.000 m

**Normativa**

Le verifiche geotecniche e di resistenza vengono eseguite secondo i dettami del D.M. 17 gennaio 2018: la verifica di stabilità globale viene effettuata secondo l'approccio DA1-C2 (A2+M2+R2) mentre le rimanenti verifiche (scorrimento, carico limite, ribaltamento e di resistenza) vengono effettuate secondo l'approccio DA2 (A1+M1+R3). Le verifiche per azioni sismiche vengono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

#### Parametri per la determinazione dei carichi derivanti da sisma

Località:	BRENO (BS)				
Vita nominale	$V_N =$	50	anni		
Tipo di costruzione	tipo =	2			
Classe d'uso	$Cl_U =$	II			
Coefficiente d'uso	$C_U =$	1.0			
Periodo di riferimento	$V_R =$	50	anni		
Probabilità di superamento	$P_{Vr} =$	10%			
Periodo di ritorno	$T_R =$	475	anni		
Fattore di amplificazione spettrale massima	$F_o =$	2.6100			
Accelerazione orizzontale massima	$a_g =$	0.0764	g		
Categoria di sottosuolo	suolo =	A			
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S =$	1.00000			
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima					
verifiche locali	$\beta_m^* =$	1.00000			
verifica di stabilità globale	$\beta_s =$	0.20000			
Categoria topografica	$C_T =$	T2			
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T =$	1.20000			
Coefficienti sismici per le verifiche locali					
orizzontale	$k_h =$	0.09168			
verticale	$k_v =$	0.04584			
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale					
orizzontale	$k_h =$	0.01834			
verticale	$k_v =$	0.00917			

\* Il muro non è in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

#### Coefficienti parziali per le azioni

Tipo CMB	$\gamma_{G1max}$	$\gamma_{G1min}$	$\gamma_{G2max}$	$\gamma_{G2min}$	$\gamma_Q/\psi/2i$
DA2 (A1)	1.30	1.00	1.50	0.80	1.50
DA1-C2 (A2)	1.00	1.00	1.30	0.80	1.30
SIS	1.00	-	1.00	-	0.60

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tipo CMB	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_\gamma$
DA2 (M1)	1.00	1.00	1.00
DA1-C2 (M2)	1.25	1.25	1.00
SIS	1.00	1.00	1.00

#### Coefficienti per la determinazione delle masse sismiche

Carichi permanenti strutturali G1	$\gamma_{G1} =$	1.00
Carichi permanenti non strutturali G2	$\gamma_{G2} =$	1.00
Carichi variabili Q	$\psi_{EI} =$	0.60

#### Coefficienti parziali per le verifiche

Verifica	DA2 (R3)	DA1-C2 (R2)	SIS
Capacità portante fondazione	1.40	-	(R3) 1.20
Scorrimento	1.10	-	(R3) 1.00
Ribaltamento	1.15	-	(R3) 1.00
Stabilità globale	-	1.10	(R2) 1.20

#### Combinazioni per le verifiche locali e di resistenza

CMB	Tipo	$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_Q$	$\gamma_E^1$
1	DA2	1.30	1.50	1.50	0.00
2	DA2	1.30	1.50	0.00	0.00
3	DA2	1.30	0.80	1.50	0.00
4	DA2	1.30	0.80	0.00	0.00
5	DA2	1.00	1.50	1.50	0.00
6	DA2	1.00	1.50	0.00	0.00
7	DA2	1.00	0.80	1.50	0.00

8	DA2	1.00	0.80	0.00	0.00
9	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00
10	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00

<sup>1</sup> Il segno di  $\gamma_E$  indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo  $\Downarrow$  e negativo  $\Uparrow$ .

#### Verifiche di stabilità dell'opera

##### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)		
Spinta attiva	$K_{AS} =$	0.2257
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)		
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto		
Spinta attiva	$K_{AD} =$	0.2823
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso		
Spinta attiva	$K_{AD} =$	0.2769

##### Valori della spinta attiva del terreno di monte per metro di estensione del muro

Altezza di calcolo													Ht = 2.650 m			
Le spinte sono espresse in <u>chilogrammi</u> e le coordinate in <u>metri</u> .																
CMB	S <sub>S,X</sub>	S <sub>S,Y</sub>	Y <sub>S</sub>	X <sub>S</sub>	S <sub>D,X</sub>	S <sub>D,Y</sub>	Y <sub>D</sub>	X <sub>D</sub>	S <sub>T,X</sub>	S <sub>T,Y</sub>	Y <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>				
1	1732	795	0.883	1.100	-	-	-	-	1732	795	0.783	1.100				
2	1732	795	0.883	1.100	-	-	-	-	1732	795	0.783	1.100				
3	1732	795	0.883	1.100	-	-	-	-	1732	795	0.783	1.100				
4	1732	795	0.883	1.100	-	-	-	-	1732	795	0.783	1.100				
5	1332	612	0.883	1.100	-	-	-	-	1332	612	0.783	1.100				
6	1332	612	0.883	1.100	-	-	-	-	1332	612	0.783	1.100				
7	1332	612	0.883	1.100	-	-	-	-	1332	612	0.783	1.100				
8	1332	612	0.883	1.100	-	-	-	-	1332	612	0.783	1.100				
9	1332	612	0.883	1.100	377	173	1.325	1.100	1709	785	0.881	1.100				
10	1332	612	0.883	1.100	258	119	1.325	1.100	1590	730	0.855	1.100				

##### Legenda

$S_{S,X}$ , $S_{D,X}$ , $S_{T,X}$	componente orizzontale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$S_{S,Y}$ , $S_{D,Y}$ , $S_{T,Y}$	componente verticale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$Y_S$ , $Y_D$ , $Y_T$	ordinata del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
$X_S$ , $X_D$ , $X_T$	ascissa del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
(le coordinate del punto di applicazione sono riferite al piede di valle della fondazione)	

#### Forze d'inerzia per metro di estensione del muro

Componente orizzontale forza d'inerzia	$F_{I,X} =$	375 kg
Ordinata del punto di applicazione della forza	$Y_I =$	0.983 m
Componente verticale forza d'inerzia	$F_{I,Y} =$	$\pm 188$ kg
Ascissa del punto di applicazione della forza	$X_I =$	0.896 m

#### Verifica a ribaltamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica si considerano positive le forze verticali dirette verso il basso, le forze orizzontali dirette verso monte e i momenti aventi senso orario: se il momento ribaltante risulta positivo (quindi stabilizzante) viene posto pari a zero. Vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10.

#### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Il centro di rotazione coincide con il piede di valle della soletta di fondazione.

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg*m]
Peso del muro ( $P_M$ )	3280	0.820	2690.717
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	814	1.200	976.800
Peso del terreno a valle ( $P_{TV}$ )	305	0.330	100.802
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-188	0.896	-168.119
<b>Momento stabilizzante (<math>M_{STAB}</math>)</b>			<b>3600.199</b>

Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	-1590	0.855	-1359.620
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	730	1.100	803.451
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	-375	0.983	-368.839

Momento ribaltante (M<sub>RIB</sub>) -925.007

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento C<sub>RIB</sub> = M<sub>STAB</sub> / |M<sub>RIB</sub>| = 3.89208

#### Verifica a schiacciamento (superata con successo)

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 9)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	3270
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	812
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	304
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	29
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	187
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	131
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	783
Carico totale ortogonale al piano di fondazione (N <sub>TOT</sub> )	5516

Momento rispetto al piede di valle (M<sub>TOT</sub> = M<sub>STAB</sub> + M<sub>RIB</sub>) 2925.782 kg·m

Distanza carico dal piede di valle (d<sub>N</sub> = M<sub>TOT</sub> / N<sub>TOT</sub>) 0.530 m  
Eccentricità del carico (e<sub>N</sub> = |L<sub>f1</sub> / 2 - d<sub>N</sub>|) 0.122 m  
(Il punto di applicazione del carico è **interno** al terzo medio)

Compressione all'estremo di valle (σ<sub>v</sub>) 6596 kg/m<sup>2</sup>  
Compressione all'estremo di monte (σ<sub>m</sub>) 1865 kg/m<sup>2</sup>  
Ampiezza della zona compressa (B<sub>comp</sub>) 1.304 m  
Compressione limite (σ<sub>L</sub>) 42004 kg/m<sup>2</sup>

Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento C<sub>SCH</sub> = (σ<sub>L</sub> / R) / σ<sub>max</sub> = 5.30665

#### Verifica a scorrimento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10. Il coefficiente di attrito per il terreno di fondazione è f<sub>t</sub> = tan(φ<sub>r</sub>) / γ<sub>φ</sub> = 0.75355.

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	3270	-252
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	812	-62
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	304	-23
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	29	374
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-187	14
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	122	1586
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	728	-56
Carico totale (Σ <sub>L</sub> , Σ <sub>II</sub> )	5078	1581

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento C<sub>SCO</sub> = (Σ<sub>L</sub> · f<sub>t</sub> / R) / Σ<sub>II</sub> = 2.42083

#### Verifica di stabilità globale (superata con successo)

Parametri di ricerca della superficie di rottura circolare

Metodo di ricerca	Bishop
Numero di punti di generazione delle superfici	N <sub>pg</sub> = 20
Numero delle superfici generate per punto	N <sub>sp</sub> = 100
Lunghezza dei segmenti generati	L <sub>s</sub> = 1.000 m
Distanza della zona di generazione delle superfici	D <sub>zg</sub> = 2.000 m
Lunghezza della zona di generazione delle superfici	L <sub>zg</sub> = 7.000 m
Distanza della zona di arrivo della superfici	D <sub>za</sub> = 3.000 m
Lunghezza della zona di arrivo della superfici	L <sub>za</sub> = 16.000 m

#### Combinazioni

CMB	Tipo	γ <sub>G1</sub>	γ <sub>G2</sub>	γ <sub>Q</sub>	γ <sub>E*</sub>	γ <sub>φ</sub>	γ <sub>c'</sub>	γ <sub>γ</sub>	R2
-----	------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------	----

1	DA1-C2	1.00	1.30	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
2	DA1-C2	1.00	1.30	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
3	DA1-C2	1.00	0.80	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
4	DA1-C2	1.00	0.80	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
5	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00	1.00	1.00	1.00	1.20
6	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.20

\* Il segno di γ<sub>E</sub> indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo ↓ e negativo ↑.

#### Caratteristiche geometriche superficie di rottura (Combinazione 1)

Il sistema di riferimento coincide con il piede di valle della fondazione: l'asse delle ascisse è orizzontale

diretto

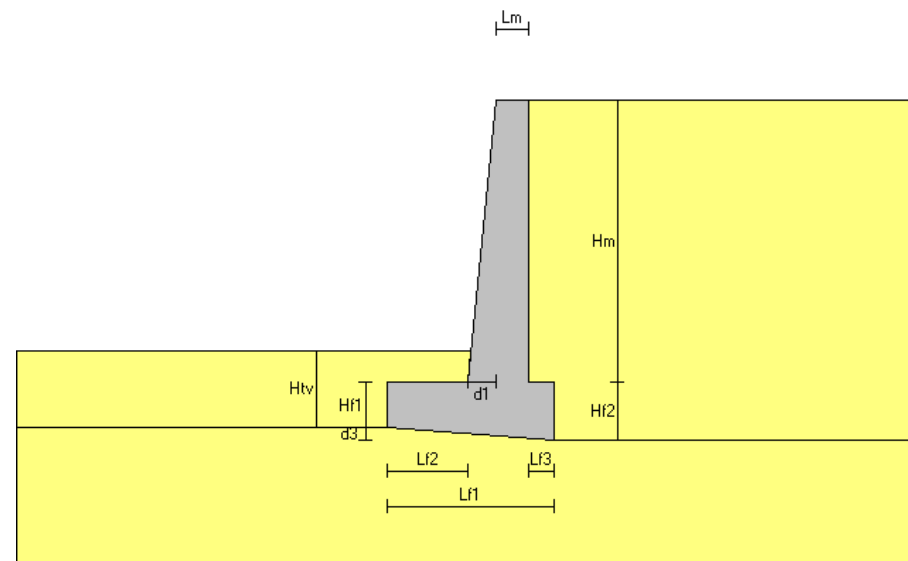
verso monte e l'asse delle ordinate è verticale diretto verso l'alto.

Ascissa centro X<sub>cs</sub> = -0.279 m

Ordinata centro Y<sub>cs</sub> = 4.318 m

Raggio R<sub>s</sub> = 4.911 m

Coefficiente di sicurezza alla stabilità globale C<sub>SG</sub> = 2.20636



#### Verifica delle armature

La verifica viene effettuata considerando lo stato limite ultimo, pertanto, si eseguono i seguenti controlli:

- Verifica N/M: si visualizza il valore del rapporto S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> ottenuto con incremento proporzionale delle sollecitazioni (S<sub>d</sub> = sollecitazione di progetto derivante da N e M, S<sub>u</sub> = sollecitazione ultima);
- Verifica (25): si visualizza il valore del rapporto N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub>, dove N<sub>u</sub> viene ottenuto con riduzione del 25% di f<sub>cd</sub> (N<sub>d</sub> = sollecitazione normale di progetto, N<sub>u</sub> = sollecitazione normale ultima).

Entrambi i valori dei rapporti devono essere minori o uguali a 1 affinché la verifica sia superata.

Si riporta inoltre il valore del rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile della sezione (rapporto x/d) alla rottura della sezione (per sola flessione).

Le sollecitazioni riportate si riferiscono ad un tratto di muro di estensione 1 m.

#### Mensola in elevazione

Le quote delle sezioni sono riferite allo spiccatto di fondazione.

Sezione 1 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	Ar [cm²]		Ar' [cm²]
1.467	100.0	32.3	(1 Ø 14 / 30 cm)	5.13	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]		
550	204		61.559		
Rapporto x/d = 0.12203					
Verifica N/M		Sd/Su = 0.00307			
Verifica (25)		Nd/Nu = 0.00166			

Sezione 2 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]		A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>r</sub> ' [cm <sup>2</sup> ]
0.733	100.0	39.7	[(1 Ø 14 + 1 Ø 10) / 30 cm]	7.75	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]	Momento flettente (M) [kg·m]			
1240	682	394.358			
Rapporto x/d = 0.12436					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.01960			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00304			

Sezione 3 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]		$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
0.000	100.0	47.0		(1 Ø 14 / 15 cm) 10.26	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]	Momento flettente (M) [kg·m]			
2071	1434	1220.579			
Rapporto x/d = 0.12649					
Verifica N/M		$S_d/S_u = 0.05022$			
Verifica (25)		$N_d/N_u = 0.00428$			

Sezione d'incastro mensola di fondazione a valle (verificata)

Caratteristiche					
L <sub>Mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]		Ar [cm <sup>2</sup> ]	Ar' [cm <sup>2</sup> ]
0.865	100.0	39.8	(1 Ø 12 / 15 cm)	7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Compressione terreno estremo di valle	σ <sub>v</sub> =	6596 kg/m <sup>2</sup>			
Compressione terreno all'incastro	σ <sub>i</sub> =	3448 kg/m <sup>2</sup>			
Lunghezza zona compressa	L <sub>c</sub> =	0.868 m			
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]		
Forza di compressione terreno	-4357	0.479	-2087.414		
Peso della mensola	589	0.543	320.170		
Peso del terreno	305	0.535	163.239		
Inerzia verticale (terreno e cls)	41	0.540	22.159		
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]				
3421	1581.845				
Rapporto x/d = 0.12104					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.15705			

Sezione d'incastro mensola di fondazione a monte (verificata)

Caratteristiche					
L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]		Ar [cm²]	Ar' [cm²]
0.435	100.0	43.5	(1 Ø 12 / 15 cm)	7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54

Condizioni più gravose (Combinazione 9)

Compressione terreno estremo di monte	$\sigma_m =$	1865 kg/m <sup>2</sup>		
Compressione terreno all'incastro	$\sigma_i =$	3448 kg/m <sup>2</sup>		
Lunghezza zona compressa	$L_c =$	0.436 m		
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]	
Forza di compressione terreno	-1159	0.196	-227.725	
Peso della mensola	221	0.335	74.087	
Peso del terreno	814	0.335	272.690	
Inerzia verticale (terreno e cls)	47	0.335	15.896	
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]			
76	-134.947			
Rapporto x/d = 0.11455				
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.01214		

Computo materiali

I valori riportati sono riferiti all'intera estensione del muro, pari a 20.00 metri.

Volumi del calcestruzzo

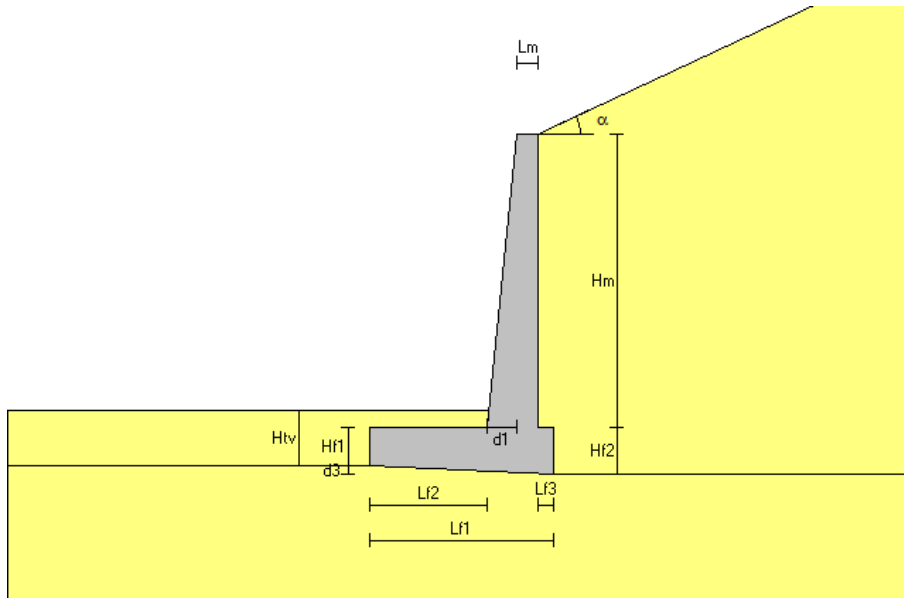
Mensola in elevazione	15.84 m³
Soletta di fondazione	10.40 m³
Volume totale	26.24 m³

Pesi dei ferri di armatura

Mensola in elevazione	1142.09 Kg
Soletta di fondazione	597.20 Kg
Peso totale	1739.29 Kg



**INTERVENTO B – MURO DI SOSTEGNO H CM 350**  
**Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018**



**Descrizione dell'opera**

Tipo di opera: muro in calcestruzzo armato  
 Tipo di sovrastruttura: paramenti piani  
 Tipo di fondazione: piana inclinata

**Caratteristiche geometriche**

Mensola in elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	3.500 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	0.250 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	0.600 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	5.71 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

Soletta di fondazione

Estensione	$E_f =$	20.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	2.200 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	1.400 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.450 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.200 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.550 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.650 m
Dislivello estremi fondazione	$d_3 =$	0.100 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	2.60 °

Angolo di inclinazione terrapieno  $\alpha =$  25.00 °

**Materiali utilizzati**

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	2500 kg/m <sup>3</sup>
<u>Caratteristiche calcestruzzo</u>		
Classe di resistenza		C25/30
Resistenza caratteristica	$R_{ck} =$	300 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	141 Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Caratteristiche armature</u>		
Tipo acciaio		B 450 C
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	3913 Kg/cm <sup>2</sup>

**Caratteristiche geotecniche dei terreni**

Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_v =$	33.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.00 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_f =$	37.00 °
Coesione	$c'_f =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_m =$	37.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	24.67 °
Coesione	$c'_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>

**Carichi applicati**

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

Uniforme a valle del muro	$G1_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G1_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G1_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G1n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G1n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente non strutturale

Uniforme a valle del muro	$G2_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G2_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G2_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G2n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G2n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo variabile

Uniforme a valle del muro	$Q_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$Q_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$Q_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{Qn} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{Qn} =$	0.000 m

**Normativa**

Le verifiche geotecniche e di resistenza vengono eseguite secondo i dettami del D.M. 17 gennaio 2018: la verifica di stabilità globale viene effettuata secondo l'approccio DA1-C2 (A2+M2+R2) mentre le rimanenti verifiche (scorrimento, carico limite, ribaltamento e di resistenza) vengono effettuate secondo l'approccio DA2 (A1+M1+R3). Le verifiche per azioni sismiche vengono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

#### Parametri per la determinazione dei carichi derivanti da sisma

Località:	BRENO (BS)
Vita nominale	$V_N = 50$ anni
Tipo di costruzione	tipo = 2
Classe d'uso	$Cl_U = II$
Coefficiente d'uso	$C_U = 1.0$
Periodo di riferimento	$V_R = 50$ anni
Probabilità di superamento	$P_{VR} = 10\%$
Periodo di ritorno	$T_R = 475$ anni
Fattore di amplificazione spettrale massima	$F_o = 2.6100$
Accelerazione orizzontale massima	$a_g = 0.0764$ g
Categoria di sottosuolo	suolo = A
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S = 1.00000$
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima	
verifiche locali	$\beta_m^* = 1.00000$
verifica di stabilità globale	$\beta_s = 0.20000$
Categoria topografica	$C_T = T2$
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T = 1.20000$
Coefficienti sismici per le verifiche locali	
orizzontale	$k_h = 0.09168$
verticale	$k_v = 0.04584$
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale	
orizzontale	$k_h = 0.01834$
verticale	$k_v = 0.00917$

\* Il muro non è in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

#### Coefficienti parziali per le azioni

Tipo CMB	$\gamma_{G1max}$	$\gamma_{G1min}$	$\gamma_{G2max}$	$\gamma_{G2min}$	$\gamma_Q/\psi/2i$
DA2 (A1)	1.30	1.00	1.50	0.80	1.50
DA1-C2 (A2)	1.00	1.00	1.30	0.80	1.30
SIS	1.00	-	1.00	-	0.60

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tipo CMB	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_\gamma$
DA2 (M1)	1.00	1.00	1.00
DA1-C2 (M2)	1.25	1.25	1.00
SIS	1.00	1.00	1.00

#### Coefficienti per la determinazione delle masse sismiche

Carichi permanenti strutturali G1	$\gamma_{G1} = 1.00$
Carichi permanenti non strutturali G2	$\gamma_{G2} = 1.00$
Carichi variabili Q	$\psi_{EI} = 0.60$

#### Coefficienti parziali per le verifiche

Verifica	DA2 (R3)	DA1-C2 (R2)	SIS
Capacità portante fondazione	1.40	-	(R3) 1.20
Scorrimento	1.10	-	(R3) 1.00
Ribaltamento	1.15	-	(R3) 1.00
Stabilità globale	-	1.10	(R2) 1.20

#### Combinazioni per le verifiche locali e di resistenza

CMB	Tipo	$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_Q$	$\gamma_E^1$
1	DA2	1.30	1.50	1.50	0.00
2	DA2	1.30	1.50	0.00	0.00
3	DA2	1.30	0.80	1.50	0.00
4	DA2	1.30	0.80	0.00	0.00
5	DA2	1.00	1.50	1.50	0.00
6	DA2	1.00	1.50	0.00	0.00
7	DA2	1.00	0.80	1.50	0.00

8	DA2	1.00	0.80	0.00	0.00
9	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00
10	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00

<sup>1</sup> Il segno di  $\gamma_E$  indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo  $\Downarrow$  e negativo  $\Uparrow$ .

#### Verifiche di stabilità dell'opera

##### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)	
Spinta attiva	$K_{AS} = 0.3242$
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)	
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.4587$
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.4436$

##### Valori della spinta attiva del terreno di monte per metro di estensione del muro

Altezza di calcolo													Ht = 4.050 m			
Le spinte sono espresse in <u>chilogrammi</u> e le coordinate in <u>metri</u> .																
CMB	S <sub>S,X</sub>	S <sub>S,Y</sub>	Y <sub>S</sub>	X <sub>S</sub>	S <sub>D,X</sub>	S <sub>D,Y</sub>	Y <sub>D</sub>	X <sub>D</sub>	S <sub>T,X</sub>	S <sub>T,Y</sub>	Y <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>				
1	5811	2669	1.350	2.000	-	-	-	-	5811	2669	1.250	2.000				
2	5811	2669	1.350	2.000	-	-	-	-	5811	2669	1.250	2.000				
3	5811	2669	1.350	2.000	-	-	-	-	5811	2669	1.250	2.000				
4	5811	2669	1.350	2.000	-	-	-	-	5811	2669	1.250	2.000				
5	4470	2053	1.350	2.000	-	-	-	-	4470	2053	1.250	2.000				
6	4470	2053	1.350	2.000	-	-	-	-	4470	2053	1.250	2.000				
7	4470	2053	1.350	2.000	-	-	-	-	4470	2053	1.250	2.000				
8	4470	2053	1.350	2.000	-	-	-	-	4470	2053	1.250	2.000				
9	4470	2053	1.350	2.000	1926	885	2.025	2.000	6396	2938	1.453	2.000				
10	4470	2053	1.350	2.000	1564	718	2.025	2.000	6034	2771	1.425	2.000				

##### Legenda

$S_{S,X}$ , $S_{D,X}$ , $S_{T,X}$	componente orizzontale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$S_{S,Y}$ , $S_{D,Y}$ , $S_{T,Y}$	componente verticale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$Y_S$ , $Y_D$ , $Y_T$	ordinata del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
$X_S$ , $X_D$ , $X_T$	ascissa del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
(le coordinate del punto di applicazione sono riferite al piede di valle della fondazione)	

#### Forze d'inerzia per metro di estensione del muro

Componente orizzontale forza d'inerzia	$F_{I,X} = 713$ kg
Ordinata del punto di applicazione della forza	$Y_I = 1.382$ m
Componente verticale forza d'inerzia	$F_{I,Y} = \pm 357$ kg
Ascissa del punto di applicazione della forza	$X_I = 1.605$ m

#### Verifica a ribaltamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica si considerano positive le forze verticali dirette verso il basso, le forze orizzontali dirette verso monte e i momenti aventi senso orario: se il momento ribaltante risulta positivo (quindi stabilizzante) viene posto pari a zero. Vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10.

#### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Il centro di rotazione coincide con il piede di valle della soletta di fondazione.

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg*m]
Peso del muro ( $P_M$ )	6469	1.504	9728.438
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	1312	2.100	2756.308
Peso del terreno a valle ( $P_{TV}$ )	530	0.716	379.695
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-357	1.605	-572.301
<b>Momento stabilizzante (<math>M_{STAB}</math>)</b>			<b>12292.141</b>

Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	-6034	1.425	-8597.868
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	2771	2.000	5542.797
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	-713	1.382	-985.874

**Momento ribaltante (M<sub>RIB</sub>)** **-4040.945**

**Coefficiente di sicurezza al ribaltamento** **C<sub>RIB</sub> = M<sub>STAB</sub> / |M<sub>RIB</sub>| = 3.04190**

**Verifica a schiacciamento (superata con successo)**

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	6462
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	1311
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	529
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	32
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-356
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	274
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	2769
<b>Carico totale ortogonale al piano di fondazione (N<sub>TOT</sub>)</b>	<b>11021</b>

Momento rispetto al piede di valle (M<sub>TOT</sub> = M<sub>STAB</sub> + M<sub>RIB</sub>) 8251.196 kg·m

Distanza carico dal piede di valle (d<sub>N</sub> = M<sub>TOT</sub> / N<sub>TOT</sub>) 0.749 m  
Eccentricità del carico (e<sub>N</sub> = |L<sub>f1</sub> / 2 - d<sub>N</sub>|) 0.352 m  
(Il punto di applicazione del carico è **interno** al terzo medio)

Compressione all'estremo di valle (σ<sub>v</sub>) 9810 kg/m<sup>2</sup>  
Compressione all'estremo di monte (σ<sub>m</sub>) 199 kg/m<sup>2</sup>  
Ampiezza della zona compressa (B<sub>comp</sub>) 2.202 m  
Compressione limite (σ<sub>L</sub>) 17325 kg/m<sup>2</sup>

**Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento** **C<sub>SCH</sub> = (σ<sub>L</sub> / R) / σ<sub>max</sub> = 1.47176**

**Verifica a scorrimento (superata con successo)**

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10. Il coefficiente di attrito per il terreno di fondazione è f<sub>t</sub> = tan(φ) / γ<sub>φ</sub> = 0.75355.

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	6462	-294
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	1311	-60
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	529	-24
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	32	713
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-356	16
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	274	6028
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	2769	-126
<b>Carico totale (Σ<sub>L</sub>, Σ<sub>II</sub>)</b>	<b>11021</b>	<b>6253</b>

**Coefficiente di sicurezza allo scorrimento** **C<sub>SCO</sub> = (Σ<sub>L</sub> · f<sub>t</sub> / R) / Σ<sub>II</sub> = 1.32813**

**Verifica di stabilità globale (superata con successo)**

Parametri di ricerca della superficie di rottura circolare

Metodo di ricerca	Bishop
Numero di punti di generazione delle superfici	N <sub>pg</sub> = 20
Numero delle superfici generate per punto	N <sub>sp</sub> = 100
Lunghezza dei segmenti generati	L <sub>s</sub> = 1.000 m
Distanza della zona di generazione delle superfici	D <sub>zg</sub> = 4.000 m
Lunghezza della zona di generazione delle superfici	L <sub>zg</sub> = 12.000 m
Distanza della zona di arrivo della superfici	D <sub>za</sub> = 5.000 m
Lunghezza della zona di arrivo della superfici	L <sub>za</sub> = 28.000 m

Combinazioni

CMB	Tipo	γ <sub>G1</sub>	γ <sub>G2</sub>	γ <sub>Q</sub>	γ <sub>E*</sub>	γ <sub>φ</sub>	γ <sub>c'</sub>	γ <sub>γ</sub>	R2
-----	------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------	----

1	DA1-C2	1.00	1.30	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
2	DA1-C2	1.00	1.30	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
3	DA1-C2	1.00	0.80	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
4	DA1-C2	1.00	0.80	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
5	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00	1.00	1.00	1.00	1.20
6	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.20

\* Il segno di γ<sub>E</sub> indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo ↓ e negativo ↑.

Caratteristiche geometriche superficie di rottura (Combinazione 1)

Il sistema di riferimento coincide con il piede di valle della fondazione: l'asse delle ascisse è orizzontale

diretto

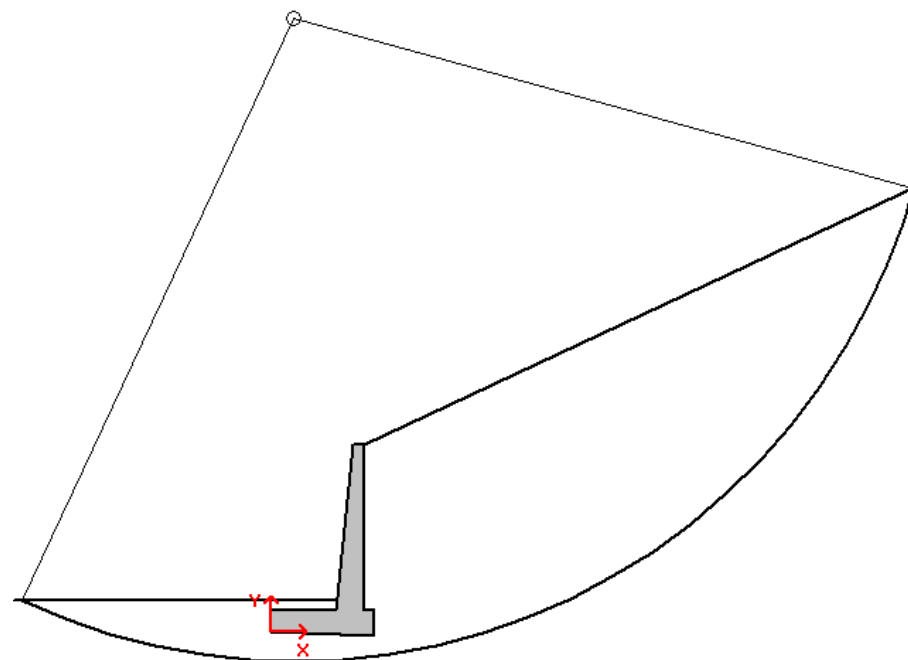
verso monte e l'asse delle ordinate è verticale diretto verso l'alto.

Ascissa centro X<sub>cs</sub> = 0.499 m

Ordinata centro Y<sub>cs</sub> = 13.070 m

Raggio R<sub>s</sub> = 13.599 m

**Coefficiente di sicurezza alla stabilità globale** **C<sub>SG</sub> = 1.33727**



**Verifica delle armature**

La verifica viene effettuata considerando lo stato limite ultimo, pertanto, si eseguono i seguenti controlli:

- Verifica N/M: si visualizza il valore del rapporto S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> ottenuto con incremento proporzionale delle sollecitazioni (S<sub>d</sub> = sollecitazione di progetto derivante da N e M, S<sub>u</sub> = sollecitazione ultima);
- Verifica (25): si visualizza il valore del rapporto N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub>, dove N<sub>u</sub> viene ottenuto con riduzione del 25% di f<sub>cd</sub> (N<sub>d</sub> = sollecitazione normale di progetto, N<sub>u</sub> = sollecitazione normale ultima).

Entrambi i valori dei rapporti devono essere minori o uguali a 1 affinché la verifica sia superata.

Si riporta inoltre il valore del rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile della sezione (rapporto x/d) alla rottura della sezione (per sola flessione).

Le sollecitazioni riportate si riferiscono ad un tratto di muro di estensione 1 m.

Mensola in elevazione

Le quote delle sezioni sono riferite allo spiccatto di fondazione.

Sezione 1 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm²]		A <sub>r</sub> ' [cm²]
2.333	100.0	36.7	(1 Ø 16 / 30 cm)	6.70	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]		
941	654		307.531		
Rapporto x/d = 0.12332					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.02075			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00250			

Sezione 2 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]		A <sub>r</sub> [cm²]	A' <sub>r</sub> [cm²]
1.167	100.0	48.3	[(1 Ø 16 + 1 Ø 10) / 30 cm]	9.32	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]	Momento flettente (M) [kg·m]			
2237	2400	2200.503			
Rapporto x/d = 0.11871					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.11298			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00455			

Sezione 3 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]		A <sub>r</sub> [cm²]	A <sub>r</sub> ' [cm²]
0.000	100.0	60.0		(1 Ø 16 / 15 cm) 13.40	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg·m]		
3889	5238		7140.296		
Rapporto x/d = 0.12503					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.21991			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00635			

Sezione d'incastro mensola di fondazione a valle (verificata)

Caratteristiche					
L <sub>Mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]		A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>r</sub> ' [cm <sup>2</sup> ]
1.700	100.0	51.4	(1 Ø 14 / 15 cm)	10.26	(1 Ø 14 / 15 cm) 10.26
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Compressione terreno estremo di valle	σ <sub>v</sub> =	10471 kg/m <sup>2</sup>			
Compressione terreno all'incastro	σ <sub>i</sub> =	2651 kg/m <sup>2</sup>			
Lunghezzazona compressa	L <sub>c</sub> =	1.702 m			
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]		
Forza di compressione terreno	-11165	1.020	-11387.604		
Peso della mensola	1686	0.985	1660.380		
Peso del terreno	530	0.984	521.347		
Inerzia verticale (terreno e cls)	102	0.984	100.010		
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]				
8847	9105.866				
Rapporto x/d = 0.11491					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.50321			

Sezione d'incastro mensola di fondazione a monte (verificata)

Caratteristiche				
L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm²]	A' [cm²]

0.500      100.0      54.1      (1 Ø 14 / 15 cm) 10.26      (1 Ø 14 / 15 cm) 10.26

Condizioni più gravose (Combinazione 9)

Compressione terreno estremo di monte	$\sigma_m =$	351 kg/m <sup>2</sup>		
Compressione terreno all'incastro	$\sigma_i =$	2651 kg/m <sup>2</sup>		
Lunghezzazona compressa	$L_c =$	0.501 m		
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg·m]	
Forza di compressione terreno	-751	0.186	-139.957	
Peso della mensola	273	0.400	109.091	
Peso del terreno	1312	0.400	525.477	
Inerzia verticale (terreno e cls)	73	0.400	29.089	
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg·m]			
-907	-523.699			
Rapporto x/d = 0.11125				
<b>Verifica N/M</b>		<b>S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> = 0.02731</b>		

Computo materiali

I valori riportati sono riferiti all'intera estensione del muro, pari a 20.00 metri.

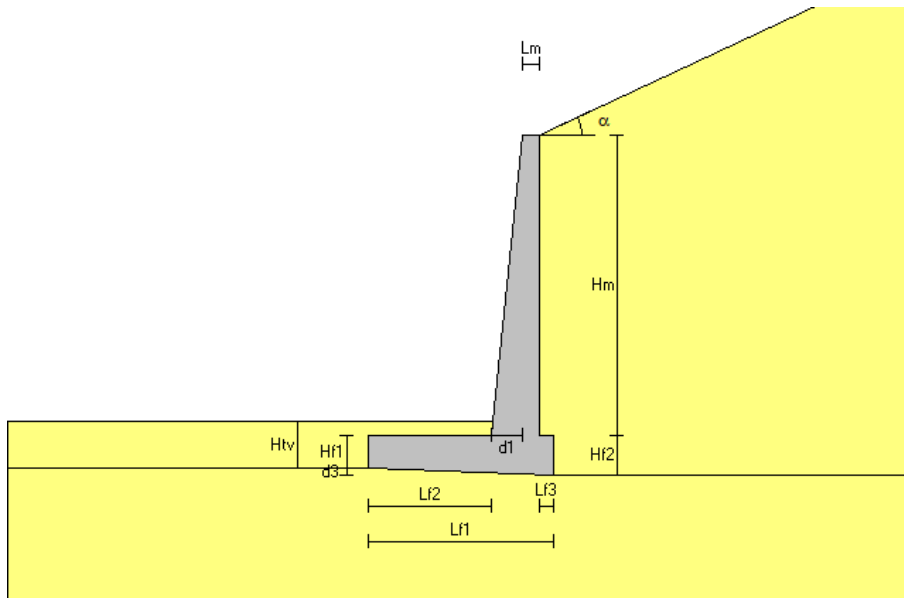
Volumi del calcestruzzo

Mensola in elevazione	29.75 m³
Soletta di fondazione	22.00 m³
Volume totale	51.75 m³

Pesi dei ferri di armatura

Mensola in elevazione	1916.09 Kg
Soletta di fondazione	1193.13 Kg
Peso totale	3109.22 Kg

**INTERVENTO B – MURO DI SOSTEGNO H CM 400**  
**Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018**



**Descrizione dell'opera**

Tipo di opera:	muro in calcestruzzo armato
Tipo di sovrastruttura:	paramenti piani
Tipo di fondazione:	piana inclinata

**Caratteristiche geometriche**

Mensola in elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	4.200 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	0.250 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	0.670 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	5.71 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

Soletta di fondazione

Estensione	$E_f =$	20.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	2.600 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	1.730 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.450 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.200 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.550 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.650 m
Dislivello estremi fondazione	$d_3 =$	0.100 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	2.20 °

<u>Angolo di inclinazione terrapieno</u>	$\alpha =$	25.00 °
--	------------	---------

**Materiali utilizzati**

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	2500 kg/m <sup>3</sup>
<u>Caratteristiche calcestruzzo</u>		
Classe di resistenza		C25/30
Resistenza caratteristica	$R_{ck} =$	300 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	141 Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Caratteristiche armature</u>		
Tipo acciaio		B 450 C
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	3913 Kg/cm <sup>2</sup>

**Caratteristiche geotecniche dei terreni**

Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_v =$	33.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.00 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_f =$	37.00 °
Coesione	$c'_f =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_m =$	37.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	24.67 °
Coesione	$c'_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>

**Carichi applicati**

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

Uniforme a valle del muro	$G1_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G1_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G1_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G1n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G1n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente non strutturale

Uniforme a valle del muro	$G2_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G2_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G2_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G2n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G2n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo variabile

Uniforme a valle del muro	$Q_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$Q_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$Q_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{Qn} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{Qn} =$	0.000 m

**Normativa**

Le verifiche geotecniche e di resistenza vengono eseguite secondo i dettami del D.M. 17 gennaio 2018: la verifica di stabilità globale viene effettuata secondo l'approccio DA1-C2 (A2+M2+R2) mentre le rimanenti verifiche (scorrimento, carico limite, ribaltamento e di resistenza) vengono effettuate secondo l'approccio DA2 (A1+M1+R3). Le verifiche per azioni sismiche vengono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

#### Parametri per la determinazione dei carichi derivanti da sisma

Località:	BRENO (BS)
Vita nominale	$V_N = 50$ anni
Tipo di costruzione	tipo = 2
Classe d'uso	$Cl_U = II$
Coefficiente d'uso	$C_U = 1.0$
Periodo di riferimento	$V_R = 50$ anni
Probabilità di superamento	$P_{Vr} = 10\%$
Periodo di ritorno	$T_R = 475$ anni
Fattore di amplificazione spettrale massima	$F_o = 2.6100$
Accelerazione orizzontale massima	$a_g = 0.0764$ g
Categoria di sottosuolo	suolo = A
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S = 1.00000$
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima	
verifiche locali	$\beta_m^* = 1.00000$
verifica di stabilità globale	$\beta_s = 0.20000$
Categoria topografica	$C_T = T2$
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T = 1.20000$
Coefficienti sismici per le verifiche locali	
orizzontale	$k_h = 0.09168$
verticale	$k_v = 0.04584$
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale	
orizzontale	$k_h = 0.01834$
verticale	$k_v = 0.00917$

\* Il muro non è in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

#### Coefficienti parziali per le azioni

Tipo CMB	$\gamma_{G1max}$	$\gamma_{G1min}$	$\gamma_{G2max}$	$\gamma_{G2min}$	$\gamma_Q/\psi/2i$
DA2 (A1)	1.30	1.00	1.50	0.80	1.50
DA1-C2 (A2)	1.00	1.00	1.30	0.80	1.30
SIS	1.00	-	1.00	-	0.60

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tipo CMB	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_\gamma$
DA2 (M1)	1.00	1.00	1.00
DA1-C2 (M2)	1.25	1.25	1.00
SIS	1.00	1.00	1.00

#### Coefficienti per la determinazione delle masse sismiche

Carichi permanenti strutturali G1	$\gamma_{G1} = 1.00$
Carichi permanenti non strutturali G2	$\gamma_{G2} = 1.00$
Carichi variabili Q	$\psi_{EI} = 0.60$

#### Coefficienti parziali per le verifiche

Verifica	DA2 (R3)	DA1-C2 (R2)	SIS
Capacità portante fondazione	1.40	-	(R3) 1.20
Scorrimento	1.10	-	(R3) 1.00
Ribaltamento	1.15	-	(R3) 1.00
Stabilità globale	-	1.10	(R2) 1.20

#### Combinazioni per le verifiche locali e di resistenza

CMB	Tipo	$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_Q$	$\gamma_E^1$
1	DA2	1.30	1.50	1.50	0.00
2	DA2	1.30	1.50	0.00	0.00
3	DA2	1.30	0.80	1.50	0.00
4	DA2	1.30	0.80	0.00	0.00
5	DA2	1.00	1.50	1.50	0.00
6	DA2	1.00	1.50	0.00	0.00
7	DA2	1.00	0.80	1.50	0.00

8	DA2	1.00	0.80	0.00	0.00
9	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00
10	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00

<sup>1</sup> Il segno di  $\gamma_E$  indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo  $\Downarrow$  e negativo  $\Uparrow$ .

#### Verifiche di stabilità dell'opera

##### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)	$K_{AS} =$	0.3242
Spinta attiva		
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)		
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto		
Spinta attiva	$K_{AD} =$	0.4587
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso		
Spinta attiva	$K_{AD} =$	0.4436

##### Valori della spinta attiva del terreno di monte per metro di estensione del muro

Altezza di calcolo										H <sub>t</sub> = 4.750 m		
Le spinte sono espresse in <u>chilogrammi</u> e le coordinate in <u>metri</u> .												
CMB	S <sub>S,X</sub>	S <sub>S,Y</sub>	Y <sub>S</sub>	X <sub>S</sub>	S <sub>D,X</sub>	S <sub>D,Y</sub>	Y <sub>D</sub>	X <sub>D</sub>	S <sub>T,X</sub>	S <sub>T,Y</sub>	Y <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>
1	7993	3671	1.583	2.400	-	-	-	-	7993	3671	1.483	2.400
2	7993	3671	1.583	2.400	-	-	-	-	7993	3671	1.483	2.400
3	7993	3671	1.583	2.400	-	-	-	-	7993	3671	1.483	2.400
4	7993	3671	1.583	2.400	-	-	-	-	7993	3671	1.483	2.400
5	6148	2824	1.583	2.400	-	-	-	-	6148	2824	1.483	2.400
6	6148	2824	1.583	2.400	-	-	-	-	6148	2824	1.483	2.400
7	6148	2824	1.583	2.400	-	-	-	-	6148	2824	1.483	2.400
8	6148	2824	1.583	2.400	-	-	-	-	6148	2824	1.483	2.400
9	6148	2824	1.583	2.400	2650	1217	2.375	2.400	8798	4041	1.722	2.400
10	6148	2824	1.583	2.400	2151	988	2.375	2.400	8300	3812	1.689	2.400

##### Legenda

$S_{S,X}$ , $S_{D,X}$ , $S_{T,X}$	componente orizzontale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$S_{S,Y}$ , $S_{D,Y}$ , $S_{T,Y}$	componente verticale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$Y_S$ , $Y_D$ , $Y_T$	ordinata del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
$X_S$ , $X_D$ , $X_T$	ascissa del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
(le coordinate del punto di applicazione sono riferite al piede di valle della fondazione)	

#### Forze d'inerzia per metro di estensione del muro

Componente orizzontale forza d'inerzia	$F_{I,X} =$	885 kg
Ordinata del punto di applicazione della forza	$Y_I =$	1.602 m
Componente verticale forza d'inerzia	$F_{I,Y} =$	$\pm 442$ kg
Ascissa del punto di applicazione della forza	$X_I =$	1.937 m

#### Verifica a ribaltamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica si considerano positive le forze verticali dirette verso il basso, le forze orizzontali dirette verso monte e i momenti aventi senso orario: se il momento ribaltante risulta positivo (quindi stabilizzante) viene posto pari a zero. Vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10.

#### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Il centro di rotazione coincide con il piede di valle della soletta di fondazione.

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg*m]
Peso del muro ( $P_M$ )	8080	1.828	14769.756
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	1571	2.500	3928.708
Peso del terreno a valle ( $P_{TV}$ )	652	0.881	574.751
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-442	1.937	-857.138
<b>Momento stabilizzante (<math>M_{STAB}</math>)</b>			<b>18416.079</b>

Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	-8300	1.689	-14014.410
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	3812	2.400	9149.286
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	-885	1.602	-1417.718

Momento ribaltante (M<sub>RIB</sub>) -6282.842

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento C<sub>RIB</sub> = M<sub>STAB</sub> / |M<sub>RIB</sub>| = 2.93117

#### Verifica a schiacciamento (superata con successo)

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	8074
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	1570
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	652
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	34
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-442
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	319
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	3809
<b>Carico totale ortogonale al piano di fondazione (N<sub>TOT</sub>)</b>	<b>14016</b>

Momento rispetto al piede di valle (M<sub>TOT</sub> = M<sub>STAB</sub> + M<sub>RIB</sub>) 12133.237 kg·m

Distanza carico dal piede di valle (d<sub>N</sub> = M<sub>TOT</sub> / N<sub>TOT</sub>) 0.866 m  
Eccentricità del carico (e<sub>N</sub> = |L<sub>f1</sub> / 2 - d<sub>N</sub>|) 0.435 m  
(Il punto di applicazione del carico è **esterno** al terzo medio)

Compressione all'estremo di valle (σ<sub>v</sub>) 10794 kg/m<sup>2</sup>  
Compressione all'estremo di monte (σ<sub>m</sub>) 0 kg/m<sup>2</sup>  
Ampiezza della zona compressa (B<sub>comp</sub>) 2.597 m  
Compressione limite (σ<sub>L</sub>) 14029 kg/m<sup>2</sup>

Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento C<sub>SCH</sub> = (σ<sub>L</sub> / R) / σ<sub>max</sub> = 1.08311

#### Verifica a scorrimento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 10. Il coefficiente di attrito per il terreno di fondazione è f<sub>t</sub> = tan(φ) / γ<sub>φ</sub> = 0.75355.

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 10)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	8074	-311
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	1570	-60
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	652	-25
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	34	884
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-442	17
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	319	8294
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	3809	-147
<b>Carico totale (Σ<sub>L</sub>, Σ<sub>II</sub>)</b>	<b>14016</b>	<b>8652</b>

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento C<sub>SCO</sub> = (Σ<sub>L</sub> · f<sub>t</sub> / R) / Σ<sub>II</sub> = 1.22070

#### Verifica di stabilità globale (superata con successo)

Parametri di ricerca della superficie di rottura circolare

Metodo di ricerca	Bishop
Numero di punti di generazione delle superfici	N <sub>pg</sub> = 20
Numero delle superfici generate per punto	N <sub>sp</sub> = 100
Lunghezza dei segmenti generati	L <sub>s</sub> = 1.000 m
Distanza della zona di generazione delle superfici	D <sub>zg</sub> = 4.000 m
Lunghezza della zona di generazione delle superfici	L <sub>zg</sub> = 14.000 m
Distanza della zona di arrivo della superfici	D <sub>za</sub> = 6.000 m
Lunghezza della zona di arrivo della superfici	L <sub>za</sub> = 33.000 m

#### Combinazioni

CMB	Tipo	γ <sub>G1</sub>	γ <sub>G2</sub>	γ <sub>Q</sub>	γ <sub>E*</sub>	γ <sub>φ</sub>	γ <sub>c'</sub>	γ <sub>γ</sub>	R2
-----	------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------	----

1	DA1-C2	1.00	1.30	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
2	DA1-C2	1.00	1.30	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
3	DA1-C2	1.00	0.80	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
4	DA1-C2	1.00	0.80	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
5	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00	1.00	1.00	1.00	1.20
6	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.20

\* Il segno di γ<sub>E</sub> indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo ↓ e negativo ↑.

#### Caratteristiche geometriche superficie di rottura (Combinazione 1)

Il sistema di riferimento coincide con il piede di valle della fondazione: l'asse delle ascisse è orizzontale diretto

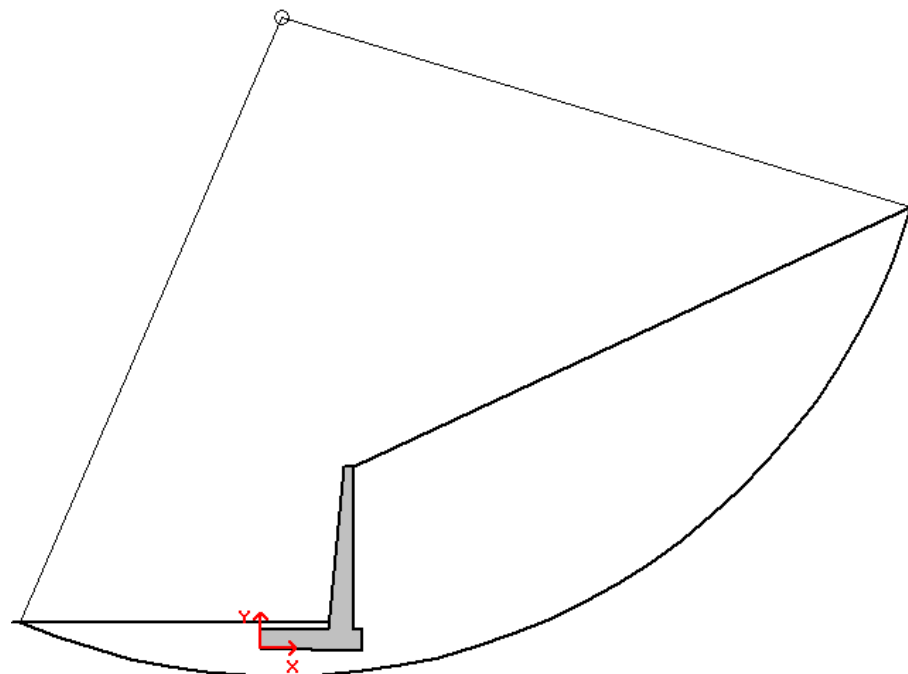
verso monte e l'asse delle ordinate è verticale diretto verso l'alto.

Ascissa centro X<sub>cs</sub> = 0.515 m

Ordinata centro Y<sub>cs</sub> = 16.297 m

Raggio R<sub>s</sub> = 16.939 m

Coefficiente di sicurezza alla stabilità globale C<sub>SG</sub> = 1.30455



#### Verifica delle armature

La verifica viene effettuata considerando lo stato limite ultimo, pertanto, si eseguono i seguenti controlli:

- Verifica N/M: si visualizza il valore del rapporto S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> ottenuto con incremento proporzionale delle sollecitazioni (S<sub>d</sub> = sollecitazione di progetto derivante da N e M, S<sub>u</sub> = sollecitazione ultima);
- Verifica (25): si visualizza il valore del rapporto N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub>, dove N<sub>u</sub> viene ottenuto con riduzione del 25% di f<sub>cd</sub> (N<sub>d</sub> = sollecitazione normale di progetto, N<sub>u</sub> = sollecitazione normale ultima).

Entrambi i valori dei rapporti devono essere minori o uguali a 1 affinché la verifica sia superata.

Si riporta inoltre il valore del rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile della sezione (rapporto x/d) alla rottura della sezione (per sola flessione).

Le sollecitazioni riportate si riferiscono ad un tratto di muro di estensione 1 m.

### Mensola in elevazione

Le quote delle sezioni sono riferite allo spiccatto di fondazione.

#### Sezione 1 (verificata)

Caratteristiche				
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_r'$ [cm <sup>2</sup> ]
2.800	100.0	39.0	(1 Ø 16 / 30 cm) 6.70	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)				
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg•m]	
1171	916		512.523	
Rapporto x/d = 0.11807				
<b>Verifica N/M</b>		<b>S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> = 0.03687</b>		
<b>Verifica (25)</b>		<b>N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub> = 0.00295</b>		

#### Sezione 2 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	$A_r$ [cm <sup>2</sup> ]		$A_i$ [cm <sup>2</sup> ]
1.400	100.0	53.0	$[(1 \varnothing 16 + 1 \varnothing 10) / 30 \text{ cm}]$	9.32	$(1 \varnothing 10 / 15 \text{ cm})$ 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg•m]		
2855	3404		3728.968		
Rapporto x/d = 0.11249					
Verifica N/M		$S_d/S_u = 0.18002$			
Verifica (25)		$N_d/N_u = 0.00535$			

#### Sezione 3 (verificata)

Caratteristiche					
Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]		A' <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]
0.000	100.0	67.0	(1 Ø 16 / 15 cm)	13.40	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Sforzo normale (N) [kg]	Sforzo di taglio (T) [kg]		Momento flettente (M) [kg•m]		
5051	7466		12174.559		
Rapporto x/d = 0.11788					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.33935			
Verifica (25)		N <sub>d</sub> /N <sub>u</sub> = 0.00748			

#### Sezione d'incastro mensola di fondazione a valle (verificata)

Caratteristiche					
L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]		A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>r</sub> ' [cm <sup>2</sup> ]
2.065	100.0	51.7	(1 Ø 14 / 15 cm)	10.26	(1 Ø 14 / 15 cm) 10.26
Condizioni più gravose (Combinazione 9)					
Compressione terreno estremo di valle	σ <sub>v</sub> =	11533 kg/m <sup>2</sup>			
Compressione terreno all'incastro	σ <sub>i</sub> =	2461 kg/m <sup>2</sup>			
Lunghezza zona compressa	L <sub>c</sub> =	2.067 m			
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]		
Forza di compressione terreno	-14460	1.257	-18169.19		
Peso della mensola	2090	1.180	2466.67		
Peso del terreno	652	1.184	771.89		
Inerzia verticale (terreno e cls)	126	1.181	148.45		
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]				
11592	14782.175				
Rapporto x/d = 0.11485					
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.81173			

#### Sezione d'incastro mensola di fondazione a monte (verificata)

Caratteristiche

L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A' [cm <sup>2</sup> ]
0.535	100.0	54.2	(1 Ø 14 / 15 cm) 10.26	(1 Ø 14 / 15 cm) 10.26

Condizioni più gravose (Combinazione 9)

Compressione terreno estremo di monte	$\sigma_m =$	111 kg/m <sup>2</sup>		
Compressione terreno all'incastro	$\sigma_i =$	2461 kg/m <sup>2</sup>		
Lunghezza zona compressa	$L_c =$	0.535 m		
Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]	
Forza di compressione terreno	-688	0.186	-128.157	
Peso della mensola	273	0.435	118.788	
Peso del terreno	1571	0.435	684.069	
Inerzia verticale (terreno e cls)	85	0.435	36.803	
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]			
-1240	-711.503			
Rapporto x/d = 0.11123				
Verifica N/M		S <sub>d</sub> /S <sub>u</sub> = 0.03699		

### Computo materiali

I valori riportati sono riferiti all'intera estensione del muro, pari a 20.00 metri.

#### Volumi del calcestruzzo

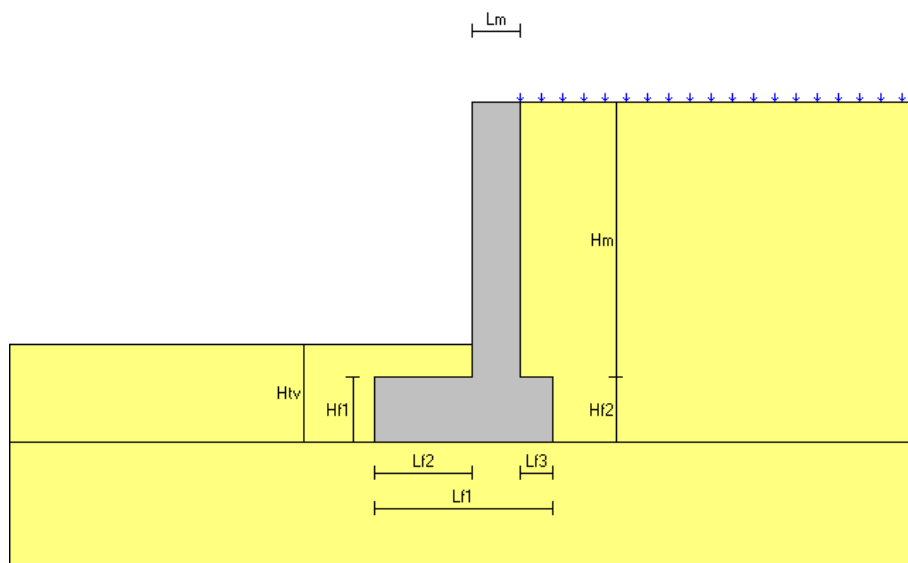
Mensola in elevazione	38.64 m <sup>3</sup>
Soletta di fondazione	26.00 m <sup>3</sup>
Volume totale	64.64 m <sup>3</sup>

#### Pesi dei ferri di armatura

Mensola in elevazione	2202.44 Kg
Soletta di fondazione	1370.18 Kg
Peso totale	3572.61 Kg



**INTERVENTO C – MURO DI SOSTEGNO H CM 170**  
**Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018**



**Descrizione dell'opera**

Tipo di opera:	muro in calcestruzzo armato
Tipo di sovrastruttura:	paramenti piani
Tipo di fondazione:	piana orizzontale

**Caratteristiche geometriche**

Mensola in elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	1.700 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	0.300 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	0.300 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	0.00 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

Soletta di fondazione

Estensione	$E_f =$	20.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	1.100 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	0.600 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.400 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.200 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.400 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.600 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	0.00 °

Angolo di inclinazione terrapieno

$\alpha =$	0.00 °
------------	--------

**Materiali utilizzati**

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	2500 kg/m <sup>3</sup>
<u>Caratteristiche calcestruzzo</u>		
Classe di resistenza		C25/30
Resistenza caratteristica	$R_{ck} =$	300 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	141 Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Caratteristiche armature</u>		
Tipo acciaio		B 450 C
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	3913 Kg/cm <sup>2</sup>

**Caratteristiche geotecniche dei terreni**

Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_v =$	33.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.00 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_f =$	37.00 °
Coesione	$c'_f =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_m =$	37.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	24.67 °
Coesione	$c'_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>

**Carichi applicati**

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

Uniforme a valle del muro	$G1_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G1_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G1_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G1n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G1n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente non strutturale

Uniforme a valle del muro	$G2_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G2_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G2_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G2n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G2n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo variabile

Uniforme a valle del muro	$Q_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$Q_{um} =$	400 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$Q_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{Qn} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{Qn} =$	0.000 m

**Normativa**

Le verifiche geotecniche e di resistenza vengono eseguite secondo i dettami del D.M. 17 gennaio 2018: la verifica di stabilità globale viene effettuata secondo l'approccio DA1-C2 (A2+M2+R2) mentre le rimanenti verifiche (scorrimento, carico limite, ribaltamento e di resistenza) vengono effettuate secondo l'approccio DA2 (A1+M1+R3). Le verifiche per azioni sismiche vengono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

#### Parametri per la determinazione dei carichi derivanti da sisma

Località:	BRENO (BS)
Vita nominale	$V_N = 50$ anni
Tipo di costruzione	tipo = 2
Classe d'uso	$Cl_U = II$
Coefficiente d'uso	$C_U = 1.0$
Periodo di riferimento	$V_R = 50$ anni
Probabilità di superamento	$P_{VR} = 10\%$
Periodo di ritorno	$T_R = 475$ anni
Fattore di amplificazione spettrale massima	$F_o = 2.6100$
Accelerazione orizzontale massima	$a_g = 0.0764$ g
Categoria di sottosuolo	suolo = A
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S = 1.00000$
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima	
verifiche locali	$\beta_m^* = 1.00000$
verifica di stabilità globale	$\beta_s = 0.20000$
Categoria topografica	$C_T = T2$
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T = 1.20000$
Coefficienti sismici per le verifiche locali	
orizzontale	$k_h = 0.09168$
verticale	$k_v = 0.04584$
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale	
orizzontale	$k_h = 0.01834$
verticale	$k_v = 0.00917$

\* Il muro non è in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

#### Coefficienti parziali per le azioni

Tipo CMB	$\gamma_{G1max}$	$\gamma_{G1min}$	$\gamma_{G2max}$	$\gamma_{G2min}$	$\gamma_Q/\psi/2i$
DA2 (A1)	1.30	1.00	1.50	0.80	1.50
DA1-C2 (A2)	1.00	1.00	1.30	0.80	1.30
SIS	1.00	-	1.00	-	0.60

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tipo CMB	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_\gamma$
DA2 (M1)	1.00	1.00	1.00
DA1-C2 (M2)	1.25	1.25	1.00
SIS	1.00	1.00	1.00

#### Coefficienti per la determinazione delle masse sismiche

Carichi permanenti strutturali G1	$\gamma_{G1} = 1.00$
Carichi permanenti non strutturali G2	$\gamma_{G2} = 1.00$
Carichi variabili Q	$\psi_{EI} = 0.60$

#### Coefficienti parziali per le verifiche

Verifica	DA2 (R3)	DA1-C2 (R2)	SIS
Capacità portante fondazione	1.40	-	(R3) 1.20
Scorrimento	1.10	-	(R3) 1.00
Ribaltamento	1.15	-	(R3) 1.00
Stabilità globale	-	1.10	(R2) 1.20

#### Combinazioni per le verifiche locali e di resistenza

CMB	Tipo	$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_Q$	$\gamma_E^1$
1	DA2	1.30	1.50	1.50	0.00
2	DA2	1.30	1.50	0.00	0.00
3	DA2	1.00	1.50	1.50	0.00
4	DA2	1.00	1.50	0.00	0.00
5	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00
6	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00

<sup>1</sup> Il segno di  $\gamma_E$  indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo ↓ e negativo ↑.

#### Verifiche di stabilità dell'opera

##### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)	
Spinta attiva	$K_{AS} = 0.2257$
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)	
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.2823$
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.2769$

##### Valori della spinta attiva del terreno di monte per metro di estensione del muro

Altezza di calcolo					H <sub>t</sub> = 2.100 m							
Le spinte sono espresse in <u>chilogrammi</u> e le coordinate in <u>metri</u> .												
CMB	S <sub>S,X</sub>	S <sub>S,Y</sub>	Y <sub>S</sub>	X <sub>S</sub>	S <sub>D,X</sub>	S <sub>D,Y</sub>	Y <sub>D</sub>	X <sub>D</sub>	S <sub>T,X</sub>	S <sub>T,Y</sub>	Y <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>
1	1346	618	0.767	0.900	-	-	-	-	1346	618	0.767	0.900
2	1088	500	0.700	0.900	-	-	-	-	1088	500	0.700	0.900
3	1095	503	0.783	0.900	-	-	-	-	1095	503	0.783	0.900
4	837	384	0.700	0.900	-	-	-	-	837	384	0.700	0.900
5	940	432	0.738	0.900	266	122	1.050	0.900	1206	554	0.807	0.900
6	940	432	0.738	0.900	182	84	1.050	0.900	1122	515	0.789	0.900

##### Legenda

$S_{S,X}$ , $S_{D,X}$ , $S_{T,X}$	componente orizzontale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$S_{S,Y}$ , $S_{D,Y}$ , $S_{T,Y}$	componente verticale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$Y_S$ , $Y_D$ , $Y_T$	ordinata del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
$X_S$ , $X_D$ , $X_T$	ascissa del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
(le coordinate del punto di applicazione sono riferite al piede di valle della fondazione)	

##### Forze d'inerzia per metro di estensione del muro

Componente orizzontale forza d'inerzia	$F_{I,X} = 280$ kg
Ordinata del punto di applicazione della forza	$Y_I = 0.885$ m
Componente verticale forza d'inerzia	$F_{I,Y} = \pm 140$ kg
Ascissa del punto di applicazione della forza	$X_I = 0.733$ m

#### Verifica a ribaltamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica si considerano positive le forze verticali dirette verso il basso, le forze orizzontali dirette verso monte e i momenti aventi senso orario: se il momento ribaltante risulta positivo (quindi stabilizzante) viene posto pari a zero. Vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 6.

##### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 6)

Il centro di rotazione coincide con il piede di valle della soletta di fondazione.

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg·m]
Peso del muro ( $P_M$ )	2375	0.657	1561.250
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	629	1.000	629.000
Peso del terreno a valle ( $P_{TV}$ )	222	0.300	66.600
Peso dei sovraccarichi uniformi a monte ( $P_{SM}$ )	48	1.000	48.000
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-140	0.733	-102.601
<b>Momento stabilizzante (<math>M_{STAB}</math>)</b>			<b>2202.249</b>

Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	-1122	0.789	-885.297
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	515	0.900	463.820
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	-280	0.885	-247.609
<b>Momento ribaltante (<math>M_{RIB}</math>)</b>			<b>-669.087</b>

##### Coefficiente di sicurezza al ribaltamento

$$C_{RIB} = (M_{STAB} / R) / |M_{RIB}| = 3.29143$$

#### Verifica a schiacciamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 6.

##### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 5)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kg]
---	------------

Peso del muro (P <sub>M</sub> )	2375
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	629
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	222
Peso dei sovraccarichi uniformi a monte (P <sub>SM</sub> )	48
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	0
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	140
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	0
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	554
<b>Carico totale ortogonale al piano di fondazione (N<sub>TOT</sub>)</b>	<b>3968</b>

Momento rispetto al piede di valle (M<sub>TOT</sub> = M<sub>STAB</sub> + M<sub>RIB</sub>) 1684.915 kg•m

Distanza carico dal piede di valle (d<sub>N</sub> = M<sub>TOT</sub> / N<sub>TOT</sub>) 0.425 m  
 Eccentricità del carico (e<sub>N</sub> = |L<sub>F1</sub> / 2 - d<sub>N</sub>|) 0.125 m  
 (Il punto di applicazione del carico è **interno** al terzo medio)

Compressione all'estremo di valle (σ<sub>v</sub>) 6074 kg/m²  
 Compressione all'estremo di monte (σ<sub>m</sub>) 1141 kg/m²  
 Ampiezza della zona compressa (B<sub>comp</sub>) 1.100 m  
 Compressione limite (σ<sub>L</sub>) 35674 kg/m²

**Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento** C<sub>SCH</sub> = ( σ<sub>L</sub> / R ) / σ<sub>max</sub> = **4.89476**

#### Verifica a scorrimento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 6. Il coefficiente di attrito per il terreno di fondazione è f<sub>t</sub> = tan(φ<sub>t</sub>) / γ<sub>φ</sub> = 0.75355.

#### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 6)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	2375	0
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	629	0
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	222	0
Peso dei sovraccarichi uniformi a monte (P <sub>SM</sub> )	48	0
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	0	280
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-140	0
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	0	1122
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	515	0
<b>Carico totale (Σ<sub>L</sub>, Σ<sub>II</sub>)</b>	<b>3649</b>	<b>1402</b>

**Coefficiente di sicurezza allo scorrimento** C<sub>Sco</sub> = ( Σ<sub>L</sub> • f<sub>t</sub> / R ) / Σ<sub>II</sub> = **1.96178**

#### Verifica delle armature

La verifica viene effettuata considerando lo stato limite ultimo, pertanto, si eseguono i seguenti controlli:

- Verifica N/M: si visualizza il valore del rapporto S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> ottenuto con incremento proporzionale delle sollecitazioni (S<sub>d</sub> = sollecitazione di progetto derivante da N e M, S<sub>u</sub> = sollecitazione ultima);
- Verifica (25): si visualizza il valore del rapporto N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub>, dove N<sub>u</sub> viene ottenuto con riduzione del 25% di f<sub>cd</sub> (N<sub>d</sub> = sollecitazione normale di progetto, N<sub>u</sub> = sollecitazione normale ultima).

Entrambi i valori dei rapporti devono essere minori o uguali a 1 affinché la verifica sia superata.

Si riporta inoltre il valore del rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile della sezione (rapporto x/d) alla rottura della sezione (per sola flessione).

Le sollecitazioni riportare si riferiscono ad un tratto di muro di estensione 1 m.

#### Mensola in elevazione

Le quote delle sezioni sono riferite allo spiccatto di fondazione.

#### Sezione 1 (verificata)

Caratteristiche	Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm²]	A' [cm²]
	1.133	100.0	30.0	(1 Ø 14 / 30 cm) 5.13	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24

Condizioni più gravose (Combinazione 5)  
 Sforzo normale (N) [kg] 444 Sforzo di taglio (T) [kg] 172 Momento flettente (M) [kg•m] 43.016

Rapporto x/d = 0.13015  
**Verifica N/M** S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> = **0.00250**  
**Verifica (25)** N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub> = **0.00143**

#### Sezione 2 (verificata)

Caratteristiche	Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm²]	A' [cm²]
	0.567	100.0	30.0	[(1 Ø 14 + 1 Ø 10) / 30 cm] 7.75	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24

Condizioni più gravose (Combinazione 5)  
 Sforzo normale (N) [kg] 889 Sforzo di taglio (T) [kg] 501 Momento flettente (M) [kg•m] 237.627

Rapporto x/d = 0.15381  
**Verifica N/M** S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> = **0.01870**  
**Verifica (25)** N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub> = **0.00277**

#### Sezione 3 (verificata)

Caratteristiche	Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm²]	A' [cm²]
	0.000	100.0	30.0	(1 Ø 14 / 15 cm) 10.26	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24

Condizioni più gravose (Combinazione 5)  
 Sforzo normale (N) [kg] 1333 Sforzo di taglio (T) [kg] 985 Momento flettente (M) [kg•m] 682.178

Rapporto x/d = 0.17522  
**Verifica N/M** S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> = **0.05507**  
**Verifica (25)** N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub> = **0.00403**

#### Sezione d'incastro mensola di fondazione a valle (verificata)

Caratteristiche	L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm²]	A' [cm²]
	0.750	100.0	40.0	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54

Condizioni più gravose (Combinazione 5)  
 Compressione terreno estremo di valle σ<sub>v</sub> = 6074 kg/m²  
 Compressione terreno all'incastro σ<sub>i</sub> = 2710 kg/m²  
 Lunghezza zona compressa L<sub>c</sub> = 0.750 m  

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]
Forza di compressione terreno	-3294	0.423	-1392.867
Peso della mensola	600	0.450	270.000
Peso del terreno	222	0.450	99.900
Inerzia verticale (terreno e cls)	38	0.450	16.956

 Sforzo di taglio [kg] 2434 Momento flettente [kg•m] 1006.010  
 Rapporto x/d = 0.12099  
**Verifica N/M** S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> = **0.09942**

#### Sezione d'incastro mensola di fondazione a monte (verificata)

Caratteristiche	L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm²]	A' [cm²]
	0.350	100.0	40.0	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54

Condizioni più gravose (Combinazione 5)  
 Compressione terreno estremo di monte σ<sub>m</sub> = 1141 kg/m²  
 Compressione terreno all'incastro σ<sub>i</sub> = 2710 kg/m²  
 Lunghezza zona compressa L<sub>c</sub> = 0.350 m  

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]
--------------------	------------	-------------	----------------

Forza di compressione terreno	-674	0.151	-101.914
Peso della mensola	200	0.250	50.000
Peso del terreno	629	0.250	157.250
Peso dei sovraccarichi	48	0.250	12.000
Inerzia verticale (terreno e cls)	40	0.250	10.050
Sforzo di taglio [kg]	Momento flettente [kg•m]		
-243	-127.387		
Rapporto x/d = 0.12099			
<b>Verifica N/M</b>	<b>S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> = 0.01259</b>		

### Computo materiali

I valori riportati sono riferiti all'intera estensione del muro, pari a 20.00 metri.

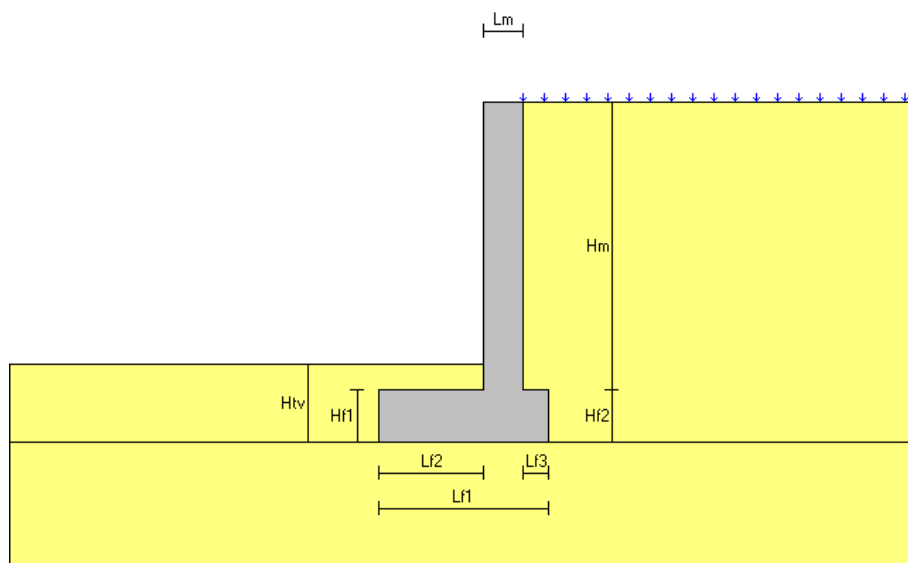
#### Volumi del calcestruzzo

Mensola in elevazione	10.20 m <sup>3</sup>
Soletta di fondazione	8.80 m <sup>3</sup>
Volume totale	19.00 m <sup>3</sup>

#### Pesi dei ferri di armatura

Mensola in elevazione	957.98 Kg
Soletta di fondazione	513.02 Kg
Peso totale	1471.01 Kg

**INTERVENTO C – MURO DI SOSTEGNO H CM 220**  
**Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018**



**Descrizione dell'opera**

Tipo di opera:	muro in calcestruzzo armato
Tipo di sovrastruttura:	paramenti piani
Tipo di fondazione:	piana orizzontale

**Caratteristiche geometriche**

Mensola in elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	2.200 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	0.300 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	0.300 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	0.00 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

Soletta di fondazione

Estensione	$E_f =$	20.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	1.300 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	0.800 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.400 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.200 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.400 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.600 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	0.00 °

Angolo di inclinazione terrapieno

$\alpha =$	0.00 °
------------	--------

**Materiali utilizzati**

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	2500 kg/m <sup>3</sup>
<u>Caratteristiche calcestruzzo</u>		
Classe di resistenza		C25/30
Resistenza caratteristica	$R_{ck} =$	300 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	141 Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Caratteristiche armature</u>		
Tipo acciaio		B 450 C
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	3913 Kg/cm <sup>2</sup>

**Caratteristiche geotecniche dei terreni**

Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_v =$	33.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.00 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_f =$	37.00 °
Coesione	$c'_f =$	0 kg/m <sup>2</sup>

Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	1850 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\varphi_m =$	37.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	24.67 °
Coesione	$c'_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>

**Carichi applicati**

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

Uniforme a valle del muro	$G1_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G1_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G1_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G1n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G1n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente non strutturale

Uniforme a valle del muro	$G2_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G2_{um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G2_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G2n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G2n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo variabile

Uniforme a valle del muro	$Q_{uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$Q_{um} =$	400 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$Q_{nm} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{Qn} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{Qn} =$	0.000 m

**Normativa**

Le verifiche geotecniche e di resistenza vengono eseguite secondo i dettami del D.M. 17 gennaio 2018: la verifica di stabilità globale viene effettuata secondo l'approccio DA1-C2 (A2+M2+R2) mentre le rimanenti verifiche (scorrimento, carico limite, ribaltamento e di resistenza) vengono effettuate secondo l'approccio DA2 (A1+M1+R3). Le verifiche per azioni sismiche vengono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

#### Parametri per la determinazione dei carichi derivanti da sisma

Località:	BRENO (BS)
Vita nominale	$V_N = 50$ anni
Tipo di costruzione	tipo = 2
Classe d'uso	$Cl_U = II$
Coefficiente d'uso	$C_U = 1.0$
Periodo di riferimento	$V_R = 50$ anni
Probabilità di superamento	$P_{VR} = 10\%$
Periodo di ritorno	$T_R = 475$ anni
Fattore di amplificazione spettrale massima	$F_o = 2.6100$
Accelerazione orizzontale massima	$a_g = 0.0764$ g
Categoria di sottosuolo	suolo = A
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S = 1.00000$
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima	
verifiche locali	$\beta_m^* = 1.00000$
verifica di stabilità globale	$\beta_s = 0.20000$
Categoria topografica	$C_T = T2$
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T = 1.20000$
Coefficienti sismici per le verifiche locali	
orizzontale	$k_h = 0.09168$
verticale	$k_v = 0.04584$
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale	
orizzontale	$k_h = 0.01834$
verticale	$k_v = 0.00917$

\* Il muro non è in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

#### Coefficienti parziali per le azioni

Tipo CMB	$\gamma_{G1max}$	$\gamma_{G1min}$	$\gamma_{G2max}$	$\gamma_{G2min}$	$\gamma_Q/\psi/2i$
DA2 (A1)	1.30	1.00	1.50	0.80	1.50
DA1-C2 (A2)	1.00	1.00	1.30	0.80	1.30
SIS	1.00	-	1.00	-	0.60

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tipo CMB	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_\gamma$
DA2 (M1)	1.00	1.00	1.00
DA1-C2 (M2)	1.25	1.25	1.00
SIS	1.00	1.00	1.00

#### Coefficienti per la determinazione delle masse sismiche

Carichi permanenti strutturali G1	$\gamma_{G1} = 1.00$
Carichi permanenti non strutturali G2	$\gamma_{G2} = 1.00$
Carichi variabili Q	$\psi_{EI} = 0.60$

#### Coefficienti parziali per le verifiche

Verifica	DA2 (R3)	DA1-C2 (R2)	SIS
Capacità portante fondazione	1.40	-	(R3) 1.20
Scorrimento	1.10	-	(R3) 1.00
Ribaltamento	1.15	-	(R3) 1.00
Stabilità globale	-	1.10	(R2) 1.20

#### Combinazioni per le verifiche locali e di resistenza

CMB	Tipo	$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_Q$	$\gamma_{E1}$ <sup>1</sup>
1	DA2	1.30	1.50	1.50	0.00
2	DA2	1.30	1.50	0.00	0.00
3	DA2	1.00	1.50	1.50	0.00
4	DA2	1.00	1.50	0.00	0.00
5	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00
6	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00

<sup>1</sup> Il segno di  $\gamma_E$  indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo ↓ e negativo ↑.

#### Verifiche di stabilità dell'opera

##### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)	
Spinta attiva	$K_{AS} = 0.2257$
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)	
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.2823$
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso	
Spinta attiva	$K_{AD} = 0.2769$

##### Valori della spinta attiva del terreno di monte per metro di estensione del muro

Altezza di calcolo					H <sub>t</sub> = 2.600 m							
Le spinte sono espresse in <u>chilogrammi</u> e le coordinate in <u>metri</u> .												
CMB	S <sub>S,X</sub>	S <sub>S,Y</sub>	Y <sub>S</sub>	X <sub>S</sub>	S <sub>D,X</sub>	S <sub>D,Y</sub>	Y <sub>D</sub>	X <sub>D</sub>	S <sub>T,X</sub>	S <sub>T,Y</sub>	Y <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>
1	1987	913	0.936	1.100	-	-	-	-	1987	913	0.936	1.100
2	1667	766	0.867	1.100	-	-	-	-	1667	766	0.867	1.100
3	1602	736	0.953	1.100	-	-	-	-	1602	736	0.953	1.100
4	1282	589	0.867	1.100	-	-	-	-	1282	589	0.867	1.100
5	1410	648	0.906	1.100	399	183	1.300	1.100	1810	831	0.993	1.100
6	1410	648	0.906	1.100	273	125	1.300	1.100	1684	773	0.970	1.100

##### Legenda

$S_{S,X}$ , $S_{D,X}$ , $S_{T,X}$	componente orizzontale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$S_{S,Y}$ , $S_{D,Y}$ , $S_{T,Y}$	componente verticale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$Y_S$ , $Y_D$ , $Y_T$	ordinata del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
$X_S$ , $X_D$ , $X_T$	ascissa del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
(le coordinate del punto di applicazione sono riferite al piede di valle della fondazione)	

##### Forze d'inerzia per metro di estensione del muro

Componente orizzontale forza d'inerzia	$F_{I,X} = 349$ kg
Ordinata del punto di applicazione della forza	$Y_I = 1.071$ m
Componente verticale forza d'inerzia	$F_{I,Y} = \pm 175$ kg
Ascissa del punto di applicazione della forza	$X_I = 0.904$ m

#### Verifica a ribaltamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica si considerano positive le forze verticali dirette verso il basso, le forze orizzontali dirette verso monte e i momenti aventi senso orario: se il momento ribaltante risulta positivo (quindi stabilizzante) viene posto pari a zero. Vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 6.

##### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 6)

Il centro di rotazione coincide con il piede di valle della soletta di fondazione.

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg·m]
Peso del muro ( $P_M$ )	2950	0.818	2412.500
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	814	1.200	976.800
Peso del terreno a valle ( $P_{TV}$ )	296	0.400	118.400
Peso dei sovraccarichi uniformi a monte ( $P_{SM}$ )	48	1.200	57.600
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-175	0.904	-158.006
<b>Momento stabilizzante (<math>M_{STAB}</math>)</b>			<b>3407.294</b>

Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	-1684	0.970	-1632.880
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	773	1.100	850.600
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	-349	1.071	-374.128
<b>Momento ribaltante (<math>M_{RIB}</math>)</b>			<b>-1156.408</b>

$$\text{Coefficiente di sicurezza al ribaltamento} \quad C_{RIB} = (M_{STAB} / R) / |M_{RIB}| = 2.94645$$

#### Verifica a schiacciamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 6.

##### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 5)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kg]
---	------------

Peso del muro (P <sub>M</sub> )	2950
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	814
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	296
Peso dei sovraccarichi uniformi a monte (P <sub>SM</sub> )	48
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	0
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	175
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	0
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	831
<b>Carico totale ortogonale al piano di fondazione (N<sub>TOT</sub>)</b>	<b>5114</b>

Momento rispetto al piede di valle (M<sub>TOT</sub> = M<sub>STAB</sub> + M<sub>RIB</sub>) 2466.775 kg•m

Distanza carico dal piede di valle (d<sub>N</sub> = M<sub>TOT</sub> / N<sub>TOT</sub>) 0.482 m  
 Eccentricità del carico (e<sub>N</sub> = |L<sub>F1</sub> / 2 - d<sub>N</sub>|) 0.168 m  
 (Il punto di applicazione del carico è **interno** al terzo medio)

Compressione all'estremo di valle (σ<sub>v</sub>) 6977 kg/m<sup>2</sup>  
 Compressione all'estremo di monte (σ<sub>m</sub>) 890 kg/m<sup>2</sup>  
 Ampiezza della zona compressa (B<sub>comp</sub>) 1.300 m  
 Compressione limite (σ<sub>L</sub>) 30879 kg/m<sup>2</sup>

**Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento** C<sub>SCH</sub> = ( σ<sub>L</sub> / R ) / σ<sub>max</sub> = **3.68806**

#### Verifica a scorrimento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 6. Il coefficiente di attrito per il terreno di fondazione è f<sub>t</sub> = tan(φ<sub>t</sub>) / γ<sub>φ</sub> = 0.75355.

#### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 6)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	2950	0
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	814	0
Peso del terreno a valle (P <sub>TV</sub> )	296	0
Peso dei sovraccarichi uniformi a monte (P <sub>SM</sub> )	48	0
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	0	349
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-175	0
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	0	1684
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	773	0
<b>Carico totale (Σ<sub>L</sub> , Σ<sub>II</sub>)</b>	<b>4707</b>	<b>2033</b>

**Coefficiente di sicurezza allo scorrimento** C<sub>Sco</sub> = ( Σ<sub>L</sub> • f<sub>t</sub> / R ) / Σ<sub>II</sub> = **1.74451**

#### Verifica delle armature

La verifica viene effettuata considerando lo stato limite ultimo, pertanto, si eseguono i seguenti controlli:

- Verifica N/M: si visualizza il valore del rapporto S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> ottenuto con incremento proporzionale delle sollecitazioni (S<sub>d</sub> = sollecitazione di progetto derivante da N e M, S<sub>u</sub> = sollecitazione ultima);
- Verifica (25): si visualizza il valore del rapporto N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub>, dove N<sub>u</sub> viene ottenuto con riduzione del 25% di f<sub>cd</sub> (N<sub>d</sub> = sollecitazione normale di progetto, N<sub>u</sub> = sollecitazione normale ultima).

Entrambi i valori dei rapporti devono essere minori o uguali a 1 affinché la verifica sia superata.

Si riporta inoltre il valore del rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile della sezione (rapporto x/d) alla rottura della sezione (per sola flessione).

Le sollecitazioni riportare si riferiscono ad un tratto di muro di estensione 1 m.

#### Mensola in elevazione

Le quote delle sezioni sono riferite allo spiccatto di fondazione.

#### Sezione 1 (verificata)

Caratteristiche	Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A' <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]
	1.467	100.0	30.0	(1 Ø 14 / 30 cm) 5.13	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24

Condizioni più gravose (Combinazione 5)  
 Sforzo normale (N) [kg] Sforzo di taglio (T) [kg] Momento flettente (M) [kg•m]  
 575 253 80.114

Rapporto x/d = 0.13015

**Verifica N/M** S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> = **0.00500**  
**Verifica (25)** N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub> = **0.00185**

#### Sezione 2 (verificata)

Caratteristiche	Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A' <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]
	0.733	100.0	30.0	[(1 Ø 14 + 1 Ø 10) / 30 cm] 7.75	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24

Condizioni più gravose (Combinazione 5)  
 Sforzo normale (N) [kg] Sforzo di taglio (T) [kg] Momento flettente (M) [kg•m]  
 1150 767 462.553

Rapporto x/d = 0.15381

**Verifica N/M** S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> = **0.04436**  
**Verifica (25)** N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub> = **0.00359**

#### Sezione 3 (verificata)

Caratteristiche	Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A' <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]
	0.000	100.0	30.0	(1 Ø 14 / 15 cm) 10.26	(1 Ø 10 / 15 cm) 5.24

Condizioni più gravose (Combinazione 5)  
 Sforzo normale (N) [kg] Sforzo di taglio (T) [kg] Momento flettente (M) [kg•m]  
 1726 1543 1360.460

Rapporto x/d = 0.17522

**Verifica N/M** S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> = **0.12022**  
**Verifica (25)** N<sub>d</sub>/N<sub>u</sub> = **0.00522**

#### Sezione d'incastro mensola di fondazione a valle (verificata)

Caratteristiche	L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A' <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]
	0.950	100.0	40.0	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54

Condizioni più gravose (Combinazione 5)  
 Compressione terreno estremo di valle σ<sub>v</sub> = 6977 kg/m<sup>2</sup>  
 Compressione terreno all'incastro σ<sub>i</sub> = 2529 kg/m<sup>2</sup>  
 Lunghezza zona compressa L<sub>c</sub> = 0.950 m  

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]
Forza di compressione terreno	-4515	0.549	-2479.397
Peso della mensola	800	0.550	440.000
Peso del terreno	296	0.550	162.800
Inerzia verticale (terreno e cls)	50	0.550	27.632

 Sforzo di taglio [kg] Momento flettente [kg•m]  
 3369 1848.965

Rapporto x/d = 0.12099

**Verifica N/M** S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> = **0.18273**

#### Sezione d'incastro mensola di fondazione a monte (verificata)

Caratteristiche	L <sub>mensola</sub> [m]	B [cm]	H [cm]	A <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A' <sub>r</sub> [cm <sup>2</sup> ]
	0.350	100.0	40.0	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54	(1 Ø 12 / 15 cm) 7.54

Condizioni più gravose (Combinazione 5)  
 Compressione terreno estremo di monte σ<sub>m</sub> = 890 kg/m<sup>2</sup>  
 Compressione terreno all'incastro σ<sub>i</sub> = 2529 kg/m<sup>2</sup>  
 Lunghezza zona compressa L<sub>c</sub> = 0.350 m  

Descrizione carico	Forza [kg]	Braccio [m]	Momento [kg•m]
--------------------	------------	-------------	----------------

Forza di compressione terreno	-598	0.147	-87.988
Peso della mensola	200	0.250	50.000
Peso del terreno	814	0.250	203.500
Peso dei sovraccarichi	48	0.250	12.000
Inerzia verticale (terreno e cls)	49	0.250	12.171
Sforzo di taglio [kg]	-512		
Momento flettente [kg•m]	-189.682		
Rapporto x/d = 0.12099			
<b>Verifica N/M</b>		<b>S<sub>d</sub>/S<sub>u</sub> = 0.01875</b>	

### Computo materiali

I valori riportati sono riferiti all'intera estensione del muro, pari a 20.00 metri.

#### Volumi del calcestruzzo

Mensola in elevazione	13.20 m <sup>3</sup>
Soletta di fondazione	10.40 m <sup>3</sup>
Volume totale	23.60 m <sup>3</sup>

#### Pesi dei ferri di armatura

Mensola in elevazione	1128.15 Kg
Soletta di fondazione	584.58 Kg
Peso totale	1712.73 Kg



---

## RELAZIONE DI CALCOLO INTERVENTO B2

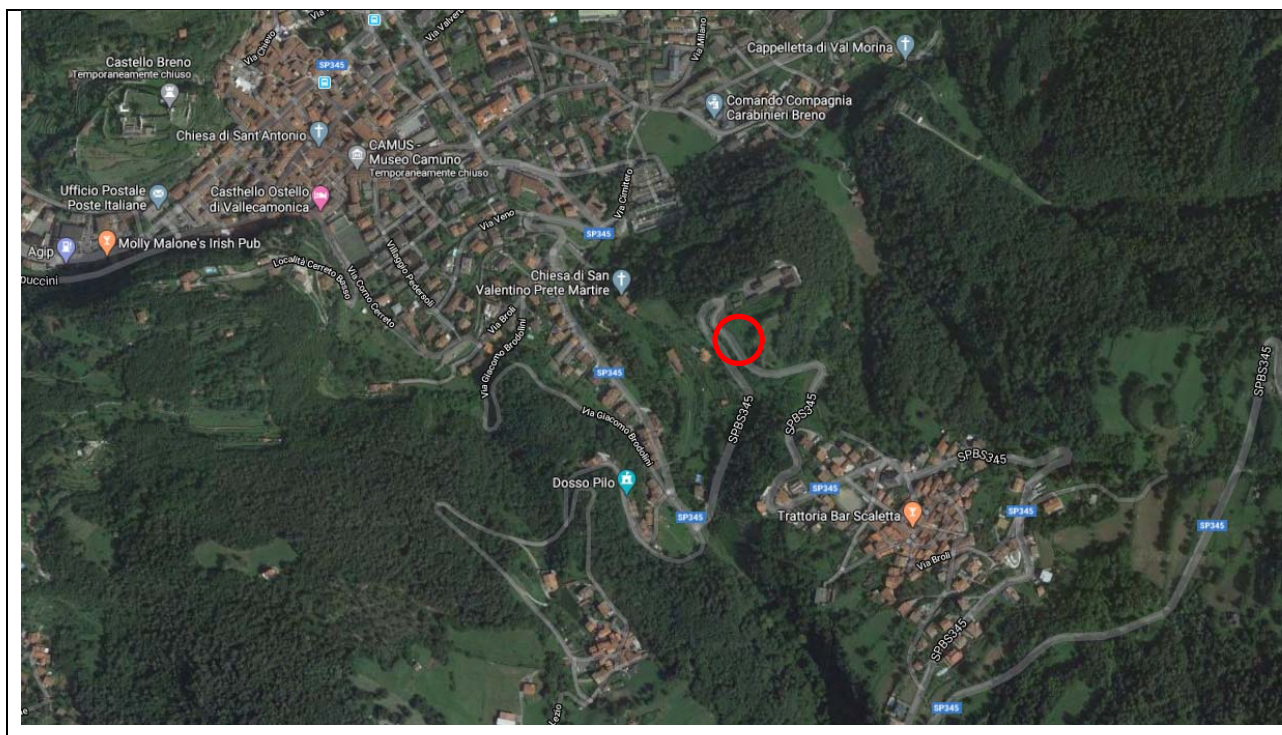
### NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- L. 05-11-71, n. 1086 – “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
  - D.M. LL.PP. del 14-02-92 – “Norme Tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
  - D.M. del 09-01-96 – “Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
  - Circolare Ministeriale del 15-10-96 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. 09-01-96.
  - D.M. del 16-01-96 – Norme Tecniche relative ai “Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”.
  - D.M. del 16-01-96 – “Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche”.
  - Circolare Ministeriale del 10-04-97 N°65/AA.GG. – Istruzioni per l'applicazione delle “Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche” di cui al D.M. 16-01-96.
  - L. 02-02-74, n. 64 – “Provvedimenti per costruzioni con particolari prescrizioni per zone sismiche”.
  - D.M. LL. PP. E INT. 19-06-84 – “Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche”.
  - D.M. LL. PP. 11-03-88 – “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 24-07-88, n. 30483/STC.
  - Legge 02-02-74 n. 64, art. 1 - D.M. 11-03-88 – “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”.
  - UNI EN 1991 - “Eurocodice 1 - Basi di calcolo ed azioni sulle strutture”.
  - UNI EN 1992 - “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo”.
  - UNI EN 1993 - “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio”.
  - UNI EN 1995 - “Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture in legno”.
  - UNI EN 1996 - “Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture di muratura”.
  - UNI EN 1997 - “Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica”.
  - UNI EN 1998 - “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica”.
  - D.M. - gennaio 2008 - “Norme tecniche per le costruzioni”.
  - D.M. - gennaio 2018 – aggiornamento alle “Norme tecniche per le costruzioni”.
  - CIRCOLARE MINISTERIALE del 2 febbraio 2009, n°617 – “Circolare delle Norme tecniche per le costruzioni”.
  - D.G.R. n. 2129/14 – “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia”.
-

- L.R. n. 33/2015 - “Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche”.
- D.G.R. n. 5001/16 – “Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica”.

## DATI E CARATTERISTICHE DELL’OPERA

Progetto definitivo degli interventi di adeguamento e messa in sicurezza della viabilità di collegamento tra il capoluogo e le frazioni. Oggetto della relazione è l’intervento da effettuare nel lotto B1 - B2, sistemazione del cordolo stradale.



Struttura portante composta dalle seguenti unità tecnologiche:

- Fondazioni: Pali infissi con roto-percussione in carpenteria metallica e riempimento in boiacca di cemento.
- Struttura di elevazione orizzontale: cordolo di fondazione in c.a.

## RELAZIONE GEOTECNICA

Caratteristiche meccaniche progettuali del terreno, tipo di fondazioni adottate e decisioni progettuali assunte dopo lo studio delle relazioni sotto citate:

- Relazione geologica a firma del Dott. Geol. Filippo Pezzotti, datata gennaio 2020.

### Caratteristiche e sismicità del sito

Regione	Lombardia
Provincia	Brescia

Comune	Breno
Zona sismica amministrativa	Zona sismica 3 (zona a bassa sismicità)
Posizione sito (WGS84)	Lat. 45.952513 – Long. 10.309360
Categoria del suolo	C
Categoria topografica	T3
Altezza sul livello del mare	450 m s.l.m.

Ricerca del sito

☒ Ricerca per coordinate  
☐ Ricerca per comune  
☐ Isole

Longitudine

10,3094

Latitudine

45,9525

Parametri interpolati

TR	ag	Fo	Tc*
30	0,029	2,498	0,195
50	0,036	2,555	0,211
72	0,040	2,568	0,228
101	0,046	2,553	0,242
140	0,052	2,577	0,255
201	0,058	2,605	0,270
475	0,077	2,605	0,291
975	0,097	2,601	0,306
2475	0,131	2,605	0,321

Nodi del reticolo

OK

Cancel

### Estratto relazione geologica

... “Nel corso dei rilievi di campagna non sono state riscontrate problematiche di natura gravitativa che possano compromettere l’equilibrio geostatico dei quattro ambiti areali oggetto del presente studio, ad accezione del dissesto franoso attivo che interessa la porzione sud-orientale dell’area di intervento B.

Il fenomeno gravitativo in questione ha coinvolto il settore di valle di un tratto della sede viaria, che per una lunghezza di circa 15÷16 m presenta fenditure beanti del manto stradale dovute al progressivo e continuo cedimento del terreno.

Per arrestare questo evento franoso, che se lasciato al suo naturale evolvere tenderà a coinvolgere porzioni sempre più ampie della sede viaria, in relazione ai numerosi e vitali sottoservizi che corrono al di sotto del manto stradale si dovrà procedere alla realizzazione di una palificata collegata, in testa, da un cordolo in cemento armato.” ...

### Fondazioni e scelte progettuali

La scelta per la stabilizzazione della sede viaria ricade sulla realizzazione di un cordolo di fondazione in testa a micropali.

In assenza di indagini geognostiche e geomeccaniche più approfondite non è possibile il calcolo corretto relativo a numero, passo e profondità dei pali. Pali in acciaio e riempiti di boiaccia di cls, infissi per roto-percussione nel terreno, Øest. mm.168,3 sp. mm.8, lunghezza indicativa m.15.

Il calcolo dei pali verrà effettuato esclusivamente a taglio stimando la spinta del terreno sul cordolo di fondazione.

## MATERIALI DA COSTRUZIONE

### Calcestruzzo C25/30 – strutture di fondazione

Resistenza caratteristica	$R_{ck} = 30 N / mm^2$
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 24,90 N / mm^2$
Resistenza di progetto	$f_{cd} = \alpha \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \cdot \frac{24,90}{1,5} = 14,11 N / mm^2$
Modulo di elasticità	$E_c = 9,5(f_{ck} + 8)^{1/3} = 30,44 KN / mm^2$

### Armatura B450C ad aderenza migliorata

Tensione di snervamento caratteristico	$f_{yk} = 450 N / mm^2$
Tensione di snervamento di progetto	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1,15} = 391,30 N / mm^2$
Modulo di elasticità	$E = 210000 N / mm^2$

### Acciaio da carpenteria S275

Tensione di rottura caratteristico	$f_{tk} = 430 N / mm^2$
Tensione di snervamento caratteristico	$f_{yk} = 275 N / mm^2$
Tensione di snervamento di progetto	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{275}{1,05} = 261,90 N / mm^2$
Modulo di elasticità	$E = 210000 N / mm^2$

### Bulloni classe 8.8 e saldatura

Tensione di rottura bulloni	$f_{tb} = 800 N / mm^2$
Tensione di snervamento bulloni	$f_{yb} = 640 N / mm^2$
Coefficiente parziale di sicurezza bulloni	$\gamma_m = 1,25$
Resistenza di progetto saldatura S275	$f_{vw,d} = 233,70 N / mm^2$

## VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E METODO DI CALCOLO

Le strutture in questione rientrano in una classe d'uso III con una vita nominale  $\geq 75$  anni.

---

Il dimensionamento e le verifiche strutturali sono state effettuate con il metodo semiprobabilistico agli stati limite. Le sollecitazioni teoriche di progetto sono state calcolate tramite analisi statiche e statiche-equivalenti di tipo elastico-lineare, senza ridistribuzione di sollecitazioni, utilizzando i principi della scienza delle costruzioni.

Le analisi numeriche sono state svolte con l'ausilio di elaboratore elettronico.

## SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI NELLA PROGETTAZIONE

- "Trave ad 1 campata" versione 5.4 - 24 settembre 2006 – Prof. Ing. Piero Gelfi
- "Trave continua" versione 7.4 - 11 ottobre 2009 – Prof. Ing. Piero Gelfi
- "Database Profilati" versione 7.7 – 21 aprile 2009 – Prof. Ing. Piero Gelfi
- "SIMQKE\_GR" versione 2.3 - 18 novembre 2009 – Prof. Ing. Piero Gelfi

## ANALISI E COMBINAZIONE DEI CARICHI

Copertura		
Peso permanente strutturale	G1	-
Peso permanente	G2	-
Variabile strada	Q	20,00 kN/mq

Combinazione di carico per carichi verticali (tabella generica e riassuntiva delle combinazioni principali)					
Carichi	SLU	SLE rara	SLE quasi permanente	SLV	Durata del carico
G1	1,3	1	1	1	Permanente
G2	1,5	1	1	1	Permanente
Q	1,5	1	0,3	0,3	Media

## ANALISI SISMICA

### Pericolosità sismica del sito

Regione	Lombardia
Provincia	Brescia
Comune	Breno
Zona sismica amministrativa	Zona sismica 3 (zona a bassa sismicità)
Posizione sito (WGS84)	Lat. 45.952513 – Long. 10.309360

---

Categoria del suolo	C	
Categoria topografica	T3	
Vita nominale della costruzione	≥ 50 anni	paragrafo 2.4.1 NTC2018
Classe d'uso della costruzione	III	paragrafo 2.4.2 NTC2018
Coefficiente d'uso della costruzione	1,5	paragrafo 2.4.2 NTC2018
Periodo di riferimento	75 anni	

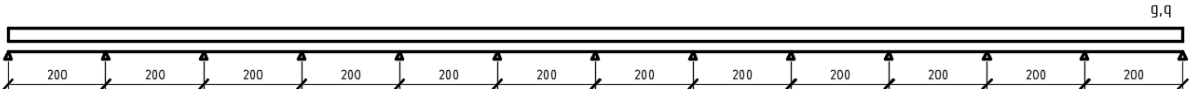
### Verifica sismica

Per considerare l'effetto del sisma sui pali si considera un coefficiente amplificativo del carico orizzontale pari a  $S_s \times S_t$   
 $= 1,5 \times 1,2 = 1,8$

## VERIFICHE STRUTTURALI

### Cordolo C001 (70x50)

Il cordolo viene caricato lateralmente da 1,00m di terreno con peso 18kN/mc e angolo di taglio di 30°.

Modello di calcolo:				
				
Carichi	Unità di misura	SLU	SLE rara	SLE q.p.
<b>g+q</b>	kN/m	34,20	19,00	15,00

Sezione più sollecitata 50x70 – Armatura tesa 3φ16 con copriferro 4cm – Staffe φ10/20								
Verifica	Msd (kNm)	Vsd (kN)	Mrd (kNm)	Vrcd (kN)	Vrdst (kN)	σc (kg/cmq)	σs (kg/cmq)	freccia (mm)
SLU	14,45	41,43	147,40	1047,7	183,60	-	-	-
SLErara	8,03	-	-	-	-	3,98	223,10	-
SLEq.p.	6,35	-	-	-	-	3,15	176,40	-

### Palo in acciaio a taglio

Forza orizzontale per palo	77,56kN
----------------------------	---------

---

I pali sono infissi nel terreno e sporgono dal terreno per la quota sufficiente per l'innesto nel blocco di cls. La verifica si effettua sulla resistenza a taglio della sola sezione in acciaio del palo.

Per la verifica delle membrature utilizziamo la verifica in campo elastico, ammessa per tutti i tipi di sezione. Tale verifica (criterio di resistenza di Huber-Hencky-Von-Mises) è sempre a favore di stabilità rispetto alla verifica alla stato limite plastico ed è più generale.

$$\sigma_{id,max} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} < f_{yd} = 261,90 N/mm^2$$

Forza orizzontale per palo	77,56kN
Area di taglio del palo	Av=25,60cmq
Tensio di taglio $\tau$	302,97kg/cm <sup>2</sup> = 30,30N/mm <sup>2</sup>

La verifica risulta soddisfatta.

## CONCLUSIONI

In assenza di indagini geognostiche e geomeccaniche più approfondite non è possibile il calcolo corretto relativo a numero, passo e profondità dei pali. Pali in acciaio e riempiti di boiaccia di cls, infissi per roto-percussione nel terreno, Øest. mm.168,3 sp. mm.8, lunghezza indicativa m.15.

Tutte le strutture risultano verificate con adeguato margine di sicurezza. Per tutti gli elementi non riportati in relazione la metodologia di verifica è analoga a quella sopra esposta, pertanto si rimanda alle tavole esecutive allegate al presente progetto.

---