



PROVINCIA DI GROSSETO  
Area Viabilità e Trasporti

Oggetto:

03861 - S.P. 125 Montorsaio - Progetto per la messa in sicurezza della strada mediante installazione di barriere metalliche tra la progressiva km 01+000 e km 03+500

S.P. N° 125 "MONTORSAIO"

TAV. n°

**R04.2**

Relazione tecnica strutturale  
Relazione di calcolo  
Fascicolo dei calcoli

SCALA:

Progettista:

Ing. Lorenzo SARTINI  
Via Tagliamento n°18 - 58100 Grosseto  
Cod.Fisc. SRT LNZ 72M18 E2020

Responsabile Unico del Procedimento:

Ing. Alessandro VICHI

DATA :	Agg. :	
Dicembre 2019	Emissione	
Giugno 2020	Aggiornamento	

## Relazione tecnica strutturale

La presente relazione tecnica descrive le opere necessarie per l'allargamento della banchina stradale lungo la strada provinciale SP 125 Montorsaio, al fine di permettere l'installazione di una barriera metallica di sicurezza lungo il lato di valle della strada.

Il dispositivo di ritenuta scelto è una barriera metallica doppia onda classe di contenimento H1, avente una larghezza operativa testata pari a  $W3 = 1.00$  m, e omologata per essere installata bordo laterale con un arginello di larghezza minimo 30 cm.

La strada SP 125 Montorsaio per alcuni tratti presenta una banchina di dimensioni ridotte, quindi insufficienti per permettere la corretta installazione del dispositivo di ritenuta; da ciò nasce l'esigenza di allargare la banchina stradale di una larghezza tale da permettere l'installazione della barriera.

L'allargamento della banchina sarà ottenuto utilizzando dei gabbioni metallici da posizionare lungo la scarpata di valle, in modo tale da permettere un riempimento e conseguire l'allargamento desiderato. I gabbioni non fungeranno quindi da opera di contenimento del terreno, in quanto sia la strada, sia la scarpata, risultano stabili e non vi sono movimenti franosi in atto, ma saranno solo funzionali al montaggio della barriera metallica.

È previsto che saranno realizzati 10 tratti di gabbionate, di lunghezza variabile da un minimo di 14.00 m ad un massimo di 102.00 m, le cui altezze saranno variabili da 1.00 a 2.00 m. I gabbioni utilizzati saranno del tipo scatolare di dimensioni 1.00x1.00x2.00 m, riempiti con pietrame di pezzatura variabile da 15 a 25 cm, per un peso specifico di 1800 kg/mc.

Ai sensi della Delibera di Giunta Regione Toscana n. 663/2019, l'opera è tra quelle definite "prive di rilevanza" nei riguardi della pubblica incolumità (art. 94 bis comma 1 lett. c); tale intervento ricade tra quelli descritti al punto A.4 dell'allegato B alla Delibera 633/2019, ovvero:

*A.4 Gabbionate, muri cellulari, terre rinforzate con tutte le seguenti caratteristiche:*

- *altezza inferiore a 4 m;*
- *inclinazione media del terrapieno sull'orizzontale < 15°;*
- *non siano presenti carichi permanenti direttamente agenti sul cuneo di spinta;*
- *l'eventuale collasso non pregiudichi il funzionamento di infrastrutture esistenti a monte o a valle.*

Ai sensi dell'art. 40 della Legge Regione Toscana n. 69 del 22/11/2019, pubblicata sul BURT n. 53 del 25/11/2019 Parte Prima, che introduce l'art. 170 bis nella LR 65/2014, **"le opere e gli interventi "privi di rilevanza" (allegato B della Delibera 633/2019) sono depositati al comune insieme alla pratica edilizia"**.

Tale intervento quindi non è più soggetto al deposito al Genio Civile.

Di seguito si riporta la relazione di calcolo ed il fascicolo di calcolo per le tipologie di gabbionate previste, ovvero tipologia 1 gabbionata altezza 1.00 m, tipologia 2 gabbionata altezza 2.00 m senza riseghe; tipologia 3 gabbionata altezza 2.00 m con risega di larghezza 1.00 m alla base.

## Relazione di calcolo – Fascicolo dei calcoli

### Tipologia 1: gabbionata altezza 1.00 m

### Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018

#### Descrizione dell'opera

Tipo di opera:	muro a gravità
Tipo di sovrastruttura:	paramenti piani
Tipo di fondazione:	piana orizzontale

#### Caratteristiche geometriche

##### Elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	1.000 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	1.000 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	1.000 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	0.00 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

##### Fondazione

Estensione	$E_f =$	10.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	1.000 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	0.000 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.010 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.000 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.010 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.010 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	0.00 °

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

#### Materiali utilizzati

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	1800 kg/m <sup>3</sup>
-------------------------	--------------	------------------------

#### Caratteristiche geotecniche dei terreni

##### Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	2000 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_v =$	34.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.67 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

##### Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	2000 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_f =$	34.00 °
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	$\phi_m =$	27.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	18.00 °

Coesione  $c'_m = 0 \text{ kg/m}^2$

## Carichi applicati

### Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

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

### Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente non strutturale

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

### Carichi distribuiti sul terreno di tipo variabile

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

## 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:

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	$F_o =$	2.5000
Accelerazione orizzontale massima	$a_g =$	0.1174 g
Categoria di sottosuolo	suolo =	B
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S =$	1.20000
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima		
verifiche locali	$\beta_m^* =$	1.00000
verifica di stabilità globale	$\beta_s =$	0.24000
Categoria topografica	$C_T =$	T2
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T =$	1.20000
Coefficienti sismici per le verifiche locali		
orizzontale	$k_h =$	0.16906
verticale	$k_v =$	0.08453
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale		
orizzontale	$k_h =$	0.04057
verticale	$k_v =$	0.02029

\* 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  $\Downarrow$  e negativo  $\Uparrow$ .

### **Verifiche di stabilità dell'opera**

#### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)		
Spinta attiva	$K_{AS} =$	0.3340
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)		
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto		
Spinta attiva	$K_{AD} =$	0.4863
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso		
Spinta attiva	$K_{AD} =$	0.4573

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

Altezza di calcolo  $H_t = 1.010$  m

Le spinte sono espresse in chilogrammi e le coordinate in metri.

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	390	127	0.337	1.000	-	-	-	-	390	127	0.337	1.000
2	300	97	0.337	1.000	-	-	-	-	300	97	0.337	1.000
3	300	97	0.337	1.000	145	47	0.505	1.000	445	145	0.392	1.000
4	300	97	0.337	1.000	100	32	0.505	1.000	400	130	0.379	1.000

#### 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	$F_{I,X} =$	307 kg
Ordinata del punto di applicazione della forza	$Y_I =$	0.505 m

Componente verticale forza d'inerzia	$F_{I,Y} =$	$\pm 154$ kg
Ascissa del punto di applicazione della forza	$X_I =$	0.500 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 ( $P_M$ )	1818	0.500	909.000
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-154	0.500	-76.836
<b>Momento stabilizzante (<math>M_{STAB}</math>)</b>			<b>832.164</b>
Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	-400	0.379	-151.308
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	130	1.000	129.812
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	-307	0.505	-155.209
<b>Momento ribaltante (<math>M_{RIB}</math>)</b>			<b>-176.704</b>

#### Coefficiente di sicurezza al ribaltamento

$$C_{RIB} = (M_{STAB} / R) / |M_{RIB}| = 4.70936$$

#### 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	CMB 1			CMB 2			CMB 3		
	F	B	M	F	B	M	F	B	M
$P_M$	2363	0.500	1181.700	1818	0.500	909.000	1818	0.500	909.000
$F_{I,Y}$	-	-	-	-	-	-	154	0.500	76.836
<b><math>M_{STAB}</math></b>			<b>1181.700</b>			<b>909.000</b>			<b>985.836</b>
$S_{T,X}$	-390	0.337	-131.170	-300	0.337	-100.900	-445	0.392	-174.315
$S_{T,Y}$	127	1.000	126.594	97	1.000	97.380	145	1.000	144.615
$F_{I,X}$	-	-	-	-	-	-	-307	0.505	-155.209
<b><math>M_{RIB}</math></b>			<b>-4.577</b>			<b>-3.521</b>			<b>-184.909</b>
<b><math>C_{RIB}</math></b>		<b>224.51590</b>			<b>224.51510</b>			<b>5.33148</b>	

### 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 4)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kg]
Peso del muro ( $P_M$ )	1818
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	0
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-154
Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	0
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	130
<b>Carico totale ortogonale al piano di fondazione (<math>N_{TOT}</math>)</b>	<b>1794</b>

Momento rispetto al piede di valle ( $M_{TOT} = M_{STAB} + M_{RIB}$ ) 655.460 kg•m

Distanza carico dal piede di valle ( $d_N = M_{TOT} / N_{TOT}$ ) 0.365 m

Eccentricità del carico ( $e_N = |L_{f1} / 2 - d_N|$ ) 0.135 m

(Il punto di applicazione del carico è **interno** al terzo medio)

Compressione all'estremo di valle ( $\sigma_v$ )	3244 kg/m <sup>2</sup>
Compressione all'estremo di monte ( $\sigma_m$ )	344 kg/m <sup>2</sup>
Ampiezza della zona compressa ( $B_{comp}$ )	1.000 m
Compressione limite ( $\sigma_L$ )	6943 kg/m <sup>2</sup>

**Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento**

$$C_{SCH} = (\sigma_L / R) / \sigma_{max} = 1.78367$$

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
P <sub>M</sub> [kg]	2363	1818	1818
F <sub>I,X</sub> [kg]	-	-	0
F <sub>I,Y</sub> [kg]	-	-	154
S <sub>T,X</sub> [kg]	0	0	0
S <sub>T,Y</sub> [kg]	127	97	145
<b>N<sub>TOT</sub> [kg]</b>	<b>2490</b>	<b>1915</b>	<b>2116</b>
M <sub>TOT</sub> [kg•m]	1177.123	905.479	800.927
d <sub>N</sub> [m]	0.473	0.473	0.378
e <sub>N</sub> [m]	0.027	0.027	0.122
Pos <sub>N</sub>	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.
σ <sub>v</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	2897	2229	3660
σ <sub>m</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	2083	1602	573
B <sub>comp</sub> [m]	1.000	1.000	1.000
σ <sub>L</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	23207	23207	8587
<b>C<sub>SCH</sub></b>	<b>5.72151</b>	<b>7.43796</b>	<b>1.95535</b>

**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  $f_t = \tan(\phi_f) / \gamma_\phi = 0.67451$ .

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 4)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	1818	0
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	0	307
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-154	0
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	0	400
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	130	0
<b>Carico totale (Σ<sub>L</sub>, Σ<sub>  </sub>)</b>	<b>1794</b>	<b>707</b>

**Coefficiente di sicurezza allo scorrimento**

$$C_{SCO} = (\Sigma_L \cdot f_t / R) / \Sigma_{||} = 1.71201$$

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<sub>⊥</sub> [kg]) e tangenziali (F<sub>||</sub> [kg]) al piano di scorrimento.

CAR	CMB 1		CMB 2		CMB 3	
	F <sub>⊥</sub>	F <sub>  </sub>	F <sub>⊥</sub>	F <sub>  </sub>	F <sub>⊥</sub>	F <sub>  </sub>
P <sub>M</sub>	2363	0	1818	0	1818	0
F <sub>I,X</sub>	-	-	-	-	0	307
F <sub>I,Y</sub>	-	-	-	-	154	0
S <sub>T,X</sub>	0	390	0	300	0	445
S <sub>T,Y</sub>	127	0	97	0	145	0
<b>Σ</b>	<b>2490</b>	<b>390</b>	<b>1915</b>	<b>300</b>	<b>2116</b>	<b>752</b>
<b>C<sub>SCO</sub></b>	<b>3.91884</b>		<b>3.91884</b>		<b>1.89714</b>	

## Tipologia 2: gabbionata altezza 2.00 m

### Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018

#### Descrizione dell'opera

Tipo di opera:	muro a gravità
Tipo di sovrastruttura:	paramenti piani
Tipo di fondazione:	piana orizzontale

#### Caratteristiche geometriche

##### Elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	2.000 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	1.000 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	1.000 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	0.00 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

##### Fondazione

Estensione	$E_f =$	10.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	1.000 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	0.000 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.010 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.000 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.010 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{fv} =$	0.010 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	0.00 °

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

#### Materiali utilizzati

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	1800 kg/m <sup>3</sup>
-------------------------	--------------	------------------------

#### Caratteristiche geotecniche dei terreni

##### Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	2000 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_v =$	34.18 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.79 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

##### Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	2150 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_f =$	39.18 °
Coesione	$c'_f =$	0 kg/m <sup>2</sup>

##### Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	1900 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_m =$	28.39 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	18.93 °
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:

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	$F_o =$	2.5000
Accelerazione orizzontale massima	$a_g =$	0.1174 g
Categoria di sottosuolo	suolo =	B
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S =$	1.20000
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima		
verifica a scorrimento, carico limite e di resistenza	$\beta_{m1} =$	0.38000
verifica a ribaltamento	$\beta_{m2} =$	0.57000
verifica di stabilità globale	$\beta_s =$	0.24000
Categoria topografica	$C_T =$	T2
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T =$	1.20000
Coefficienti sismici per la verifica a scorrimento, carico limite e di resistenza		
orizzontale	$k_{h1} =$	0.06424
verticale	$k_{v1} =$	0.03212
Coefficienti sismici per la verifica a ribaltamento		
orizzontale	$k_{h2} =$	0.09636
verticale	$k_{v2} =$	0.04818
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale		
orizzontale	$k_h =$	0.04057
verticale	$k_v =$	0.02029

#### 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 <sup>2</sup>	1.00	1.00	0.60	+1.00
4	SIS <sup>2</sup>	1.00	1.00	0.60	-1.00
5	SIS <sup>2</sup>	1.00	1.00	0.60	+1.00
6	SIS <sup>2</sup>	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  $\Uparrow$ .

<sup>2</sup> Per le combinazioni 3 e 4 viene utilizzato il coefficiente  $\beta_{m1}$  mentre per le 5 e 6 il coefficiente  $\beta_{m2}$ .

### **Verifiche di stabilità dell'opera**

#### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)		
Spinta attiva	$K_{AS} =$	0.3165
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)		
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto		
Spinta attiva (coefficiente $\beta_{m1}$ )	$K_{AD} =$	0.3617
Spinta attiva (coefficiente $\beta_{m2}$ )	$K_{AD} =$	0.3886
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso		
Spinta attiva (coefficiente $\beta_{m1}$ )	$K_{AD} =$	0.3587
Spinta attiva (coefficiente $\beta_{m2}$ )	$K_{AD} =$	0.3812

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

Altezza di calcolo  $H_t = 2.010$  m

Le spinte sono espresse in **chilogrammi** e le coordinate in **metri**.

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	1494	512	0.670	1.000	-	-	-	-	1494	512	0.670	1.000
2	1149	394	0.670	1.000	-	-	-	-	1149	394	0.670	1.000
3	1149	394	0.670	1.000	195	67	1.005	1.000	1344	461	0.719	1.000
4	1149	394	0.670	1.000	122	42	1.005	1.000	1271	436	0.702	1.000
5	1149	394	0.670	1.000	302	103	1.005	1.000	1451	497	0.740	1.000
6	1149	394	0.670	1.000	194	66	1.005	1.000	1343	460	0.718	1.000

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

Combinazioni 3 e 4 ( $\beta_1$ )	
Componente orizzontale forza d'inerzia	$F_{I1,X} = 232 \text{ kg}$
Componente verticale forza d'inerzia	$F_{I1,Y} = \pm 116 \text{ kg}$
Combinazioni 5 e 6 ( $\beta_2$ )	
Componente orizzontale forza d'inerzia	$F_{I2,X} = 349 \text{ kg}$
Componente verticale forza d'inerzia	$F_{I2,Y} = \pm 174 \text{ kg}$
Ordinata del punto di applicazione della forza	$Y_I = 1.005 \text{ m}$
Ascissa del punto di applicazione della forza	$X_I = 0.500 \text{ m}$

#### 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 2, la 5 e la 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 ( $P_M$ )	3618	0.500	1809.000
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-174	0.500	-87.159
<b>Momento stabilizzante (<math>M_{STAB}</math>)</b>			<b>1721.841</b>
Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	-1343	0.718	-964.519
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	460	1.000	460.497
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	-349	1.005	-350.381
<b>Momento ribaltante (<math>M_{RIB}</math>)</b>			<b>-854.403</b>

#### Coefficiente di sicurezza al ribaltamento

$$C_{RIB} = (M_{STAB} / R) / |M_{RIB}| = 2.01526$$

#### 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	CMB 1			CMB 2			CMB 5		
	F	B	M	F	B	M	F	B	M
$P_M$	4703	0.500	2351.700	3618	0.500	1809.000	3618	0.500	1809.000
$F_{I,Y}$	-	-	-	-	-	-	174	0.500	87.159
<b><math>M_{STAB}</math></b>			<b>2351.700</b>			<b>1809.000</b>			<b>1896.159</b>
$S_{T,X}$	-1494	0.670	-1000.742	-1149	0.670	-769.802	-1451	0.740	-1072.865
$S_{T,Y}$	512	1.000	512.263	394	1.000	394.048	497	1.000	497.470
$F_{I,X}$	-	-	-	-	-	-	-349	1.005	-350.381
<b><math>M_{RIB}</math></b>			<b>-488.479</b>			<b>-375.753</b>			<b>-925.775</b>
<b><math>C_{RIB}</math></b>		<b>4.18637</b>			<b>4.18637</b>			<b>2.04819</b>	

#### 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 ( $P_M$ )	3618
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	0
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	116
Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	0
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	461
<b>Carico totale ortogonale al piano di fondazione (<math>N_{TOT}</math>)</b>	<b>4195</b>

Momento rispetto al piede di valle ( $M_{TOT} = M_{STAB} + M_{RIB}$ )	1128.572 kg•m
Distanza carico dal piede di valle ( $d_N = M_{TOT} / N_{TOT}$ )	0.269 m
Eccentricità del carico ( $e_N =  L_{f1} / 2 - d_N $ )	0.231 m
(Il punto di applicazione del carico è <b>esterno</b> al terzo medio)	
Compressione all'estremo di valle ( $\sigma_v$ )	10396 kg/m <sup>2</sup>
Compressione all'estremo di monte ( $\sigma_m$ )	0 kg/m <sup>2</sup>
Ampiezza della zona compressa ( $B_{comp}$ )	0.807 m
Compressione limite ( $\sigma_L$ )	13888 kg/m <sup>2</sup>

#### Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento

$$C_{SCH} = (\sigma_L / R) / \sigma_{max} = 1.11324$$

#### 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 4
P <sub>M</sub> [kg]	4703	3618	3618
F <sub>I,X</sub> [kg]	-	-	0
F <sub>I,Y</sub> [kg]	-	-	-116
S <sub>T,X</sub> [kg]	0	0	0
S <sub>T,Y</sub> [kg]	512	394	436
<b>N<sub>TOT</sub> [kg]</b>	<b>5216</b>	<b>4012</b>	<b>3938</b>
M <sub>TOT</sub> [kg•m]	1863.220	1433.247	1060.700
d <sub>N</sub> [m]	0.357	0.357	0.269
e <sub>N</sub> [m]	0.143	0.143	0.231
Pos <sub>N</sub>	i.t.m.	i.t.m.	e.t.m.
σ <sub>v</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	9683	7449	9746
σ <sub>m</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	748	575	0
B <sub>comp</sub> [m]	1.000	1.000	0.808
σ <sub>L</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	27007	27007	13518
<b>C<sub>SCH</sub></b>	<b>1.99218</b>	<b>2.58983</b>	<b>1.15594</b>

#### 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  $f_t = \tan(\phi_f) / \gamma_\phi = 0.81500$ .

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

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	3618	0
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	0	232
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-116	0
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	0	1271
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	436	0
<b>Carico totale (Σ<sub>L</sub>, Σ<sub>  </sub>)</b>	<b>3938</b>	<b>1504</b>

#### Risultante forza di coesione ( $F_c = \frac{2}{3} \cdot (c'_f / \gamma_c) \cdot B \cdot \gamma_G$ )

(dove B = 1.000 m è la distanza tra i piedi di valle e di monte della fondazione)

0

#### Coefficiente di sicurezza allo scorrimento

$$C_{SCO} = [(\Sigma_L \cdot f_t + F_c) / R] / \Sigma_{||} = 2.13450$$

#### 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<sub>⊥</sub> [kg]) e tangenziali (F<sub>||</sub> [kg]) al piano di scorrimento. Il contributo della coesione viene considerato agente per una lunghezza B = 1.000 m.

CAR	CMB 1		CMB 2		CMB 3	
	F <sub>⊥</sub>	F <sub>  </sub>	F <sub>⊥</sub>	F <sub>  </sub>	F <sub>⊥</sub>	F <sub>  </sub>

P <sub>M</sub>	4703	0	3618	0	3618	0
F <sub>I,X</sub>	-	-	-	-	0	232
F <sub>I,Y</sub>	-	-	-	-	116	0
S <sub>T,X</sub>	0	1494	0	1149	0	1344
S <sub>T,Y</sub>	512	0	394	0	461	0
<b>Σ</b>	<b>5216</b>	<b>1494</b>	<b>4012</b>	<b>1149</b>	<b>4195</b>	<b>1577</b>
F <sub>c</sub>		0		0		0
<b>C<sub>sco</sub></b>	<b>2.58718</b>		<b>2.58718</b>		<b>2.16874</b>	

## Tipologia 2: gabbionata altezza 2.00 m con risega di larghezza 1.00 m alla base

### Relazione di verifica muro di sostegno secondo il D.M. 17/01/2018

#### Descrizione dell'opera

Tipo di opera:	muro a gravità
Tipo di sovrastruttura:	paramenti a gradoni con una risega
Tipo di fondazione:	piana orizzontale

#### Caratteristiche geometriche

##### Elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	2.000 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	1.000 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	2.000 m
Spessore della risega	$L_{r1} =$	1.000 m
Altezza della risega	$H_{br1} =$	1.000 m

##### Fondazione

Estensione	$E_f =$	10.000 m
Lunghezza totale	$L_{f1} =$	2.000 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	0.000 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.010 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	0.000 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.010 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.010 m
Inclinazione piano di fondazione	$\Psi_f =$	0.00 °

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

#### Materiali utilizzati

Peso specifico del muro	$\gamma_m =$	1800 kg/m <sup>3</sup>
-------------------------	--------------	------------------------

#### Caratteristiche geotecniche dei terreni

##### Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	2000 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_v =$	34.18 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	22.79 °
Coesione	$c'_v =$	0 kg/m <sup>2</sup>

##### Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	2000 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_f =$	34.18 °
Coesione	$c'_f =$	0 kg/m <sup>2</sup>

##### Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	1900 kg/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	$\phi_m =$	28.39 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	18.93 °
Coesione	$c'_m =$	0 kg/m <sup>2</sup>

#### Carichi applicati

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

Uniforme a valle del muro	$G_{1uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G_{1um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G_{1nm} =$	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	$G_{2uv} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Uniforme a monte del muro	$G_{2um} =$	0 kg/m <sup>2</sup>
Nastriforme a monte del muro	$G_{2nm} =$	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:		
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	$F_o =$	2.5000
Accelerazione orizzontale massima	$a_g =$	0.1174 g
Categoria di sottosuolo	suolo =	B
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S =$	1.20000
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima		
verifiche locali	$\beta_m^* =$	1.00000
verifica di stabilità globale	$\beta_s =$	0.24000
Categoria topografica	$C_T =$	T2
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T =$	1.20000
Coefficienti sismici per le verifiche locali		
orizzontale	$k_h =$	0.16906
verticale	$k_v =$	0.08453
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale		
orizzontale	$k_h =$	0.04057
verticale	$k_v =$	0.02029

\* 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  $\Downarrow$  e negativo  $\Uparrow$ .

### **Verifiche di stabilità dell'opera**

#### Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)		
Spinta attiva	$K_{AS} =$	0.3165
Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)		
Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto		
Spinta attiva	$K_{AD} =$	0.4636
Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso		
Spinta attiva	$K_{AD} =$	0.4358

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

Altezza di calcolo  $H_t = 2.010$  m

Le spinte sono espresse in chilogrammi e le coordinate in metri.

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	1494	512	0.755	2.010	-	-	-	-	1494	512	0.670	1.752
2	1149	394	0.755	2.010	-	-	-	-	1149	394	0.670	1.752
3	1149	394	0.755	2.010	567	194	1.132	2.010	1716	588	0.781	1.752
4	1149	394	0.755	2.010	392	134	1.132	2.010	1541	528	0.755	1.752

#### 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	$F_{I,X} =$	1240 kg
Ordinata del punto di applicazione della forza	$Y_I =$	1.012 m
Componente verticale forza d'inerzia	$F_{I,Y} =$	$\pm 620$ kg
Ascissa del punto di applicazione della forza	$X_I =$	1.007 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 ( $P_M$ )	5436	0.834	4536.000
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	1900	1.500	2850.000
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-620	1.007	-624.324
<b>Momento stabilizzante (<math>M_{STAB}</math>)</b>			<b>6761.676</b>
Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	-1541	0.755	-1163.687
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	528	1.752	926.123
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	-1240	1.012	-1254.933
<b>Momento ribaltante (<math>M_{RIB}</math>)</b>			<b>-1492.497</b>

#### Coefficiente di sicurezza al ribaltamento

$$C_{RIB} = (M_{STAB} / R) / |M_{RIB}| = 4.53045$$

#### 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	CMB 1			CMB 2			CMB 3		
	F	B	M	F	B	M	F	B	M
$P_M$	7067	0.834	5896.800	5436	0.834	4536.000	5436	0.834	4536.000
$P_{TM}$	2470	1.500	3705.000	1900	1.500	2850.000	1900	1.500	2850.000
$F_{I,Y}$	-	-	-	-	-	-	620	1.007	624.324
<b><math>M_{STAB}</math></b>			<b>9601.799</b>			<b>7386.000</b>			<b>8010.324</b>
$S_{T,X}$	-1494	0.670	-1000.742	-1149	0.670	-769.802	-1716	0.781	-1339.444
$S_{T,Y}$	512	1.752	897.731	394	1.752	690.563	588	1.752	1031.234
$F_{I,X}$	-	-	-	-	-	-	-1240	1.012	-1254.933
<b><math>M_{RIB}</math></b>			<b>-103.011</b>			<b>-79.239</b>			<b>-1563.144</b>
<b><math>C_{RIB}</math></b>		<b>81.05329</b>			<b>81.05325</b>			<b>5.12450</b>	

#### 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 4)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kg]
Peso del muro ( $P_M$ )	5436
Peso del terreno a monte ( $P_{TM}$ )	1900
Componente orizzontale forza d'inerzia ( $F_{I,X}$ )	0
Componente verticale forza d'inerzia ( $F_{I,Y}$ )	-620
Componente orizzontale spinta totale terreno ( $S_{T,X}$ )	0
Componente verticale spinta totale terreno ( $S_{T,Y}$ )	528
<b>Carico totale ortogonale al piano di fondazione (<math>N_{TOT}</math>)</b>	<b>7244</b>

Momento rispetto al piede di valle ( $M_{TOT} = M_{STAB} + M_{RIB}$ ) 5269.178 kg·m

Distanza carico dal piede di valle ( $d_N = M_{TOT} / N_{TOT}$ ) 0.727 m

Eccentricità del carico ( $e_N = |L_{f1} / 2 - d_N|$ ) 0.273 m

(Il punto di applicazione del carico è **interno** al terzo medio)

Compressione all'estremo di valle ( $\sigma_v$ ) 6585 kg/m<sup>2</sup>

Compressione all'estremo di monte ( $\sigma_m$ ) 659 kg/m<sup>2</sup>

Ampiezza della zona compressa ( $B_{comp}$ ) 2.000 m

Compressione limite ( $\sigma_L$ ) 14657 kg/m<sup>2</sup>

#### Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento

$$C_{SCH} = (\sigma_L / R) / \sigma_{max} = 1.85485$$

### 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
P <sub>M</sub> [kg]	7067	5436	5436
P <sub>TM</sub> [kg]	2470	1900	1900
F <sub>I,X</sub> [kg]	-	-	0
F <sub>I,Y</sub> [kg]	-	-	620
S <sub>T,X</sub> [kg]	0	0	0
S <sub>T,Y</sub> [kg]	512	394	588
<b>N<sub>TOT</sub> [kg]</b>	<b>10049</b>	<b>7730</b>	<b>8545</b>
M <sub>TOT</sub> [kg•m]	9498.788	7306.760	6447.180
d <sub>N</sub> [m]	0.945	0.945	0.755
e <sub>N</sub> [m]	0.055	0.055	0.245
Pos <sub>N</sub>	i.t.m.	i.t.m.	i.t.m.
σ <sub>v</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	5850	4500	7418
σ <sub>m</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	4199	3230	1126
B <sub>comp</sub> [m]	2.000	2.000	2.000
σ <sub>L</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	47227	47227	18015
<b>C<sub>SCH</sub></b>	<b>5.76647</b>	<b>7.49641</b>	<b>2.02368</b>

### 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  $f_t = \tan(\varphi_f) / \gamma_\varphi = 0.67909$ .

### Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 4)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kg]	Forza tangenziale [kg]
Peso del muro (P <sub>M</sub> )	5436	0
Peso del terreno a monte (P <sub>TM</sub> )	1900	0
Componente orizzontale forza d'inerzia (F <sub>I,X</sub> )	0	1240
Componente verticale forza d'inerzia (F <sub>I,Y</sub> )	-620	0
Componente orizzontale spinta totale terreno (S <sub>T,X</sub> )	0	1541
Componente verticale spinta totale terreno (S <sub>T,Y</sub> )	528	0
<b>Carico totale (Σ<sub>L</sub>, Σ<sub>  </sub>)</b>	<b>7244</b>	<b>2781</b>

### Coefficiente di sicurezza allo scorrimento

$$C_{SCO} = (\Sigma_L \cdot f_t / R) / \Sigma_{||} = 1.76894$$

### 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<sub>⊥</sub> [kg]) e tangenziali (F<sub>||</sub> [kg]) al piano di scorrimento.

CAR	CMB 1		CMB 2		CMB 3	
	F <sub>⊥</sub>	F <sub>  </sub>	F <sub>⊥</sub>	F <sub>  </sub>	F <sub>⊥</sub>	F <sub>  </sub>
P <sub>M</sub>	7067	0	5436	0	5436	0
P <sub>TM</sub>	2470	0	1900	0	1900	0
F <sub>I,X</sub>	-	-	-	-	0	1240
F <sub>I,Y</sub>	-	-	-	-	620	0
S <sub>T,X</sub>	0	1494	0	1149	0	1716
S <sub>T,Y</sub>	512	0	394	0	588	0
<b>Σ</b>	<b>10049</b>	<b>1494</b>	<b>7730</b>	<b>1149</b>	<b>8545</b>	<b>2956</b>
<b>C<sub>sco</sub></b>	<b>4.15348</b>		<b>4.15348</b>		<b>1.96298</b>	