

# Città Metropolitana di Reggio Calabria



Repubblica Italiana



REGIONE CALABRIA



Fondo per lo Sviluppo  
e la Coesione



MINISTERO DELL'AMBIENTE  
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA



## PROGETTO DEFINITIVO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO  
MURO D'ARGINE TIPOLOGIA V4

data:

DIC. 2023

elaborato n.:

ES\_3.3

scala:

Progettista:

Ingegnere DOMENICO CIANCIO

Soggetto Attuatore:

Dott. GIUSEPPE NARDI

Commissario di Governo per il contrasto del dissesto idrogeologico nel  
territorio della Regione Calabria

RUP:

Geom. ALESSANDRO FALVO

INTERVENTI INTEGRATI DI RIPRISTINO FUNZIONALE E AMBIENTALE DEL RETICOLO  
IDROGRAFICO PRESENTE NELLA SUB-AREA PROGRAMMA A13-1 COD. RENDIS 18IR266/G1  
NEL COMUNE DI REGGIO CALABRIA

# RELAZIONE DI CALCOLO

## TIPOLOGIA MURO D'ARGINE – V4 -

### Lt=15,00m, h=4,50m, S=1m

#### 1.1 Normativa di riferimento

Norma UNI ENV 1997-1-1: 2005 Eurocodice 7  
- Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali.

D.M. 17/01/2018:  
- Norme tecniche per le costruzioni.

Circolare CSLLPP n. 7 del 21/01/2019:  
- 'Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.'

#### 1.2 Convenzione dei segni

- Forze orizzontali positive se dirette da valle verso monte.
- Forze verticali positive se dirette dal basso verso l'alto.
- Momenti positivi se antiorari.

#### 1.3 Unità di misura

- |                    |              |
|--------------------|--------------|
| - Carichi e spinte | in daN/m     |
| - Momenti          | in daNm/m    |
| - Pesi specifici   | in daN/mc    |
| - Angoli           | in gradi [°] |

## 2 TEORIA DI CALCOLO

#### 2.1 Coefficienti di spinta

##### -Spinta Statica Attiva

Il coefficiente di spinta attiva ( $K_a$ ) è stato calcolato con la teoria di Coulomb tramite la relazione:

$$K_a = A / (B * [1 + \sqrt{(C/D)}]^2)$$

dove:  $A = \cos^2(\Phi - (90 - \psi))$ ;

$$B = \cos^2(90 - \psi) * \cos((90 - \psi) + \delta)$$

$$C = \sin(\delta + \Phi) * \sin(\Phi - \beta)$$

$$D = \cos((90 - \psi) + \delta) * \sin((90 - \psi) - \beta)$$

##### -Spinta Attiva in Condizioni Sismiche

Il coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche ( $K_{aE}$ ) è stato calcolato con la formula di Mononobe e Okabe:

$$K_{aE} = A' / (B' * [1 + \sqrt{(C'/D')}]^2)$$

dove:  $A' = \sin^2(\psi + \Phi - \theta)$ ;

$$B' = \cos(\theta) * \sin^2(\psi) * \sin(\psi - \theta - \delta)$$

$$C' = \sin(\Phi + \delta) * \sin(\Phi - \beta - \theta)$$

$$D' = \sin(\psi - \theta - \delta) * \sin(\psi + \beta)$$

##### - Spinta Statica Passiva

Il coefficiente di spinta passiva ( $K_p$ ) è stato calcolato tramite la relazione

$$K_p = A / (B * [1 + \sqrt{(C/D)}]^2)$$

dove:  $A = \cos^2(\Phi + (90 - \psi))$

$$B = \cos^2 (90 - \psi) * \cos ((90 - \psi) - \delta)$$

$$C = \sin (\delta + \Phi) * \sin (\Phi + \psi)$$

$$D = \cos ((90 - \psi) - \delta) * \sin ((90 - \psi) - \beta)$$

- Significato dei simboli

Nelle precedenti relazioni:

$\Phi$  è il valore dell'angolo di resistenza a taglio del terreno in condizioni di sforzo efficace;

$\psi$  è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete del muro rivolta a monte;

$\beta$  è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno;

$\delta$  è il valore dell'angolo di resistenza a taglio tra terreno e muro.

$\theta = \arctan(kh/(1+K_v))$  per livello di falda al di sotto del muro di sostegno;

$\theta = \arctan(\gamma/(\gamma - \gamma_w) * kh/(1+K_v))$  per terreno impermeabile in condizioni dinamiche al di sotto del livello di falda.

## 2.2 Spinte unitarie delle terre

-Spinta attiva

La spinta attiva dello strato sul muro si calcola con la formula:

$$S_a := K_a * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2)$$

dove:  $K_a$  è il valore del coefficiente di spinta attiva;

$\sigma'(z_1)$  e  $\sigma'(z_2)$  sono i valori delle tensioni verticali efficaci agli estremi iniziale e finale;

$h_i$  è lo spessore dello strato medesimo.

Tale spinta, viene applicata nel baricentro del diagramma.

Le sue componenti orizzontale e verticale si calcolano con le formule:

$$S_{aX} := K_{aX} * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2);$$

$$S_{aY} := K_{aY} * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2).$$

-Incremento di spinta attiva ( $\Delta_{PAE}$ ) esercitata dal terreno in condizioni sismiche

L'incremento di spinta è pari alla differenza di spinte esercitate dal terreno retrostante in condizione sismica e in quella statica.

Per il generico strato  $i$ -esimo, l'incremento di spinta si calcola con la formula:

$$\Delta_{PAE} := (K_{aE} - K_a) * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2)$$

dove:  $h_i$  è lo spessore dello strato medesimo;

$\sigma'(z_1)$  e  $\sigma'(z_2)$  sono i valori delle tensioni verticali efficaci agli estremi iniziale e finale;

$K_{aE}$  è il coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche;

$K_a$  è il valore del coefficiente statico di spinta attiva.

Tale incremento viene applicato a 1/3 dell'altezza dello strato

-Spinta Passiva

La spinta passiva ( $S_p$ ) dello strato sul muro si calcola con la formula:

$$S_p := K_p * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2)$$

dove:  $K_p$  è il valore del coefficiente di spinta passiva;

$\sigma'(z_1)$  e  $\sigma'(z_2)$  sono i valori delle tensioni verticali efficaci agli estremi iniziale e finale;

$h_i$  è lo spessore dello strato medesimo.

Tale spinta, viene applicata nel baricentro del diagramma.

Le sue componenti orizzontale e verticale si calcolano con le formule:

$$S_{pX} := K_{pX} * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2);$$

$$S_{pY} := K_{pY} * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2).$$

-Spinta dovuta all'acqua

Per il generico strato la spinta esercitata dall'acqua sul muro si calcola con la formula:

$$S_w := (u(z_1) + u(z_2)) * h_i / 2$$

dove:  $u(z_1)$  e  $u(z_2)$  sono i valori delle pressioni neutre agli estremi iniziale e finale;

$h_i$  è lo spessore dello strato medesimo.

Tale spinta viene applicata nel baricentro del diagramma delle spinte.

-Contributo alla spinta dovuto alla coesione

Per il generico strato  $i$ -esimo la spinta negativa dovuta alla coesione viene valutata considerando un valore di calcolo pari ad un'aliquota della coesione [%0 di  $c$ ] calcolata con la formula:

$$S_c := -2 \cdot c \cdot (\sqrt{A}) \cdot h_i$$

dove:  $c$  è il valore della coesione;

$K_a$  è il valore del coefficiente di spinta attiva;

$h_i$  è lo spessore dello strato medesimo.

Tale incremento viene applicato a metà altezza dello strato

-Incremento di Spinta dovuto al Sovraccarico

L'incremento di spinta dovuto al sovraccarico si calcola con la formula:

$$S_A := K_A \cdot Q$$

dove:  $Q$  è il valore del sovraccarico applicato;

$K_a$  è il valore del coefficiente di spinta attiva.

Tale spinta, viene applicata nel baricentro dello strato.

Le sue componenti orizzontale e verticale si calcolano con le formule:

$$S_{AX} := K_{AX} \cdot Q;$$

$$S_{AY} := K_{AY} \cdot Q.$$

## 2.3 Forze d'inerzia orizzontali

- Forza d'inerzia orizzontale dovuta al muro:

$$FIO_M = k_h \cdot PM$$

dove:  $k_h$  = coefficiente sismico orizzontale;

$PM$  = peso proprio del muro.

- Forza d'inerzia orizzontale dovuta al terreno gravante sulla mensola di fondazione a monte:

$$FIO_T = k_h \cdot PT$$

dove:  $k_h$  = coefficiente sismico orizzontale;

$PT$  = peso proprio del terreno gravante sulla mensola di fondazione.

I punti di applicazione delle forze d'inerzie orizzontali coincidono con i relativi baricentri delle masse degli elementi interessati.

## 2.4 Forze d'inerzia verticali

- Forza d'inerzia verticale dovuta al muro:

$$FIV_M = (+/-)k_v \cdot PM$$

dove:  $k_v$  = coefficiente sismico verticale =  $1/2 k_h$ ;

$PM$  = peso proprio del muro.

- forza d'inerzia verticale dovuta al terreno gravante sulla mensola di fondazione a monte:

$$FIV_T = (+/-)k_v \cdot PT$$

dove:  $k_v$  = coefficiente sismico verticale;

$PT$  = peso proprio del terreno gravante sulla mensola di fondazione.

I punti di applicazione delle forze d'inerzie verticali coincidono con i relativi baricentri delle masse degli elementi interessati.

## 2.5 Calcolo delle azioni per la verifica globale

- Nel calcolo delle spinte il piano di rottura e' stato ipotizzato passante per la retta verticale passante per l'intradosso della mensola lato monte e l'intersezione del primo strato.
- Il piano di rottura e' stato discretizzato in  $n$ -tratti in funzione della intersezione del piano di rottura con gli  $n$ -strati
- Per ogni tratto sono state calcolate le risultanti delle forze orizzontali e verticali dovute alle spinte e alle forze d'inerzia del muro e del terreno sopra la mensola di fondazione lato monte.

## 2.6 Cenni teorici

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, i valori dei coefficienti sismici orizzontale ( $k_h$ ) e verticale ( $k_v$ ) sono stati valutati mediante le seguenti espressioni.

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

$$K_v = \pm 0,5 \cdot (K_h)$$

dove :

$a_{\max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità;

$\beta_m$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (DM 17/01/2018);

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito sarà valutata con la seguente relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

dove:

$S$  coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_t$ )

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa sul sito di riferimento rigido

### Combinazioni e coefficienti parziali nella verifica dell'opera di sostegno.

L'approccio di progetto adottato per le verifiche è il seguente: Approccio 2

La verifica della struttura di sostegno viene effettuata sulla base delle combinazioni seguenti.

#### COMBINAZIONI DI CALCOLO

Combinazione n.1 - A1 + M1 + R3

Combinazione n.2 - EQU + M1 + R3

Combinazione n.3 - A1\* + M1 + R3 ± Sisma

Combinazione n.4 - EQU\* + M1 + R3 ± Sisma

(Comb. n.4 Coeff. rid. acc. mass. attesa incrementato del 50% e comunque inferiore all'unità')

#### COMBINAZIONE DI CALCOLO - Verifica a stabilità globale

Combinazione Stab. Glob - A2\* + M2 + R2 ± Sisma

I coefficienti parziali adottati in ogni combinazione elaborata per la verifica del muro di sostegno, vengono definite nelle seguenti tabelle dei coefficienti.

Coefficienti per le azioni o per l'effetto delle azioni

Carichi	Effetto	Coeff. Parz.	A1 (STR)	A2 (GEO)	EQU	A1*	A2*	EQU*
<b>Permanenti</b>	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0
	Sfavorevoli		1.3	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0
<b>Permanenti non. Strutt.</b>	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0
	Sfavorevoli		1.5	1.3	1.5	1.0	1.0	1.0
<b>Variabili</b>	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
	Sfavorevoli		1.5	1.3	1.5	1.0	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza a cui applicare i coeff. parz.	M1	M2
<b>Tangente dell'angolo di attrito</b>	$\tan\phi$	1.00	1.25
<b>Coesione</b>	C	1.00	1.25
<b>Coesione non drenata</b>	$C_u$	1.00	1.40
<b>Peso dell'unità di volume</b>	$\gamma$	1.00	1.00

Coefficienti parziali resistenze

VERIFICA	Coefficiente parziale R3	Coefficiente parziale R3 ± Sisma
Capacità portante della fondazione	1.40	1.20
Scorrimento	1.10	1.00
Ribaltamento	1.15	1.00
Resistenza del terreno a valle	1.40	1.20
Coeff. Stabilità globale	R2 - 1.10	-

### 3 DATI DI CALCOLO

#### 3.1 Parametri sismici

Zona sismica	= 1
Suolo di fondazione	= B
Categoria topografica	= T1
Vita nominale	= 50 anni
Tipo di opera	= Opere ordinarie
Classe d'uso	= II
$S_s$	= 1.14
$S_T$	= 1.00
Accel. orizz. max attesa al sito ( $a_{max}$ ) = $S_s \cdot S_T \cdot A_g$	= 0.302
Coefficiente rid. acc. mass. attesa ( $\beta_m$ )	= 0.380
Coefficiente sismico orizzontale ( $k_h$ )	= 0.115
Coefficiente sismico verticale ( $k_v$ )	= 0.057

COORDINATE DEL SITO (Datum ED50): LONGITUDINE: 15.6812° - LATITUDINE: 38.1873°			
Identificativi e coordinate (Datum ED50) dei punti che includono il sito			
Numero punto	Longitudine [°]		Latitudine [°]
44767	15.6491		38.2136
44768	15.7126		38.2123
44989	15.6475		38.1636
44990	15.7109		38.1623
Dati SLV			
Tempo di ritorno	Accelerazione sismica Ag	Coefficiente Fo	Periodo TC*
475	0.264	2.415	0.363

#### 3.2 Geometria

Sporto ala a valle (B1)	= 110.0 cm
Sporto ala a monte (B2)	= 110.0 cm
Svaso ala a valle (H2)	= 30.0 cm
Svaso ala a monte (H4)	= 30.0 cm
Altezza estremità ala a valle (H1)	= 150.0 cm
Altezza estremità ala a monte (H3)	= 150.0 cm
Risega muro lato valle (Bv)	= 30.0 cm
Altezza muro (Hm)	= 450.0 cm
Altezza tot. risp. Q.I. fondazione	= 630.0 cm
Spessore testa muro (Bt)	= 100.0 cm

### 3.3 Caratteristiche materiali

#### Materiali CIs

Nom e	Class e	Rck [daN/cm <sup>2</sup> ]	v	ps [daN/m <sup>3</sup> ]	αt [1/°C]	Ec [daN/cm <sup>2</sup> ]	γm, c	Ect /Ec	fck [daN/cm <sup>2</sup> ]	fcd SLU [daN/cm <sup>2</sup> ]	fctd SLU [daN/cm <sup>2</sup> ]	fctk,0.05 [daN/cm <sup>2</sup> ]	fctm [daN/cm <sup>2</sup> ]	εc2 [%]	εcu 2 [%]
CLS 1	C25/30	300	0.15	2500.00	1.0E-005	314758.06	1.50	0.50	250.00	141.67	11.97	17.95	25.65	2.00	3.50

### 3.4 Stratigrafia terreno (rispetto quota imposta fondazione)

STRATO	Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	γ [daN/mc]	φ [°]	β [°]	δ [°] s	Coes. [daN/cm <sup>q</sup> ]	Ader. [daN/cm <sup>q</sup> ]
1	181.0	180.0	1970.0	31.60	0.00	20.00	0.00	PRES. FALDA
2	180.0	0.0	1970.0	31.60	0.00	20.00	0.00	PRES. FALDA

### 3.5 Caratteristiche strato riempimento

Quota	= 181.0 cm
Peso specifico	= 1970.0 daN/mc
Inclinazione	= 0.0°
Fi	= 0.0°
delta	= 20.0 °

## 4 RISULTATI DI CALCOLO

### 4.1 Calcolo spinte ed azioni massa

AZIONI ESTERNE PER UNITA' DI LUNGHEZZA TIPO = VARIABILI

X [cm]	Y [cm]	FX [daN/m]	FY [daN/m]	MFlex [daNm/m]
190.0	330.0	10125.0	0.0	0.0

QUOTE E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI DI CALCOLO A MONTE

Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	γ[daN/mc]	β[°]	φ[°]	δ[°]	90-ψ[°]	Coes. [daN/cm <sup>q</sup> ]	Ader. [daN/cm <sup>q</sup> ]	PRES. FALDA
181.0	0.0	1970.0	0.00	31.60	20.00	0.00	0.00	0.00	Si

SPINTA STATICA ATTIVA PER UNITA' DI LUNGHEZZA STRATI CALCOLO MONTE

Combinazione A1 + M1 + R3					
Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	Sa [daN/m]	SaX [daN/m]	SaY [daN/m]	Br. [cm]
181	0	-577.9	-543.1	-197.7	60.3

INCREMENTO DI SPINTA ATTIVA PER UNITA' DI LUNGHEZZA STRATI CALCOLO MONTE

Combinazione A1 + M1 + R3									
Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	ΔPaE1 [daN/m]	ΔPaE1X [daN/m]	ΔPaE1Y [daN/m]	Br1 [cm]	ΔPaE2 [daN/m]	ΔPaE2X [daN/m]	ΔPaE2Y [daN/m]	Br2 [cm]
181	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0

## SPINTA FALDA PER UNITA' DI LUNGHEZZA

Combinazione A1 + M1 + R3					
Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	PW [daN/m]	PW X [daN/m]	PW Y [daN/m]	Br [cm]
181	0	-1638.1	-1638.1	0	60.3

## SPINTA STATICA ATTIVA PER UNITA' DI LUNGHEZZA STRATI CALCOLO MONTE

Combinazione EQU + M1 + R3					
Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	Sa [daN/m]	SaX [daN/m]	SaY [daN/m]	Br. [cm]
181	0	-489.0	-459.5	-167.3	60.3

## INCREMENTO DI SPINTA ATTIVA PER UNITA' DI LUNGHEZZA STRATI CALCOLO MONTE

Combinazione EQU + M1 + R3									
Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	$\Delta PaE1$ [daN/m]	$\Delta PaE1X$ [daN/m]	$\Delta PaE1Y$ [daN/m]	Brs1 [cm]	$\Delta PaE2$ [daN/m]	$\Delta PaE2X$ [daN/m]	$\Delta PaE2Y$ [daN/m]	Br2 [cm]
		1	1	1		1	1	1	
181	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0

## SPINTA FALDA PER UNITA' DI LUNGHEZZA

Combinazione EQU + M1 + R3					
Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	PW [daN/m]	PW X [daN/m]	PW Y [daN/m]	Br [cm]
181	0	-1638.1	-1638.1	0	60.3

## SPINTA STATICA ATTIVA PER UNITA' DI LUNGHEZZA STRATI CALCOLO MONTE

Combinazione A1* + M1 + R3 $\pm$ Sisma					
Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	Sa [daN/m]	SaX [daN/m]	SaY [daN/m]	Br. [cm]
181	0	-444.6	-417.8	-152.1	60.3

## INCREMENTO DI SPINTA ATTIVA PER UNITA' DI LUNGHEZZA STRATI CALCOLO MONTE

Combinazione A1* + M1 + R3 $\pm$ Sisma									
Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	$\Delta PaE1$ [daN/m]	$\Delta PaE1X$ [daN/m]	$\Delta PaE1Y$ [daN/m]	Brs1 [cm]	$\Delta PaE2$ [daN/m]	$\Delta PaE2X$ [daN/m]	$\Delta PaE2Y$ [daN/m]	Br2 [cm]
		1	1	1		1	1	1	
181	0	-130.7	-130.7	0	60.3	-146.7	-146.7	0	60.3

## SPINTA FALDA PER UNITA' DI LUNGHEZZA

Combinazione A1* + M1 + R3 $\pm$ Sisma					
Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	PW [daN/m]	PW X [daN/m]	PW Y [daN/m]	Br [cm]
181	0	-1638.1	-1638.1	0	60.3

## SPINTA STATICA ATTIVA PER UNITA' DI LUNGHEZZA STRATI CALCOLO MONTE

Combinazione EQU* + M1 + R3 $\pm$ Sisma					
Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	Sa [daN/m]	SaX [daN/m]	SaY [daN/m]	Br. [cm]
181	0	-444.6	-417.8	-152.1	60.3

## INCREMENTO DI SPINTA ATTIVA PER UNITA' DI LUNGHEZZA STRATI CALCOLO MONTE

Combinazione EQU* + M1 + R3 $\pm$ Sisma									
Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	$\Delta PaE1$ [daN/m]	$\Delta PaE1X$ [daN/m]	$\Delta PaE1Y$ [daN/m]	Brs1 [cm]	$\Delta PaE2$ [daN/m]	$\Delta PaE2X$ [daN/m]	$\Delta PaE2Y$ [daN/m]	Br2 [cm]
		1	1	1		1	1	1	
181	0	-220.2	-220.2	0	60.3	-231.8	-231.8	0	60.3



## SPINTA FALDA PER UNITA' DI LUNGHEZZA

Combinazione EQU* + M1 + R3 ± Sisma					
Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	PW [daN/m]	PW X [daN/m]	PW Y [daN/m]	Br [cm]
181	0	-1638.1	-1638.1	0	60.3

## QUOTE E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI DI CALCOLO A VALLE

Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	$\gamma$ [daN/m <sup>3</sup> ]	$\beta$ [°]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	90- $\psi$ [°]	Coes. [daN/cm <sup>2</sup> ]	Ader. [daN/cm <sup>2</sup> ]	PRES. FALDA
180.0	30.0	1970.0	0.00	31.60	20.00	53.75	0.00	0.00	Si
30.0	0.0	1970.0	0.00	31.60	20.00	0.00	0.00	0.00	Si

## FORZE DOVUTE ALLA MASSA DEL MURO PER UNITA' DI LUNGHEZZA

Combinazione A1 + M1 + R3					
PM [daN]	FIV_M1 [daN/m]	FIV_M2 [daN/m]	FIO_M [daN/m]	X_P [cm]	Y_P [cm]
-29664.0	0.0	0.0	0.0	190.0	228.8

## FORZE DOVUTE ALLA MASSA DEL TERRENO PER UNITA' DI LUNGHEZZA

Combinazione A1 + M1 + R3					
PT [daN/m]	FIV_1 [daN/m]	FIV_2 [daN/m]	FIO_T [daN/m]	X_P [cm]	Y_P [cm]
-346.7	0.0	0.0	0.0	342.2	170.7

## FORZE DOVUTE ALLA MASSA DEL MURO PER UNITA' DI LUNGHEZZA

Combinazione EQU + M1 + R3					
PM [daN]	FIV_M1 [daN/m]	FIV_M2 [daN/m]	FIO_M [daN/m]	X_P [cm]	Y_P [cm]
-29664.0	0.0	0.0	0.0	190.0	228.8

## FORZE DOVUTE ALLA MASSA DEL TERRENO PER UNITA' DI LUNGHEZZA

Combinazione EQU + M1 + R3					
PT [daN/m]	FIV_1 [daN/m]	FIV_2 [daN/m]	FIO_T [daN/m]	X_P [cm]	Y_P [cm]
-346.7	0.0	0.0	0.0	342.2	170.7

## FORZE DOVUTE ALLA MASSA DEL MURO PER UNITA' DI LUNGHEZZA

Combinazione A1* + M1 + R3 ± Sisma					
PM [daN]	FIV_M1 [daN/m]	FIV_M2 [daN/m]	FIO_M [daN/m]	X_P [cm]	Y_P [cm]
-29664.0	1702.1	-1702.1	-3404.2	190.0	228.8

## FORZE DOVUTE ALLA MASSA DEL TERRENO PER UNITA' DI LUNGHEZZA

Combinazione A1* + M1 + R3 ± Sisma					
PT [daN/m]	FIV_1 [daN/m]	FIV_2 [daN/m]	FIO_T [daN/m]	X_P [cm]	Y_P [cm]
-346.7	19.9	-19.9	-39.8	342.2	170.7

## FORZE DOVUTE ALLA MASSA DEL MURO PER UNITA' DI LUNGHEZZA

Combinazione EQU* + M1 + R3 ± Sisma					
PM [daN]	FIV_M1 [daN/m]	FIV_M2 [daN/m]	FIO_M [daN/m]	X_P [cm]	Y_P [cm]
-29664.0	2553.2	-2553.2	-5106.4	190.0	228.8

## FORZE DOVUTE ALLA MASSA DEL TERRENO PER UNITA' DI LUNGHEZZA

Combinazione EQU* + M1 + R3 ± Sisma					
PT [daN/m]	FIV_1 [daN/m]	FIV_2 [daN/m]	FIO_T [daN/m]	X_P [cm]	Y_P [cm]
-346.7	29.8	-29.8	-59.7	342.2	170.7

## 4.2 Verifiche geotecniche

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO - Combinazione A1 + M1 + R3

Coeffic. attrito ( $\tan 20.00^\circ$ ) = 0.364  
 Adesione = 0.000 daN/cm  
 Angolo piano di slittamento =  $0^\circ$

**- Combinazione di Carico 1 -**

Somma forze verticali = -30010.7 daN/m  
 Somma forze orizzontali = -561.1 daN/m  
 F. normale piano di slittamento Fns = 30010.7 daN/m  
 F. parall. piano di slittamento Fds = 561.1 daN/m  
 Azione resistente del terreno Fult = 10923.0 daN/m  
 Coeff.te di sicurezza = (Fult/Fds) =  $19.47 \geq 1.1$

**- Combinazione di Carico 2 -**

Somma forze verticali = -30010.7 daN/m  
 Somma forze orizzontali = -10.0 daN/m  
 F. normale piano di slittamento Fns = 30010.7 daN/m  
 F. parall. piano di slittamento Fds = 10.0 daN/m  
 Azione resistente del terreno Fult = 10923.0 daN/m  
 Coeff.te di sicurezza = (Fult/Fds) =  $1092.30 \geq 1.1$

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO - Combinazione A1\* + M1 + R3 ± Sisma

Coeffic. attrito ( $\tan 20.00^\circ$ ) = 0.364  
 Adesione = 0.000 daN/cm  
 Angolo piano di slittamento =  $0^\circ$

**- Combinazione di Carico 1 -**

Somma forze verticali = -28288.7 daN/m  
 Somma forze orizzontali = 6114.5 daN/m  
 F. normale piano di slittamento Fns = 28288.7 daN/m  
 F. parall. piano di slittamento Fds = -6114.5 daN/m  
 Azione resistente del terreno Fult = 10296.2 daN/m  
 Coeff.te di sicurezza = (Fult/Fds) =  $1.68 \geq 1.1$

**- Combinazione di Carico 2 -**

Somma forze verticali = -31732.7 daN/m  
 Somma forze orizzontali = 6671.0 daN/m  
 F. normale piano di slittamento Fns = 31732.7 daN/m  
 F. parall. piano di slittamento Fds = -6671.0 daN/m  
 Azione resistente del terreno Fult = 11549.8 daN/m  
 Coeff.te di sicurezza = (Fult/Fds) =  $1.73 \geq 1.1$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - Combinazione EQU + M1 + R3

**- Combinazione di Carico 1 -**  
 Momento stabilizzante Mstab = -59155.6 daNm/m  
 Momento ribaltante Mribal = 1265.5 daNm/m  
 Coeff.te di sicurezza =  $\text{abs}(\text{Mstab}/\text{Mribal}) = 46.74 \geq 1.15$

**- Combinazione di Carico 2 -**  
 Momento stabilizzante Mstab = -59155.6 daNm/m  
 Momento ribaltante Mribal = 1265.5 daNm/m  
 Coeff.te di sicurezza =  $\text{abs}(\text{Mstab}/\text{Mribal}) = 46.74 \geq 1.15$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - Combinazione EQU\* + M1 + R3 ± Sisma

**- Combinazione di Carico 1 -**  
 Momento stabilizzante Mstab = -87557.2 daNm/m  
 Momento ribaltante Mribal = 13156.5 daNm/m  
 Coeff.te di sicurezza =  $\text{abs}(\text{Mstab}/\text{Mribal}) = 6.66 \geq 1.15$

**- Combinazione di Carico 2 -**  
 Momento stabilizzante Mstab = -97463.5 daNm/m  
 Momento ribaltante Mribal = 13163.5 daNm/m  
 Coeff.te di sicurezza =  $\text{abs}(\text{Mstab}/\text{Mribal}) = 7.40 \geq 1.15$

VERIFICA AL CARICO LIMITE VERTICALE - Combinazione A1 + M1 + R3

- CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE -

Angolo attrito interno = 31.6°  
 Peso specifico = 970.0 daN/mc  
 Coesione = 0.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Spess. terreno sopra il piano di posa = 180.0 cm  
 Peso spec. terreno sopra piano posa = 970.0 daN/mc

- CARATTERISTICHE FONDAZIONE -

Larghezza = 380.0 cm

**- Combinazione di Carico 1 -**

- SOLLECITAZIONI -

Somma forze X ( $\Sigma F_x$ ) = -561.1 daN/m  
 Somma forze Y ( $\Sigma F_y$ ) = -39211.6 daN/m  
 Momenti ( $\Sigma M_c$ ) = -559.3 daNm/m  
 Eccentricità = -1.4 cm

Fattori di carico limite			Fattori di inclinazione del piano di posa			Fattori di inclinazione del piano campagna			Fattori di profondità			Fattori di forma			Fattori di inclinazione dei carichi		
Nc	Nq	N <sub>γ</sub>	Bc	Bq	B <sub>γ</sub>	Gc	Gq	G <sub>γ</sub>	Dc	Dq	D <sub>γ</sub>	Sc	Sq	S <sub>γ</sub>	Ic	Iq	I <sub>γ</sub>
34.33	22.12	28.44	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.14	1.13	1.00	1.16	1.08	1.08	0.97	0.97	0.96

qLim = 10.002 daN/cm<sup>2</sup>  
 qAdm = 7.144 daN/cm<sup>2</sup>  
 qMax = 1.055 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff.te di sicurezza (qAdm/qMax) = 6.77  $\geq$  1.00

- TENSIONI SUL TERRENO -

Ascissa centro sollecitazione = 191.4 cm

Ascissa = 0.0 cm

Tensione = 1.055 daN/cm<sup>2</sup>  
 Ascissa = 380.0 cm  
 Tensione = 1.009 daN/cm<sup>2</sup>

### - Combinazione di Carico 2 -

#### - SOLLECITAZIONI -

Somma forze X ( $\Sigma F_x$ ) = -561.1 daN/m  
 Somma forze Y ( $\Sigma F_y$ ) = -39211.6 daN/m  
 Momenti ( $\Sigma M_c$ ) = -559.3 daNm/m  
 Eccentricità = -1.4 cm

Fattori di carico limite			Fattori di inclinazione del piano di posa			Fattori di inclinazione del piano campagna			Fattori di profondità			Fattori di forma			Fattori di inclinazione dei carichi		
Nc	Nq	N <sub>γ</sub>	Bc	Bq	B <sub>γ</sub>	Gc	Gq	G <sub>γ</sub>	Dc	Dq	D <sub>γ</sub>	Sc	Sq	S <sub>γ</sub>	Ic	Iq	I <sub>γ</sub>
34.33	22.12	28.44	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.14	1.13	1.00	1.16	1.08	1.08	0.97	0.97	0.96

q<sub>Lim</sub> = 10.002 daN/cm<sup>2</sup>  
 q<sub>Adm</sub> = 7.144 daN/cm<sup>2</sup>  
 q<sub>Max</sub> = 1.055 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff.te di sicurezza (q<sub>Adm</sub>/q<sub>Max</sub>) = 6.77 ≥ 1.00

#### - TENSIONI SUL TERRENO -

Ascissa centro sollecitazione = 191.4 cm

Ascissa = 0.0 cm  
 Tensione = 1.055 daN/cm<sup>2</sup>  
 Ascissa = 380.0 cm  
 Tensione = 1.009 daN/cm<sup>2</sup>

### VERIFICA AL CARICO LIMITE VERTICALE - Combinazione A1\* + M1 + R3 ± Sisma

#### - CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE -

Angolo attrito interno = 31.6°  
 Peso specifico = 970.0 daN/mc  
 Coesione = 0.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Spess. terreno sopra il piano di posa = 180.0 cm  
 Peso spec. terreno sopra piano posa = 970.0 daN/mc

#### - CARATTERISTICHE FONDAZIONE -

Larghezza = 380.0 cm

### - Combinazione di Carico 1 -

#### - SOLLECITAZIONI -

Somma forze X ( $\Sigma F_x$ ) = 6114.5 daN/m  
 Somma forze Y ( $\Sigma F_y$ ) = -28440.8 daN/m  
 Momenti ( $\Sigma M_c$ ) = -25996.1 daNm/m  
 Eccentricità = -91.4 cm

Fattori di carico limite			Fattori di inclinazione del piano di posa			Fattori di inclinazione del piano campagna			Fattori di profondità			Fattori di forma			Fattori di inclinazione dei carichi			Fattori di portanza dell'effetto inerziale			Fattori di portanza dell'effetto cinematico	
Nc	Nq	N <sub>γ</sub>	Bc	Bq	B <sub>γ</sub>	Gc	Gq	G <sub>γ</sub>	Dc	Dq	D <sub>γ</sub>	Sc	Sq	S <sub>γ</sub>	Ic	Iq	I <sub>γ</sub>	Zc	Zq	Z <sub>γ</sub>	e <sub>γk</sub>	e <sub>γi</sub>
34.33	22.12	28.44	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.6	0.5	0.9	0.9	1.0	0.9	0.49
			0	0	0	0	0	0	4	3	0	8	4	4	2	3	0	7	5	0	4	

$q_{Lim}$  = 3.325 daN/cm<sup>2</sup>  
 $q_{Adm}$  = 2.375 daN/cm<sup>2</sup>  
 $q_{Max}$  = 1.923 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff.te di sicurezza ( $q_{Adm}/q_{Max}$ ) =  $1.24 \geq 1.00$

- TENSIONI SUL TERRENO -  
 Ascissa centro sollecitazione = 281.4 cm

Ascissa = 0.0 cm  
 Tensione = 1.923 daN/cm<sup>2</sup>  
 Ascissa = 295.8 cm  
 Tensione = 0.000 daN/cm<sup>2</sup>

#### - Combinazione di Carico 2 -

- SOLLECITAZIONI -  
 Somma forze X ( $\Sigma F_x$ ) = 6098.5 daN/m  
 Somma forze Y ( $\Sigma F_y$ ) = -31884.8 daN/m  
 Momenti ( $\Sigma M_c$ ) = -26047.0 daNm/m  
 Eccentricità = -81.7 cm

Fattori di carico limite			Fattori di inclinazione del piano di posa			Fattori di inclinazione del piano campagna			Fattori di profondità			Fattori di forma			Fattori di inclinazione dei carichi			Fattori di portanza dell'effetto inerziale			Fattori di portanza dell'effetto cinematico	
Nc	Nq	N <sub>γ</sub>	Bc	Bq	B <sub>γ</sub>	Gc	Gq	G <sub>γ</sub>	Dc	Dq	D <sub>γ</sub>	Sc	Sq	S <sub>γ</sub>	Ic	Iq	I <sub>γ</sub>	Zc	Zq	Z <sub>γ</sub>	e <sub>γk</sub>	e <sub>γi</sub>
34.33	22.12	28.44	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.6	0.5	0.9	0.9	1.0	0.9	0.49
			0	0	0	0	0	0	4	3	0	9	5	5	6	7	4	7	5	0	4	

$q_{Lim}$  = 3.692 daN/cm<sup>2</sup>  
 $q_{Adm}$  = 2.637 daN/cm<sup>2</sup>  
 $q_{Max}$  = 1.963 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff.te di sicurezza ( $q_{Adm}/q_{Max}$ ) =  $1.34 \geq 1.00$

- TENSIONI SUL TERRENO -  
 Ascissa centro sollecitazione = 271.7 cm

Ascissa = 0.0 cm  
 Tensione = 1.963 daN/cm<sup>2</sup>  
 Ascissa = 324.9 cm  
 Tensione = 0.000 daN/cm<sup>2</sup>

## 5 VERIFICA A STABILITA' GLOBALE

La verifica alla stabilità globale, determina il grado di sicurezza del complesso Muro-terrapieno nei confronti di possibili scorrimenti lungopotenziali superfici di rottura passanti al di sotto della sua estremità inferiore.

La stessa, consiste nel ricercare tra le potenziali superfici di rottura quella che presenta il fattore di sicurezza minimo e confrontarlo con quello imposto dalla normativa.

Per determinare il fattore di sicurezza viene utilizzato il metodo delle strisce secondo questo metodo si ipotizza che le forze agenti sulle facce laterali di ogni striscia abbiano risultante nulla secondo la direzione della normale all'arco che delimita inferiormente la striscia.

Dall'equilibrio dei momenti rispetto al baricentro della superficie di rottura e dall'equilibrio delle forze secondo la direzione normale all'arco si ottiene:

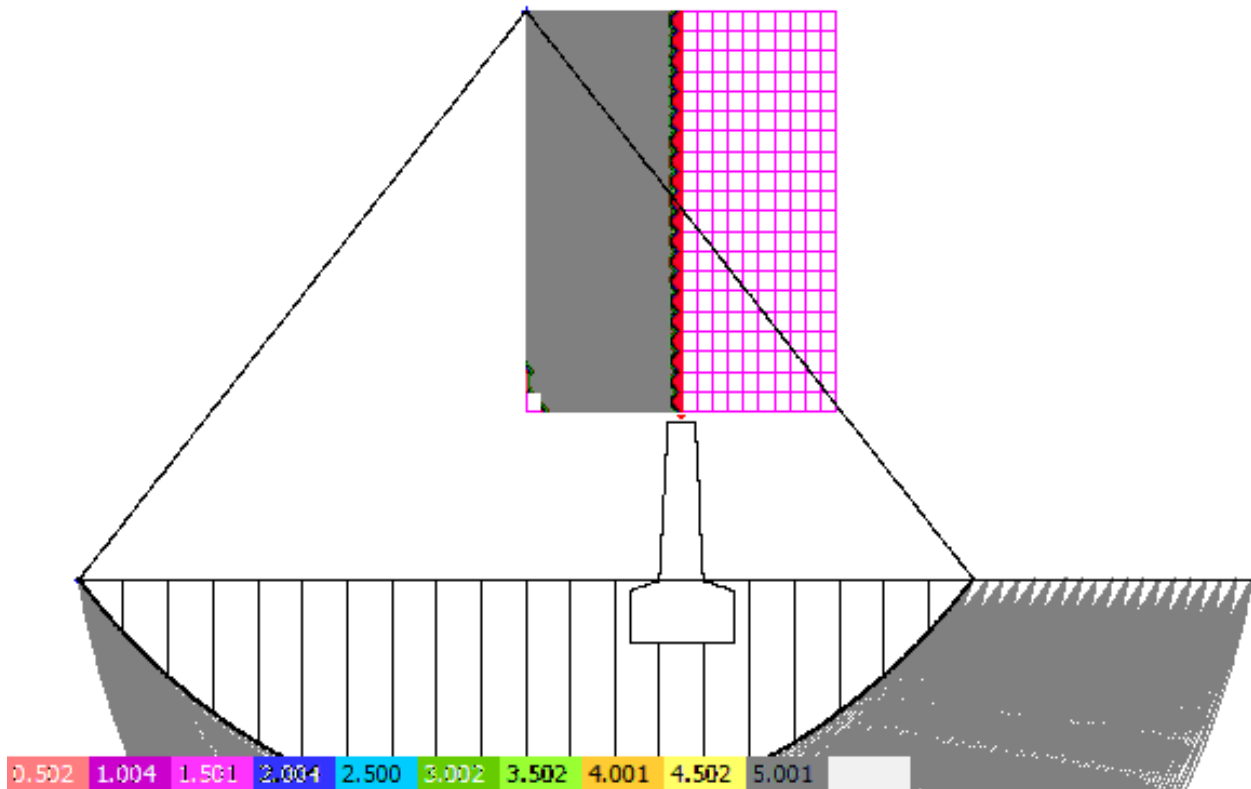
$$F_s = \frac{\Sigma(c \cdot l) + \Sigma((W + Q + F) \cdot (1 \pm K_{vs}) \cdot \cos\alpha \pm K_{hs} \cdot (W + Q + F) \cdot \sin\alpha + F_o \cdot \sin\alpha - l \cdot u) \cdot \tan\phi}{\Sigma((W + Q + F) \cdot (1 \pm K_{vs}) \cdot \sin\alpha \pm K_{hs} \cdot (W + Q + F) \cdot \cos\alpha / r_0) - \Sigma(F_o \cdot \cos\alpha / r_0)}$$

Dove:

- W = Peso del concio;
- Q = Carico distribuito in direzione verticale;
- F = Carico concentrato in direzione verticale;
- Kh = Coefficiente sismico orizzontale;
- l = Lunghezza base del concio;
- $\alpha$  = Angolo fra la base del concio e l'orizzontale;
- c = Coesione;
- $\phi$  = Angolo di resistenza al taglio;
- R0 = Raggio superficie di scorrimento;
- u = Pressione neutra;
- Fo = Carico orizzontale indotto dall'ancoraggio;
- et = Eccentricità forza di ancoraggio rispetto al centro della superficie di scorrimento;
- es = Eccentricità delle forze sismiche rispetto al centro della superficie di scorrimento.

## 5.1 RISULTATI DI CALCOLO

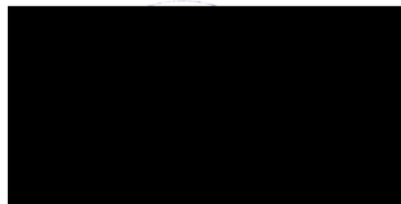
Ascissa critica = -380 cm  
 Ordinata critica = 1800 cm  
 Raggio critico = 2305 cm  
 Coeff. sic. min. = 6.97



**B** = Larghezza del concio  
 **$\alpha$**  = Angolo fra la base del concio e l'orizzontale;  
**Li** = Lunghezza base del concio;  
**W** = Peso del concio;  
**U** = Pressione neutra;  
**N** = Azione normale alla base del concio  
**T** = Azione tangenziale alla base del concio

Conci o	B (cm)	$\alpha$ (°)	Li (cm)	W (daN/m)	U (daN/m)	N (daN/m)	T (daN/m)
1	164.05	-42.62	222.80	5209.82	0.00	4134.15	-3200.79
2	164.05	-37.28	206.09	9809.32	0.00	8310.35	-5277.21
3	164.05	-32.31	194.03	11550.49	0.00	10287.36	-5342.09
4	164.05	-27.59	185.05	13703.32	0.00	12684.19	-5313.67
5	164.05	-23.07	178.28	16207.60	0.00	15450.53	-5083.90
6	164.05	-18.70	173.17	18226.47	0.00	17760.11	-4377.01
7	164.05	-14.43	169.39	19800.66	0.00	19593.81	-3309.37
8	164.05	-10.25	166.71	20958.84	0.00	20939.98	-1982.72
9	164.05	-6.13	164.99	21720.52	0.00	21792.54	-489.21
10	164.05	-2.03	164.15	22097.87	0.00	22150.15	1085.37
11	164.05	2.05	164.15	22096.73	0.00	22015.63	2658.77
12	164.05	6.15	165.00	21717.09	0.00	21395.80	4150.22
13	161.41	10.24	164.02	20623.25	0.00	19985.33	5380.19
14	159.93	14.34	165.07	33511.89	0.00	31768.93	11036.86
15	170.81	18.63	180.24	19038.07	0.00	17528.01	7603.20
16	164.05	23.10	178.31	16226.35	0.00	14390.53	7621.65
17	164.05	27.62	185.10	13718.99	0.00	11621.51	7382.19
18	164.05	32.34	194.09	10667.94	0.00	8534.64	6463.63
19	164.05	37.32	206.18	6989.37	0.00	5203.30	4703.86
20	164.05	42.66	222.92	2557.21	0.00	1735.49	1890.54

Il Tecnico





## SOMMARIO

<b>1.1 Normativa di riferimento .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Convenzione dei segni.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3 Unità di misura.....</b>	<b>1</b>
<b>2 TEORIA DI CALCOLO .....</b>	<b>1</b>
<b>2.1 Coefficienti di spinta .....</b>	<b>1</b>
<b>2.2 Spinte unitarie delle terre.....</b>	<b>2</b>
<b>2.3 Forze d'inerzia orizzontali.....</b>	<b>3</b>
<b>2.4 Forze d'inerzia verticali.....</b>	<b>3</b>
<b>2.5 Calcolo delle azioni per la verifica globale.....</b>	<b>3</b>
<b>2.6 Cenni teorici.....</b>	<b>3</b>
<b>3 DATI DI CALCOLO .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Parametri sismici.....</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Geometria .....</b>	<b>5</b>
<b>3.3 Caratteristiche materiali .....</b>	<b>6</b>
<b>3.4 Stratigrafia terreno (rispetto quota imposta fondazione) .....</b>	<b>6</b>
<b>3.5 Caratteristiche strato riempimento.....</b>	<b>6</b>
<b>4 RISULTATI DI CALCOLO .....</b>	<b>6</b>
<b>4.1 Calcolo spinte ed azioni massa.....</b>	<b>6</b>
<b>4.2 Verifiche geotecniche .....</b>	<b>9</b>
<b>5 VERIFICA A STABILITA' GLOBALE .....</b>	<b>13</b>
<b>5.1 RISULTATI DI CALCOLO .....</b>	<b>14</b>