




S.S. 38 - LOTTO 4: VARIANTE DI TIRANO DALLO SVINCOLO DI STAZZONA (COMPRESO) ALLO SVINCOLO DI LORETO (CON COLLEGAMENTO ALLA DOGANA DI POSCHIAVO)

S.S. 38 - LOTTO 4: NODO DI TIRANO - TRATTA "A" (SVINCOLO DI BIANZONE - SVINCOLO LA GANDA) E TRATTA "B" (SVINCOLO LA GANDA - CAMPONE IN TIRANO)

PROGETTO ESECUTIVO

 Ing. Renato Vaira (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)	 Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211	ING. RENATO DEL PRETE  Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073	 Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433	 Ing. Gabriele Incecchi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102
	 Società designata: GA&M	 Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771	 Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970	DOTT. GEOL. DANILO GALLO  Dott. Geol. Danilo Gallo Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	GEOLOGO	IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
Dott. Ing. Giancarlo LUONGO	 Ing. Valerio BAJETTI	 Dott. Geol. Francesco AMANTIA SCUDERI	 Ing. Gaetano RANIERI

<h1>IQ01</h1>	<b>I - PROGETTO STRUTTURALE - OPERE D'ARTE MINORI</b> <b>IQ - MURO DI CONTRORIPA IN DX DA KM 4+884,97 A KM 5+055</b> RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO				
---------------	---	--	--	--	--

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	IQ01 - P00OS05STRRE01_B.dwg			
<b>M</b> <b>I</b> <b>3</b> <b>2</b> <b>4</b>	<b>E</b>	<b>1</b> <b>8</b> <b>0</b> <b>1</b>	CODICE ELAB.	<b>P</b> <b>0</b> <b>0</b> <b>O</b> <b>S</b> <b>0</b> <b>5</b> <b>S</b> <b>T</b> <b>R</b> <b>R</b> <b>E</b> <b>0</b> <b>1</b>	<b>B</b>	-

C					
B	EMISSIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA ANAS	FEBBRAIO 2020	ING. FRANCO NACCI	ING. GAETANO RANIERI	ING. VALERIO BAJETTI
A	EMISSIONE	FEBBRAIO 2019	ING. FRANCO NACCI	ING. FABRIZIO BAJETTI	ING. VALERIO BAJETTI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	2
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	2
3	UBICAZIONE DELL'OPERA.....	3
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	3
5	UNITA' DI MISURA .....	4
6	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	4
6.1	Calcestruzzo.....	4
6.1.1	Calcestruzzo per opere di sottofondazione .....	4
6.1.2	Calcestruzzo per FONDAZIONI ED ELEVAZIONI .....	4
6.1.3	Caratteristiche del calcestruzzo ai fini della durabilità .....	5
6.1.4	Verifiche allo stato limite di apertura delle fessure .....	5
6.1.5	Copriferro .....	6
6.2	Acciaio.....	6
6.2.1	Acciaio per barre di armatura lenta .....	6
7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	7
8	VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO.....	9
8.1	Vita nominale.....	9
8.2	Classe d'uso .....	9
8.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	9
9	METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA.....	9
9.1	Metodo di analisi in condizioni sismiche .....	11
10	ANALISI DEI CARICHI.....	13
10.1	Carichi Permanenti g1 .....	13
10.1.1	Peso proprio muro di sostegno .....	13
10.2	Carichi Permanenti non strutturali G2.....	13
10.2.1	Peso del riempimento a tergo dei muri.....	13
10.2.2	Peso del rivestimento in pietra .....	13
10.2.3	Spinta del terreno in condizioni statiche .....	13
10.3	Azioni Variabili Q.....	14
10.3.1	Sovraccarico sul terreno a monte.....	14
11	PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA .....	14
11.1	VALIDAZIONI DEL CALCOLO E CASI PROVA .....	14
11.2	ANALISI DELL'OPERA DI SOSTEGNO .....	14
11.3	Calcolo della spinta attiva con Coulomb .....	14
11.4	Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe .....	16
11.5	Carico uniforme sul terrapieno.....	16
11.6	Spinta attiva in condizioni sismiche .....	17
11.7	Carico limite di fondazioni superficiali su terreni .....	17
12	RISULTATI DELLE VERIFICHE .....	19
12.1	ANALISI DI STABILITA' .....	48

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione è inserita nell'ambito del Progetto Esecutivo della progettazione della "SS 38 Lotto 4 Nodo di Tirano, Tratta A (Svincolo di Bianzone-Svincolo La Ganda) e Tratta B (Svincolo La Ganda-Campone di Tirano).

Nel presente documento si affrontano le problematiche progettuali connesse al dimensionamento e alla verifica del muro di sostegno in c.a. a mensola di controripa in dx dalla progressiva 4+884,97 km alla progressiva 5+055 km dell'asse principale.

## 2 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Il muro di sostegno, della lunghezza complessiva di circa 169 metri, è composto da n. 17 tratti. I primi 16 tratti sono costituiti dal concio n. 1, l'ultimo tratto dal concio n. 2. Tutti i conci sono di altezza variabile; la variabilità di altezza nell'ambito dello stesso concio comporta una variabilità anche dello spessore alla base del muro; ciò per garantire per il paramento inclinato lato strada sempre lo stesso angolo di inclinazione pari a 6°. La verifica sarà condotta per la sezione di altezza massima. Si riportano le caratteristiche dei conci

- Concio n. 1\_ Muro di spessore variabile alla base da 92 a 97 cm, altezza variabile da 555 cm a 602 cm; zattera di fondazione di larghezza pari a **550 cm** e altezza pari a **120 cm** con piede di monte di larghezza pari a **400 cm** e piede di valle di larghezza da 58 a 53 cm.
- Concio n. 2\_ Muro di spessore alla base da 92 a 96 cm, altezza variabile da 555 cm a 595 cm; zattera di fondazione di larghezza pari a 550 cm e altezza pari a 120 cm con piede di monte di larghezza pari a **400 cm** e piede di valle di larghezza variabile da 58 a 54 cm.

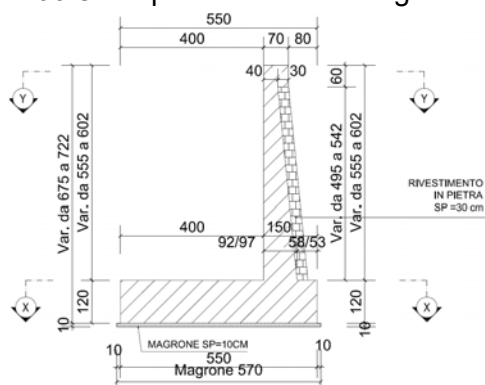


Fig. 1 Sezione trasversale del concio 1

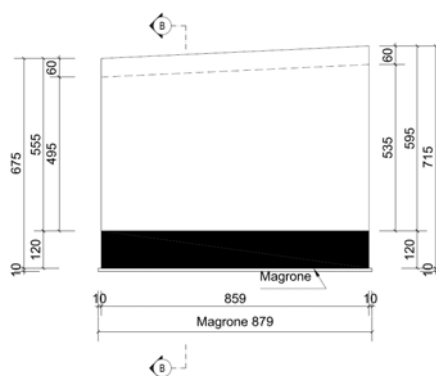


Fig. 2 Sezione longitudinale del concio n. 2

### 3 UBICAZIONE DELL'OPERA

Il muro tra le progressive 4+884,97 e 5+055,00 km è ubicato planimetricamente come mostrato nell'immagine successiva:

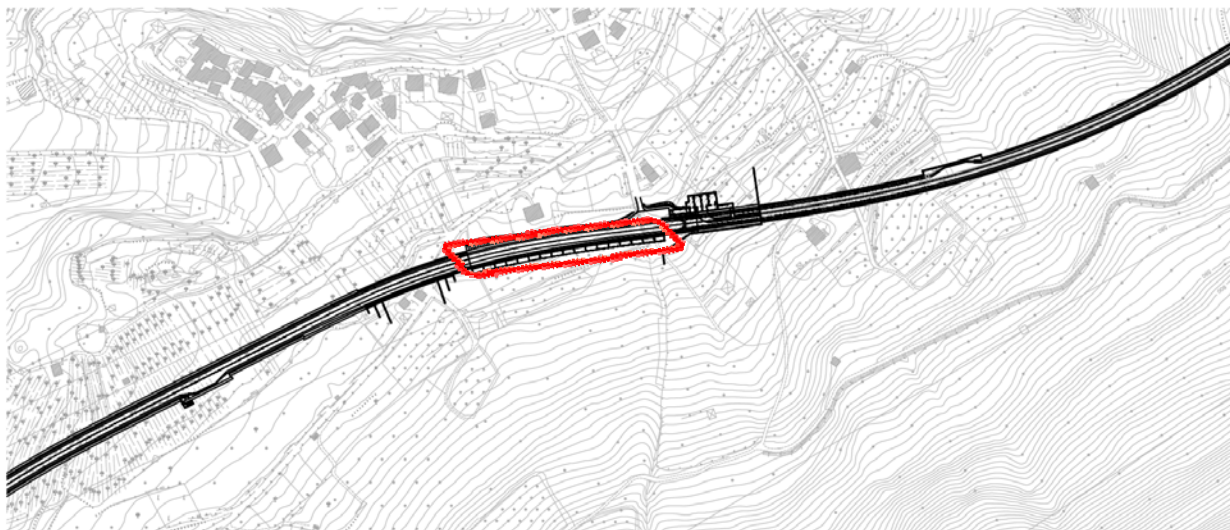


Fig. 3 Ubicazione dell'opera

### 4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta in osservanza delle seguenti Normative:

- **Legge 05/01/1971 n.1086** → Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- **Legge 02/02/1974 n. 64** → Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- **DM 17/01/2018** → Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
- **Circolare n. 7 del 21/01/2019 /C.S.LL.PP.** → Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17/01/2018
- **UNI EN 1992-1 (Eurocodice 2 – Parte 1)** → Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Regole generali
- **UNI EN 1992-2 (Eurocodice 2 – Parte 2)** → Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Ponti
- **UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2015** → Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- **UNI EN 206-1:2016** → Calcestruzzo – Specificazione, prestazione e conformità
- **UNI 11104:2014** → Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

- Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP. Linee guida sul calcestruzzo strutturale

## 5 UNITA' DI MISURA

Nei calcoli è stato fatto uso delle seguenti unità di misura:

- per i carichi: kN/m<sup>2</sup>, kN/m, kN
- per i momenti: kNm
- per i tagli e sforzi normali: kN
- per le tensioni: MPa
- per le accelerazioni: m/sec<sup>2</sup>

## 6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 6.1 CALCESTRUZZO

#### 6.1.1 CALCESTRUZZO PER OPERE DI SOTTOFONDAZIONE

Per le opere di sottofondazione è stato previsto un calcestruzzo con classe di resistenza **C12/15** e classe di esposizione **X0**.

Tale calcestruzzo non ha valenza strutturale e quindi non se ne riportano le caratteristiche meccaniche.

#### 6.1.2 CALCESTRUZZO PER FONDAZIONI ED ELEVAZIONI

Per le strutture di fondazione, interrato e contro-terra è stato previsto un calcestruzzo con classe di resistenza **C30/37** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Fase finale	$R_{ck}$	=	37.00	MPa
Resistenza a compressione cilindrica	$f_{ck}$	= $0.83 \times R_{ck}$	= 30.71	MPa
Resistenza cilindrica media	$f_{cm}$	= $f_{ck} + 8$	= 38.71	MPa
Modulo elastico	$E_c$	= $22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$	= 33019	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo	$\gamma_c$	=	1.5	
Coefficiente per le resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc}$	=	0.85	
Resistenza a compressione di calcolo	$f_{cd}$	= $\alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c$	= 17.40	MPa
Resistenza a trazione media	$f_{ctm}$	= $0.30 \times f_{ck}^{2/3}$	= 2.94	MPa
Resistenza a trazione	$f_{ctk}$	= $0.7 \times f_{ctm}$	= 2.06	MPa
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd}$	= $f_{ctk} / \gamma_c$	= 1.37	MPa
S.L.E.				
Tensione limite di esercizio (comb. Rare)	$\sigma_{cR}$	= $f_{ck} \times 0.60$	= 18.43	MPa
Tensione limite di esercizio (comb. Quasi Perm.)	$\sigma_{cP}$	= $f_{ck} \times 0.45$	= 13.82	MPa
Classe di esposizione	XF3			



## 6.1.5 COPRIFERRO

Ai fini di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale".

Il copriferro nominale è somma di due contributi, il copriferro minimo e la tolleranza di posizionamento.

Nel caso in oggetto si hanno i seguenti parametri:

- Classe di esposizione XF3
- Classe di resistenza caratteristica a compressione: C30/37
- Dimensione max aggregati: 25 mm
- Classe minima di consistenza: S4

Il valore del copriferro minimo è valutato secondo quanto riportato al punto C4.1.6.1.3 della Circolare n. 7. Nel caso in esame la classe di esposizione ambientale è aggressiva e si pone, come da tabella C4.1.IV un copriferro minimo pari a 30 mm. La tolleranza di posizionamento è pari a 10 mm. Inoltre, data la vita nominale della struttura pari a 100 anni, come da normativa, deve aggiungersi un copriferro aggiuntivo pari a 10 mm. Si ottiene pertanto un copriferro nominale pari a 50 mm.

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
$C_{min}$	$C_o$	ambiente	$C \geq C_o$	$C_{min} < C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} < C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} < C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} < C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

## 6.2 ACCIAIO

### 6.2.1 ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA LENTA

Per le barre di armatura lenta è stato previsto un acciaio del tipo **B450C**, con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- $f_{t,k}$  = 540,00 MPa (resistenza caratteristica a rottura)
- $f_{y,k}$  = 450,00 MPa (tensione caratteristica di snervamento)
- $\gamma_s$  = 1.15 (Coefficiente parziale di sicurezza acciaio)
- $f_{y,d} = f_{yk}/\gamma_s$  = 391.30 MPa (tensione di snervamento di calcolo -  $\gamma_c=1,15$ )
- $E_s$  = 200.000,00 MPa (modulo elastico istantaneo)
- $\sigma_{sR} = f_{yk}/0.75$  = 337.50 MPa (Tensione limite di esercizio per comb. Rare)

## 7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

I parametri necessari a definire le caratteristiche del terreno ai fini del calcolo delle strutture sono ricavati dagli elaborati geologici e geotecnici.

In particolare, con riferimento agli allegati da 1 a 5 della relazione geologica di cui si riporta nella figura seguente uno stralcio, risulta che i terreni sono costituiti da Morene. Il sondaggio geognostico SP.4 risulta quello posto in prossimità dell'opera in progetto. La falda non interessa l'opera oggetto della presente relazione.



**Morene**  
 Sedimenti caotici misti a detrito di versante formati da sabbie, ghiaie e trovanti in matrice limoso-sabbiosa.

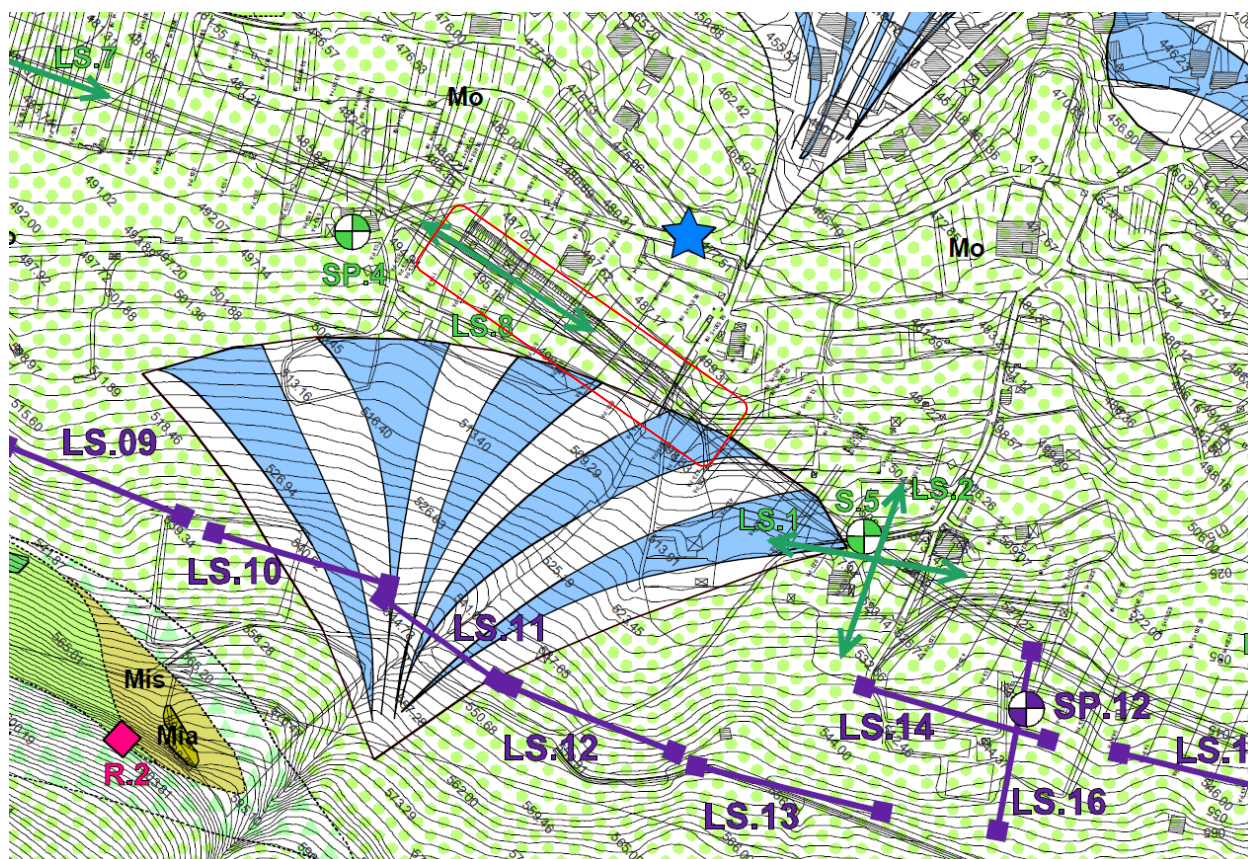


Figura 4: stralcio della carta geomorfologica con ubicazione dei sondaggi nel tratto di interesse

Nella seguente Tabella 5.14 della relazione geotecnica, sono riportati per le **Morene** i parametri geotecnici (Angolo di attrito  $\varphi$ , densità relativa DR, Modulo Elastico E, Modulo Edometrico  $E_d$ ) ottenuti dalle prove SPT effettuate in foro. In particolare, per il sondaggio S.4 si ha:

- Angolo di attrito medio  $\varphi = 32,10^\circ$
- Densità relativa media DR = 43,92%
- Modulo Elastico medio E = 146,33 daN/cm<sup>2</sup>
- Modulo Edometrico medio  $E_d = 119,08$  daN/cm<sup>2</sup>



Tabella 5.14 – Morene - Parametri geotecnici da prove SPT

Sondaggio	N'(60)	N(60)	Angolo di Attrito $\varphi$	Valore medio per sondaggio	Densità Relativa DR (%)	Valore medio per sondaggio	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )	Valore medio per sondaggio	Modulo edometrico Ed (Kg/cm <sup>2</sup> )	Valore medio per sondaggio
N°	Valori Nspt Normalizzati	Valori Nspt Normalizzati	Japanese National Railway		Bazaraa (1962)		Jamiolkowski et Al. (1988)		Begemann (1974) (sabbie e ghiaie)	
SP.12	24,97	15,59	34,49	32,77	46,28	49,09	138,46	297,58	127,07	121,34
SP.12	20,13	26,93	33,04		61,52		234,22		122,23	
SP.12	21,71	32,13	33,51		64,13		276,49		123,81	
SP.12	18,67	31,19	32,60		60,57		272,25		120,77	
SP.12	20,34	40,64	33,10		52,66		351,77		122,44	
SP.12	13,67	29,30	31,10		42,95		263,56		115,77	
SP.12	11,61	26,46	30,48		39,33		241,41		113,71	
SP.12	18,46	44,42	32,54		49,21		389,85		120,56	
SP.12	23,55	59,54	34,07		55,16		510,18		125,65	
S.4	18,77	15,59	32,63		32,10		44,45		139,47	
S.4	16,20	17,06	31,56		43,39	163,20		117,30		
S.5	18,77	15,59	32,63	34,08	44,45	139,47	205,74	120,87	125,71	
S.5	28,46	32,32	35,54		69,52	272,02		130,56		
S.6	9,39	7,80	29,82	33,98	31,43	73,28	207,94	111,49	125,37	
S.6	37,15	42,19	38,14		68,01	49,72		342,60		

In blu campagna indagini 2002  
 In verde campagna indagini 2009

Nella seguente Tabella 6.9, sempre estratta dalla relazione geotecnica, sono riportati per le **Morene** i valori caratteristici e di calcolo dell'angolo di attrito  $\varphi$ .

Tabella 6.9 - Morene - Valori caratteristici e di calcolo dell'angolo di attrito

Anno	Sondaggio	Angolo di attrito	Valore caratteristico	Valore di calcolo
	N°	$\varphi'$ (°)	$\varphi'_c$ (°)	$\varphi'_{cal}$ (°)
2002	SP.12	32,77	32,77	28,21
	SP.12			
	SP.12			
	SP.12			
	SP.12			
	SP.12			
	SP.12			
	SP.12			
2009	S.4	32,10	32,10	27,55
	S.4			
	S.5	34,08	34,08	29,53
	S.5			
	S.6	33,98	33,98	29,43
	S.6			
		<b>Valori medi</b>	<b>33,23</b>	<b>28,68</b>

Per quanto riguarda l'angolo di attrito di calcolo (o di progetto) delle **Morene** per il muro oggetto della presente relazione si assumerà un valore  $\varphi = 28^\circ$ .

Per quanto riguarda il peso di volume delle **Morene**, così come riportato nel paragrafo 6.2 della Relazione Geotecnica, si assumerà per il muro oggetto della presente relazione (falda assente) un valore  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ .

Per quanto riguarda la coesione efficace delle **Morene**, così come riportato nel paragrafo 6.2 della Relazione Geotecnica, si assumerà per il muro oggetto della presente relazione un valore  $c' = 0 \text{ kN/m}^2$ .

Pertanto, per il muro di sostegno oggetto della presente relazione si assumono i seguenti valori di progetto/calcolo:

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

$\Phi = 28^\circ$

$c' = 0 \text{ kPa}$

## 8 VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

### 8.1 VITA NOMINALE

La vita nominale di progetto  $V_N$  di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I delle NTC2018. Tali valori possono saranno impiegati anche per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Nel caso in oggetto, l'opera ricade nella definizione di "**Costruzioni con livelli di prestazioni elevati**".

La vita nominale viene pertanto assunta:  $V_N = 100$  anni.

### 8.2 CLASSE D'USO

Il DM 17/01/2018 al punto 2.4.2 attribuisce alle costruzioni, in funzione della loro destinazione d'uso e quindi delle conseguenze di una interruzione di operatività o di un'eventuale collasso in conseguenza di un evento sismico, diverse classi d'uso. Nel caso in oggetto si fa riferimento alla Classe III: "Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso."

Il coefficiente d'uso risulta pertanto:  $C_U = 1.5$ .

### 8.3 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ .

Per l'opera in progetto si ottiene pertanto il periodo di riferimento:  $V_R = V_N \times C_U = 100 \times 1.5 = 150$  anni.

## 9 METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA

Così come previsto dalle NTC 2018 per l'opera di sostegno sono state effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
  - scorrimento sul piano di posa;
  - collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
  - ribaltamento;

- *stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;*

- SLU di tipo strutturale (STR)

- *raggiungimento della resistenza strutturale della fondazione e del muro.*

accertando che la condizione 6.2.1 delle NTC2018 sia stata soddisfatta per ogni stato limite considerato.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno è stata effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle NTC 2018.

Le rimanenti verifiche sono state effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I delle NTC 2018.

Nella verifica a ribaltamento i coefficienti R3 della Tab. 6.5.I delle NTC 2018 sono stati applicati agli effetti delle azioni stabilizzanti.

Le tabelle che seguono, tratte dalle NTC 2018, introducono i coefficienti parziali utilizzati nella presente relazione.

**Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

**Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo**

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

**Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno**

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

## 9.1 METODO DI ANALISI IN CONDIZIONI SISMICHE

L'analisi del muro in condizioni sismiche è stata eseguita mediante metodi pseudo-statici di cui al paragrafo 7.11.6.2.1 delle NTC2018.

Nell'analisi pseudo-statica, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  sono stati valutati mediante le espressioni

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} \quad [7.11.6]$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad [7.11.7]$$

dove

$\beta_m$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

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

$\gamma$  = accelerazione di gravità.

L'accelerazione massima è stata valutata con la relazione

$$a_{\max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g \quad [7.11.8]$$

dove

$S$  = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ), di cui al § 3.2.3.2 delle NTC 2018;

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è pari a:

$\beta_m = 0.38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$  nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

Nel caso in questione si ha:

Sito in esame.

latitudine: 46,197944  
 longitudine: 10,142395  
 Classe: 3  
 Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 9166	Lat: 46,1879	Lon: 10,1019	Distanza: 3308,882
Sito 2	ID: 9167	Lat: 46,1899	Lon: 10,1739	Distanza: 2586,175
Sito 3	ID: 8945	Lat: 46,2398	Lon: 10,1711	Distanza: 5154,250
Sito 4	ID: 8944	Lat: 46,2379	Lon: 10,0990	Distanza: 5554,461

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B  
 Categoria topografica: T1  
 Periodo di riferimento: 150 anni

Coefficiente cu: 1,5

**Operatività (SLO):**

Probabilità di superamento: 81 %  
 Tr: 90 [anni]  
 ag: 0,043 g  
 Fo: 2,542  
 Tc\*: 0,228 [s]

**Danno (SLD):**

Probabilità di superamento: 63 %  
 Tr: 151 [anni]  
 ag: 0,054 g  
 Fo: 2,540  
 Tc\*: 0,243 [s]

**Salvaguardia della vita (SLV):**

Probabilità di superamento: 10 %  
 Tr: 1424 [anni]  
 ag: 0,119 g  
 Fo: 2,590  
 Tc\*: 0,284 [s]

**Prevenzione dal collasso (SLC):**

Probabilità di superamento: 5 %  
 Tr: 2475 [anni]  
 ag: 0,141 g  
 Fo: 2,619  
 Tc\*: 0,290 [s]

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2018

**SLD:**

Ss: 1,200  
 Cc: 1,460  
 St: 1,000  
 Kh: 0,030  
 Kv: 0,015  
 Amax: 0,634  
 Beta: 0,470

**SLV:**

Ss: 1,200  
 Cc: 1,410  
 St: 1,000  
 Kh: 0,054  
 Kv: 0,027  
 Amax: 1,399

Beta: 0,380

Poiché nel caso dell'opera oggetto della presenta relazione di calcolo trattasi di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si è assunto che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisce nello stesso punto di quella statica (a 1/3 H).

## 10 ANALISI DEI CARICHI

### 10.1 CARICHI PERMANENTI G1

#### 10.1.1 PESO PROPRIO MURO DI SOSTEGNO

Il peso proprio è calcolato in automatico dal software in funzione dei pesi di volume inseriti nel database e alla reale geometria degli elementi.

In particolare, il peso di volume del c.a. è stato assunto pari a  $25 \text{ kN/m}^3$

Per quanto riguarda il cordolo di sommità di dimensioni  $60 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$ , per la porzione non inserita nel modello di calcolo avente dimensioni  $30 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$  si è introdotto un carico lineare pari a:

Peso cordolo =  $0,30 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 4,5 \text{ kN/m}$

e un momento torcente per unità di lunghezza pari a:

Momento cordolo =  $4,5 \text{ kN/m} \times 0,15 \text{ m} = 0,68 \text{ kN}$

### 10.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI G2

#### 10.2.1 PESO DEL RIEMPIMENTO A TERGO DEI MURI

Il peso proprio del riempimento è calcolato in automatico dal software in funzione dei pesi di volume inseriti e alla reale geometria.

In particolare, il peso di volume del materiale costituente il riempimento è stato assunto pari a  $20 \text{ kN/m}^3$ .

#### 10.2.2 PESO DEL RIVESTIMENTO IN PIETRA

Il rivestimento in pietra previsto in progetto ha uno spessore di  $30 \text{ cm}$ . Il peso di volume è stato assunto pari a  $20 \text{ kN/m}^3$ . Essendo il rivestimento del muro alto  $602 \text{ cm}$ , il carico lineare corrispondente è pari a:

Peso rivestimento =  $20 \text{ kN/m}^3 \times 0,30 \text{ m} \times 6,02 \text{ m} = 36,00 \text{ kN/m}$

applicato sull'estradosso della fondazione a una distanza di  $15 \text{ cm}$  dal paramento rivestito.

#### 10.2.3 SPINTA DEL TERRENO IN CONDIZIONI STATICHE

La spinta del terreno in condizioni statiche è stata calcolata mediante la teoria di Coulomb.

Per i riempimenti a tergo dei muri i parametri di progetto sono:

- Peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\varphi = 36^\circ$
- Coesione  $c = 0$

Nella presente relazione si è considerato un angolo di attrito pari a  $35^\circ$  e un angolo di attrito tra terreno e paramento pari a  $2/3 \varphi$  ossia  $23,3^\circ$ .

## 10.3 AZIONI VARIABILI Q

### 10.3.1 SOVRACCARICO SUL TERRENO A MONTE

A favore di sicurezza, è stato inserito un carico accidentale sul terreno a tergo dei piedritti pari a 20.0 kPa solo per il tratto orizzontale di larghezza pari 200 cm

## 11 PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA

I software utilizzati sono:

### 1) MDC/2018 della Geostru-software

Versione: 2018.25.7.978

**autore:** ing. Filippo Catanzariti

**produttore:** Engsoft srl

**distributore:** Engsoft srl

**descrizione:** software per il calcolo di opere di sostegno

**Stato licenza:** Vero

**Codice attivazione:** 5DYGC-URLKM-DT7KN-ASUD2

**Stato attivazione:** 11/07/2018

### 2) SLOPE/2018 della Geostru-software

Versione: 2018.29.6.1327

**autore:** ing. Filippo Catanzariti

**produttore:** Engsoft srl

**distributore:** Engsoft srl

**descrizione:** software per le analisi di stabilità

Stato licenza: Vero

Codice attivazione: 0ODMB-06LJK-0RIRT-74UKK

**Stato attivazione:** 24/05/2018

## 11.1 VALIDAZIONI DEL CALCOLO E CASI PROVA

### MDC 2018/SLOPE 2018

I software GeoStru sono dotati di sistemi di controllo dei dati di input e di output molto sofisticati i quali sono in grado di rilevare errori gravi tali da non consentire le corrette elaborazioni.

**L'affidabilità dei codici utilizzati è stata testata attraverso la risoluzione manuale di alcuni schemi semplici della struttura e la risoluzione di alcuni test di validazione che si trovano sul sito del produttore:** <http://www.geostru.eu/it/validazione-codici-di-calcolo/>.

## 11.2 ANALISI DELL'OPERA DI SOSTEGNO

### 11.3 CALCOLO DELLA SPINTA ATTIVA CON COULOMB

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Coulomb* è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta  $S_t$  è applicata ad  $1/3 H$  di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di  $K_a$ :

$\delta < (\beta - \varphi - \varepsilon)$  secondo Muller-Breslau

$\gamma_t$  = Peso unità di volume del terreno;

$\beta$  = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

$\varphi$  = Angolo di resistenza al taglio del terreno;

$\delta$  = Angolo di attrito terra-muro;

$\varepsilon$  = inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

$H$  = Altezza della parete.

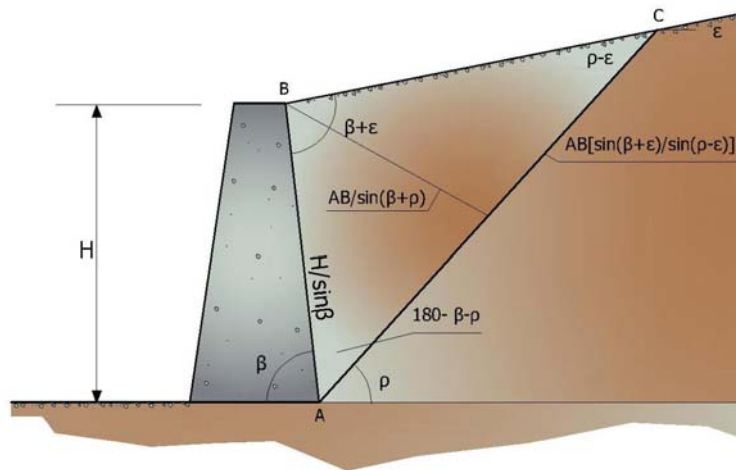


Fig. 5 Cuneo di rottura usato per la derivazione dell'equazione di Coulomb relativa alla pressione attiva.

Se  $\varepsilon = \delta = 0$   $\beta = 90^\circ$  (muro con parete verticale liscia e terrapieno con superficie orizzontale) la spinta  $S_t$  si semplifica nella forma:

$$S_t = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \frac{(1 - \sin\varphi)}{(1 + \sin\varphi)} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

che coincide con l'equazione di Rankine per il calcolo della spinta attiva del terreno con terrapieno orizzontale.

In effetti Rankine adottò essenzialmente le stesse ipotesi fatte da Coulomb, ad eccezione del fatto che trascurò l'attrito terra-muro e la presenza di coesione. Nella sua formulazione generale l'espressione di  $K_a$  di Rankine si presenta come segue:

$$K_a = \cos\varepsilon \frac{\cos\varepsilon - \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\varphi}}{\cos\varepsilon + \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\varphi}}$$



## 11.4 CALCOLO DELLA SPINTA ATTIVA CON MONONOBE & OKABE

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo  $\varepsilon$  di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo  $\beta$  di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità  $\vartheta$  tale che:

$$\tan\vartheta = \left( \frac{k_h}{1 \pm k_h} \right)$$

con  $k_h$  coefficiente sismico orizzontale e  $k_v$  verticale.

### Calcolo coefficienti sismici

Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni (**NTC 2018**):

$$k_h = \beta_m \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right); \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove

$\beta_m$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

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

$g$  = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la 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 (SS) e dell'amplificazione topografica (ST), di cui al § 3.2.3.2 delle NTC 2018;

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è pari a:

$\beta_m = 0.38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$  nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

Nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di specifici studi, si deve assumere che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

Lo stato limite di ribaltamento deve essere trattato impiegando coefficienti parziali unitari sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e utilizzando valori di  $\beta_m$  incrementati del 50% rispetto a quelli innanzi indicati e comunque non superiori all'unità.

## 11.5 CARICO UNIFORME SUL TERRAPIENO

Un carico  $Q$ , uniformemente distribuito sul piano campagna induce delle pressioni costanti pari a:

$$P_q = K_a \cdot Q \cdot \frac{\sin\beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Per integrazione, una spinta pari a  $S_q$ :

$$S_q = K_a \cdot Q \cdot H \frac{\sin\beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Con punto di applicazione ad H/2, avendo indicato con  $K_a$  il coefficiente di spinta attiva secondo *Muller-Breslau*.

### 11.6 SPINTA ATTIVA IN CONDIZIONI SISMICHE

In presenza di sisma la forza di calcolo esercitata dal terrapieno sul muro è data da:

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma \cdot (1 \pm k_v) \cdot KH^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

Dove:

H= Altezza muro;

$k_v$ = Coefficiente sismico verticale;

$\gamma$ = Peso per unità di volume del terreno;

K= Coefficienti di spinta attiva totale (statico + dinamico);

$E_{ws}$ = Spinta idrostatica dell'acqua;

$E_{wd}$ = Spinta idrodinamica.

Per terreni impermeabili la spinta idrodinamica  $E_{wd} = 0$ , ma viene effettuata una correzione sulla valutazione dell'angolo  $\vartheta$  della formula di Mononobe & Okabe così come di seguito:

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

### 11.7 CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI SU TERRENI

#### VESIC - Analisi a breve termine

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove  $V_d$  è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre  $R_d$  è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto  $R_d$  si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q$$

Dove:

$A' = B' \cdot L'$  area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

$c_u$ = Coesione non drenata;

q= Pressione litostatica totale sul piano di posa;

$s_c$ = Fattore di forma;

$s_c = 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'}\right)$  per fondazioni rettangolari, il valore di  $s_c$  viene assunto pari ad 1 per fondazioni nastriformi

$d_c$ = Fattore di profondità;

$$d_c = 0.4 \cdot K \quad \text{con } K = \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} \leq 1 \text{ altrimenti } K = \arctan \frac{D}{B}$$

$i_c$ = Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H;

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

$A_f$  = Area efficace della fondazione;

$c_a$  = Aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

### VESIC - Analisi a lungo termine

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \leq c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

### Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left( \frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan \phi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare}$$

### Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left( 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \phi'}$$

$$m = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}}$$

### Fattori di profondità

$$d_c = 1 + 0.4K$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi) \cdot K$$

$$\text{con } K = \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} \leq 1 \text{ altrimenti } K = \arctan \frac{D}{B}$$

$$d_\gamma = 1$$

### Sollecitazioni muro

Per il calcolo delle sollecitazioni il muro è stato discretizzato in n-tratti in funzione delle sezioni significative e per ogni tratto sono state calcolate le spinte del terreno (valutate secondo un piano di rottura passante per il paramento lato monte), le risultanti delle forze orizzontali e verticali e le forze inerziali.

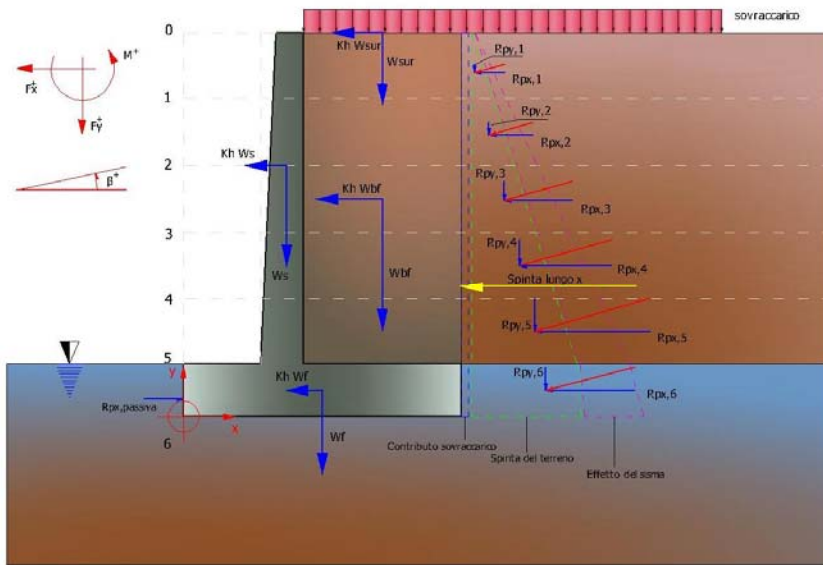


Fig. 6 Schema delle forze agenti su un muro e convenzioni sui segni

### Calcolo delle spinte per le verifiche globali

Le spinte sono state valutate ipotizzando un piano di rottura passante per l'estradosso della mensola di fondazione lato monte, tale piano è stato discretizzato in  $n$ -tratti.

### Convenzione segni

- Forze verticali** positive se dirette dall'alto verso il basso;
- Forze orizzontali** positive se dirette da monte verso valle;
- Coppie** positive se antiorarie;
- Angoli** positivi se antiorari.

## 12 RISULTATI DELLE VERIFICHE

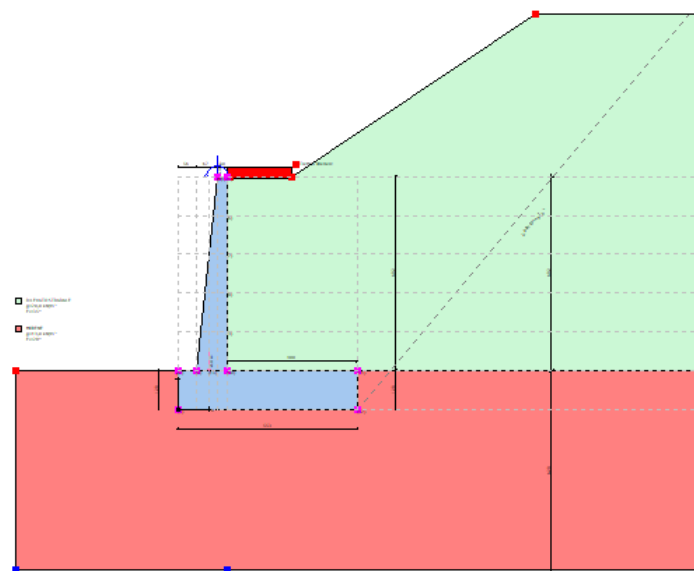


Fig. 7 Modello di calcolo

### Dati generali

Lat./Long. [WGS84] 46,197037/10,141344

Normativa GEO NTC 2018  
 Normativa STR NTC 2018  
 Spinta Mononobe & Okabe [M.O. 1929]

**Dati generali muro**

Altezza muro 602,0 cm  
 Spessore testa muro 30,0 cm  
 Risega muro lato valle 67,0 cm  
 Risega muro lato monte 0,0 cm  
 Sporgenza mensola a valle 56,0 cm  
 Sporgenza mensola a monte 400,0 cm  
 Svaso mensola a valle 0,0 cm  
 Altezza estremità mensola a valle 120,0 cm  
 Altezza estremità mensola a monte 120,0 cm

**Coefficienti sismici [N.T.C.]**

**Dati generali**

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie  
 Classe d'uso: Classe III  
 Vita nominale: 100,0 [anni]  
 Vita di riferimento: 150,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: B  
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	90,0	0,42	2,54	0,23
S.L.D.	151,0	0,53	2,54	0,24
S.L.V.	1424,0	1,17	2,59	0,28
S.L.C.	2475,0	1,38	2,62	0,29

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Classe III

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,504	1,0	0,0514	0,0257
S.L.D.	0,636	0,47	0,0305	0,0152
S.L.V.	1,404	0,38	0,0544	0,0272
S.L.C.	1,656	1,0	0,1689	0,0844

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

**Conglomerati**

Nr.	Classe Calcestruzzo	fck,cubi [Mpa]	Ec [Mpa]	fck [Mpa]	fcd [Mpa]	fctd [Mpa]	fctm [Mpa]
1	C20/25	24,52	29960	19,61	11,33	1,03	2,21
2	C25/30	29,42	31470	24,52	14,16	1,19	2,56
3	C28/35	34,32	32300	27,46	15,86	1,28	2,76
4	C40/50	50,01	35219,99	39,23	19,83	1,49	3,2
5	C30/37	37	33019	30	17,4	1,37	2,94

**Acciai:**

Nr.	Classe acciaio	Es [Mpa]	fyk [Mpa]	fyd [Mpa]	ftk [Mpa]	ftd [Mpa]	ep_tk	epd_ult	β1*β2 iniziale	β1*β2 finale
1	B450C	200000	450	391,3	540	391,3	.075	.0675	1	0,5
2	B450C*	200000	450	391,3	540	450	.075	.0675	1	0,5
3	B450C**	200000	450	391,3	458,3	398,5	.012	.01	1	0,5
4	S235H	210000	240	208,7	360	208,7	0,012	0,01	1	0,5
5	S275H	210000	280	243,5	430	243,5	0,012	0,01	1	0,5

6	S355H	210000	360	313	510	360	0,012	0,01	1	0,5
---	-------	--------	-----	-----	-----	-----	-------	------	---	-----

Materiali impiegati realizzazione muro C30/37 B450C

Copriferro, Elevazione	5,0 cm
Copriferro, Fondazione	5,0 cm
Copriferro, Dente di fondazione	5,0 cm

### Stratigrafia

Ns	Spessore strato (cm)	Inclinazione e dello strato. (°)	Peso unità di volume (KN/m³)	Angolo di resistenza a taglio (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito terra muro (°)	Presenza di falda (Si/No)	Litologia	Descrizione
1	602	0	20,00	35	0,00	23	No		RILEVATO STRADALE
2	620	0	19,00	28	0,00	20	No		MORENE

### Carichi concentrati

Descrizione	Posizione x (cm)	Posizione y (cm)	Fx (kN/m)	Fy (kN/m)	Mz (kNm/m)
Rivestimento in pietra	95,0	120,0	0,0	48,0	0,0
Peso cordolo	123,0	722,0	0,0	4,5	0,68

### Carichi distribuiti

Descrizione	Ascissa iniziale (cm)	Ascissa finale (cm)	Valore iniziale (kPa)	Valore finale (kPa)	Profondità (cm)
Traffico stradale	0,0	200,0	20,0	20,0	-510,0

## FATTORI DI COMBINAZIONE

### Scorrimento A1+M1+R3

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,30
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	0,00
5	Spinta sismica in x	0,00
6	Spinta sismica in y	0,00
7	Traffico stradale	1,50
8	Rivestimento in pietra	1,00
9	Peso cordolo	1,30

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1,4
2	Scorrimento	1,1
3	Partecipazione spinta passiva	1,4
	Ribaltamento	1,15

### A Unitari+M1+RSLV

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	0,00
5	Spinta sismica in x	1,00
6	Spinta sismica in y	1,00

7	Traffico stradale	0,20
8	Rivestimento in pietra	1,00
9	Peso cordolo	1,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1,2
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1,2
	Ribaltamento	1

SLE 5

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	0,00
6	Spinta sismica in y	0,00
7	Traffico stradale	1,00
8	Rivestimento in pietra	1,00
9	Peso cordolo	1,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1
	Ribaltamento	0

SLE 6

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	1,00
6	Spinta sismica in y	1,00
7	Traffico stradale	1,00
8	Rivestimento in pietra	1,00
9	Peso cordolo	1,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1
	Ribaltamento	0

SLE 7

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00





	Ribaltamento	1
--	--------------	---

Carico limite A1+M1+R3

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,30
2	Spinta terreno	1,30
3	Peso terreno mensola	1,30
4	Spinta falda	0,00
5	Spinta sismica in x	0,00
6	Spinta sismica in y	0,00
7	Traffico stradale	1,50
8	Rivestimento in pietra	1,30
9	Peso cordolo	1,30

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1,4
2	Scorrimento	1,1
3	Partecipazione spinta passiva	1,4
	Ribaltamento	1,15

Ribaltamento A1+M1+R3

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,30
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	0,00
5	Spinta sismica in x	0,00
6	Spinta sismica in y	0,00
7	Traffico stradale	1,50
8	Rivestimento in pietra	0,80
9	Peso cordolo	1,30

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1,4
2	Scorrimento	1,1
3	Partecipazione spinta passiva	1,4
	Ribaltamento	1,15

**Scorrimento A1+M1+R3 [GEO+STR]**

**CALCOLO SPINTE**

**Discretizzazione terreno**

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> );
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi      Qf      G      Eps      Fi      Delta      c      β      Note

722,0	601,6	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0
601,6	481,2	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0
481,2	360,8	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0
360,8	240,4	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0
240,4	120,0	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0

### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

$\mu$  Angolo di direzione della spinta.  
 $K_a$  Coefficiente di spinta attiva.  
 $K_d$  Coefficiente di spinta dinamica.  
 $D_k$  Coefficiente di incremento dinamico.  
 $K_{ax}, K_{ay}$  Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.  
 $D_{kx}, D_{ky}$  Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

$\mu$	$K_a$	$K_d$	$D_k$	$K_{ax}$	$K_{ay}$	$D_{kx}$	$D_{ky}$
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0

### Spinte risultanti e punto di applicazione

$Q_i$  Quota inizio strato.  
 $Q_f$  Quota inizio strato.  
 $R_{px}, R_{py}$  Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);  
 $Z(R_{px})$  Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);  
 $Z(R_{py})$  Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	$Q_i$	$Q_f$	$R_{px}$	$R_{py}$	$z(R_{px})$	$z(R_{py})$
1	722,0	601,6	17,17	7,29	654,92	654,92
2	601,6	481,2	28,94	12,28	537,32	537,32
3	481,2	360,8	40,71	17,28	418,1	418,1
4	360,8	240,4	52,48	22,28	298,35	298,35
5	240,4	120,0	64,26	27,27	178,36	178,36

### CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

$P_y$  Peso del muro (kN);  
 $P_x$  Forza inerziale (kN);  
 $X_p, Y_p$  Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	$P_x$	$P_y$	$X_p$	$Y_p$
601,6	0,0	10,84	136,4	658,1
481,2	0,0	25,62	132,6	589,2
360,8	0,0	44,38	128,6	517,2
240,4	0,0	67,05	124,5	443,3
120,0	0,0	93,73	120,3	368,1

### Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).  
 $F_x$  Forza in direzione x (kN);  
 $F_y$  Forza in direzione y (kN);  
 $M$  Momento (kNm);  
 $H$  Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	$F_x$	$F_y$	$M$	$H$
601,6	17,17	23,97	8,72	43,4
481,2	46,11	51,04	40,55	56,8
360,8	86,82	87,08	110,61	70,2
240,4	139,3	132,03	232,13	83,6

120,0      203,56      185,98      418,38      97,0

**Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)**

- Afv      Area dei ferri lato valle.
- Afm      Area dei ferri lato monte.
- Nu      Sforzo normale ultimo (kN);
- Mu      Momento flettente ultimo (kNm);
- Vrd      Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
- Vwd      Resistenza a taglio piegati (kN);
- Sic. VT       $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
- Vsdu      Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
10Ø16 (20,11)	10Ø16 (20,11)	24,66	280,11	S	203,23	0,0	11,61
10Ø16 (20,11)	10Ø16 (20,11)	52,08	391,03	S	237,05	0,0	5,04
10Ø16 (20,11)	10Ø20 (31,42)	88,96	765,83	S	310,45	0,0	3,51
10Ø16 (20,11)	10Ø20 (31,42)	134,57	946,21	S	345,89	0,0	2,44
10Ø16 (20,11)	10Ø20 (31,42)	189,61	1135,77	S	380,84	0,0	1,83

**VERIFICHE GLOBALI**

Piano di rottura passante per  $(xr1, yr1) = (555,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(xr2, yr2) = (555,0/887,1)$   
 Centro di rotazione  $(xro, yro) = (0,0/0,0)$

**Discretizzazione terreno**

- Qi      Quota iniziale strato (cm);
- Qf      Quota finale strato
- G      Peso unità di volume (KN/m³);
- Eps      Inclinazione dello strato. (°);
- Fi      Angolo di resistenza a taglio (°);
- Delta      Angolo attrito terra muro;
- c      Coesione (kPa);
- β      Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
- Note      Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
887,1	722,0	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
722,0	601,6	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
601,6	481,2	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
481,2	360,8	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
360,8	240,4	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
240,4	120,0	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	20,0	0,0	0,0	

**Coefficienti di spinta ed inclinazioni**

- μ      Angolo di direzione della spinta.
- Ka      Coefficiente di spinta attiva.
- Kd      Coefficiente di spinta dinamica.
- Dk      Coefficiente di incremento dinamico.
- Kax, Kay      Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
- Dkx, Dky      Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
20,0	0,32	0,0	0,0	0,3	0,11	0,0	0,0

### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.  
 Qf Quota inizio strato.  
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);  
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);  
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	887,1	722,0	26,54	11,26	793,07	793,07
2	722,0	601,6	33,31	14,14	658,25	658,25
3	601,6	481,2	45,08	19,14	538,78	538,78
4	481,2	360,8	56,85	24,13	418,92	418,92
5	360,8	240,4	68,63	29,13	298,88	298,88
6	240,4	120,0	80,4	34,13	178,73	178,73
7	120,0	0,0	90,94	37,62	58,82	58,96

### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.  
 Qf Quota inizio strato.  
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);  
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);  
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	120,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

### Sollecitazioni totali

Fx Forza in direzione x (kN);  
 Fy Forza in direzione y (kN);  
 M Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	401,75	169,55	372,07
Carichi esterni	0,0	53,85	-51,91
Peso muro	0,0	93,73	-112,75
Peso fondazione	0,0	163,28	-453,1
Sovraccarico	0,0	120,0	-426,0
Terr. fondazione	0,0	547,64	-1987,93
	<b>401,75</b>	<b>1148,05</b>	<b>-2659,63</b>

Momento stabilizzante -3973,61 kNm  
 Momento ribaltante 1313,98 kNm

### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	401,75 kN	
Sommatoria forze verticali	1148,05 kN	
Coefficiente di attrito	0,53	
Adesione	0,0	kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °	
Forze normali al piano di scorrimento	1148,05 kN	
Forze parall. al piano di scorrimento	401,75 kN	
Resistenza terreno	610,43 kN	
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>1,38</b>	
<b>Traslazione verificata Csd&gt;1</b>		

### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante -3973,61 kNm  
 Momento ribaltante 1313,98 kNm

**Coeff. sicurezza ribaltamento C<sub>sv</sub>** **2,63**  
**Muro verificato a ribaltamento C<sub>sv</sub>>1**

**Carico limite verticale VESIC**

Somma forze in direzione x (F <sub>x</sub> )	401,75 kN
Somma forze in direzione y (F <sub>y</sub> )	1148,05 kN
Somma momenti	-2659,63 kNm
Larghezza fondazione	555,0 cm
Lunghezza	11500,0 cm
Eccentricità su B	45,84 cm
Peso unità di volume	19,0 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza al taglio	28,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	120,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m <sup>3</sup>
N <sub>q</sub>	14,72
N <sub>c</sub>	25,8
N <sub>g</sub>	16,72
Fattori di forma	
sq	1,02
sc	1,02
sg	0,98
Inclinazione carichi	
iq	0,43
ic	0,39
ig	0,28
Fattori di profondità	
dq	1,08
dc	1,1
dg	1,0
Carico limite verticale (Q <sub>lim</sub> )	1711,0 kN
<b>Fattore sicurezza (C<sub>sq</sub>=Q<sub>lim</sub>/F<sub>y</sub>)</b>	<b>1,06</b>

**Carico limite verificato C<sub>sq</sub>>1**

**Tensioni sul terreno**

Ascissa centro sollecitazione	231,66 cm
Larghezza della fondazione	555,0 cm
x = 0,0 cm	309,36 kPa
x = 555,0 cm	104,36 kPa

**MENSOLA A VALLE**

X<sub>progr.</sub> Ascissa progressiva (cm);  
 F<sub>x</sub> Forza in direzione x (kN);  
 F<sub>y</sub> Forza in direzione y (kN);  
 M Momento (kNm);  
 H Altezza sezione (cm);

X <sub>progr.</sub>	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	M	H
58,0	0,0	-156,15	-45,8	120,0

**Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)**

A<sub>fi</sub> Area dei ferri inferiori.  
 A<sub>fs</sub> Area dei ferri superiori.  
 N<sub>u</sub> Sforzo normale ultimo (kN);  
 M<sub>u</sub> Momento flettente ultimo (kNm);  
 V<sub>rd</sub> Resistenza a taglio senza armature trasversali V<sub>rd</sub> (kN);  
 V<sub>wd</sub> Resistenza a taglio piegati (kN);  
 Sic. VT min{V<sub>rd</sub>; V<sub>wd</sub>}/V<sub>sdu</sub>

Vsdu		Taglio di calcolo (kN);					
Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
10Ø22 (38,01)	10Ø22 (38,01)	0,01	1624,25	S	422,86	0,0	2,66

**MENSOLA A MONTE**

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
155,0	90,94	241,97	-1064,69	120,0

**Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)**

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
10Ø22 (38,01)	10Ø22 (38,01)	92,5	1668,85	S	436,2	0,0	1,77

**A\_Unitari+M1+RSLV [GEO+STR]**

Coefficiente sismico orizzontale Kh 0,0544  
 Coefficiente sismico verticale Kv 0,0272

**CALCOLO SPINTE**

**Discretizzazione terreno**

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
722,0	601,6	20,0	20,92	35,0	23,0	0,0	0,0	
601,6	481,2	20,0	20,92	35,0	23,0	0,0	0,0	
481,2	360,8	20,0	20,92	35,0	23,0	0,0	0,0	
360,8	240,4	20,0	20,92	35,0	23,0	0,0	0,0	
240,4	120,0	20,0	20,92	35,0	23,0	0,0	0,0	

**Coefficienti di spinta ed inclinazioni**

μ Angolo di direzione della spinta.  
 Ka Coefficiente di spinta attiva.  
 Kd Coefficiente di spinta dinamica.  
 Dk Coefficiente di incremento dinamico.  
 Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.

Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

$\mu$	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,33	0,39	0,07	0,3	0,13	0,07	0,03
23,0	0,33	0,39	0,07	0,3	0,13	0,07	0,03
23,0	0,33	0,39	0,07	0,3	0,13	0,07	0,03
23,0	0,33	0,39	0,07	0,3	0,13	0,07	0,03
23,0	0,33	0,39	0,07	0,3	0,13	0,07	0,03

### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.  
 Qf Quota inizio strato.  
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);  
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);  
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	722,0	601,6	14,89	6,32	657,2	657,2
2	601,6	481,2	21,71	9,22	538,25	538,25
3	481,2	360,8	28,54	12,11	418,6	418,6
4	360,8	240,4	35,37	15,01	298,66	298,66
5	240,4	120,0	42,19	17,91	178,58	178,58

### CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py Peso del muro (kN);  
 Px Forza inerziale (kN);  
 Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

	Quota	Px	Py	Xp	Yp
	601,6	0,59	10,84	136,4	658,1
	481,2	1,39	25,62	132,6	589,2
	360,8	2,41	44,38	128,6	517,2
	240,4	3,65	67,05	124,5	443,3
	120,0	5,1	93,73	120,3	368,1

### Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).  
 Fx Forza in direzione x (kN);  
 Fy Forza in direzione y (kN);  
 M Momento (kNm);  
 H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
601,6	15,48	21,66	8,05	43,4
481,2	38,0	45,66	35,41	56,8
360,8	67,56	76,53	91,37	70,2
240,4	104,16	114,22	183,75	83,6
120,0	147,8	158,8	320,38	97,0

### Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afv Area dei ferri lato valle.  
 Afrm Area dei ferri lato monte.  
 Nu Sforzo normale ultimo (kN);  
 Mu Momento flettente ultimo (kNm);  
 Vrd Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);  
 Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);  
 Sic. VT  $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$   
 Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afrm	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
-----	------	----	----	------	-----	-----	---------

10Ø16 (20,11)	10Ø16 (20,11)	22,25	279,71	S	202,92	0,0	12,86
10Ø16 (20,11)	10Ø16 (20,11)	46,67	389,83	S	236,3	0,0	6,1
10Ø16 (20,11)	10Ø20 (31,42)	78,17	763,0	S	308,95	0,0	4,48
10Ø16 (20,11)	10Ø20 (31,42)	116,46	940,44	S	343,33	0,0	3,23
10Ø16 (20,11)	10Ø20 (31,42)	161,97	1125,42	S	376,9	0,0	2,5

### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (555,0/0,0)  
 Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (555,0/887,1)  
 Centro di rotazione (xro,yro) = (0,0/0,0)

#### Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
874,9	722,0	20,0	20,92	35,0	23,0	0,0	0,0	
722,0	601,6	20,0	20,92	35,0	23,0	0,0	0,0	
601,6	481,2	20,0	20,92	35,0	23,0	0,0	0,0	
481,2	360,8	20,0	20,92	35,0	23,0	0,0	0,0	
360,8	240,4	20,0	20,92	35,0	23,0	0,0	0,0	
240,4	120,0	20,0	20,92	35,0	23,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	20,0	0,0	0,0	

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,33	0,39	0,07	0,3	0,13	0,07	0,03
23,0	0,33	0,39	0,07	0,3	0,13	0,07	0,03
23,0	0,33	0,39	0,07	0,3	0,13	0,07	0,03
23,0	0,33	0,39	0,07	0,3	0,13	0,07	0,03
23,0	0,33	0,39	0,07	0,3	0,13	0,07	0,03
23,0	0,33	0,39	0,07	0,3	0,13	0,07	0,03
20,0	0,32	0,36	0,05	0,3	0,11	0,05	0,02

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	874,9	722,0	24,78	10,42	792,79	792,74
2	722,0	601,6	27,26	11,5	659,29	659,27
3	601,6	481,2	34,09	14,39	539,39	539,38



4	481,2	360,8	40,91	17,29	419,33	419,32
5	360,8	240,4	47,74	20,19	299,17	299,16
6	240,4	120,0	54,56	23,09	178,94	178,94
7	120,0	0,0	61,17	25,58	58,86	59,0

### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	120,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

### Sollecitazioni totali

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	290,51	122,46	328,41
Carichi esterni	0,0	52,5	-50,46
Peso muro	5,1	93,73	-93,99
Peso fondazione	8,88	163,28	-447,77
Sovraccarico	0,87	16,0	-48,85
Terr. fondazione	29,53	542,76	-1831,48
	<b>334,89</b>	<b>990,73</b>	<b>-2144,13</b>

Momento stabilizzante	-3320,94 kNm
Momento ribaltante	1176,81 kNm

### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	334,89 kN
Sommatoria forze verticali	990,73 kN
Coefficiente di attrito	0,53
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	990,73 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	334,89 kN
Resistenza terreno	526,78 kN
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>1,57</b>
<b>Traslazione verificata Csd&gt;1</b>	

### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-3320,94 kNm
Momento ribaltante	1176,81 kNm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>2,82</b>
<b>Muro verificato a ribaltamento Csv&gt;1</b>	

### Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	334,89 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	990,73 kN
Somma momenti	-2144,13 kNm
Larghezza fondazione	555,0 cm
Lunghezza	11500,0 cm
Eccentricità su B	61,08 cm
Peso unità di volume	19,0 KN/m³
Angolo di resistenza al taglio	28,0 °

Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	120,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m <sup>3</sup>
Nq	14,72
Nc	25,8
Ng	16,72
Fattori di forma	
sq	1,02
sc	1,02
sg	0,98
Inclinazione carichi	
iq	0,44
ic	0,4
ig	0,29
Fattori di profondità	
dq	1,08
dc	1,11
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	1614,28 kN
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>1,36</b>

### Carico limite verificato Csq>1

#### Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	216,42 cm	
Larghezza della fondazione	555,0 cm	
x = 0,0 cm	296,38	kPa
x = 555,0 cm	60,64	kPa

#### MENSOLA A VALLE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
58,0	0,0	-147,7	-43,49	120,0

#### Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	min{Vrd; Vwd}/Vsdu
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
10Ø22 (38,01)	10Ø22 (38,01)	0,01	1624,25	S	422,86	0,0	2,81

#### MENSOLA A MONTE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
155,0	61,17	216,54	-945,94	120,0

**Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)**

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	$\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
10Ø22 (38,01)	10Ø22 (38,01)	62,2	1654,27	S	431,83	0,0	1,96

**A\_unitari+M1+RSLV+Beta (+50%) [GEO]**

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0,0811
Coefficiente sismico verticale Kv	0,0416

**CALCOLO SPINTE**

**Discretizzazione terreno**

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
722,0	601,6	20,0	20,16	35,0	23,0	0,0	0,0	
601,6	481,2	20,0	20,16	35,0	23,0	0,0	0,0	
481,2	360,8	20,0	20,16	35,0	23,0	0,0	0,0	
360,8	240,4	20,0	20,16	35,0	23,0	0,0	0,0	
240,4	120,0	20,0	20,16	35,0	23,0	0,0	0,0	

**Coefficienti di spinta ed inclinazioni**

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,32	0,49	0,2	0,3	0,13	0,18	0,08
23,0	0,32	0,49	0,2	0,3	0,13	0,18	0,08
23,0	0,32	0,49	0,2	0,3	0,13	0,18	0,08
23,0	0,32	0,49	0,2	0,3	0,13	0,18	0,08
23,0	0,32	0,49	0,2	0,3	0,13	0,18	0,08

**Spinte risultanti e punto di applicazione**

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.

Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);  
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);  
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	722,0	601,6	30,34	12,88	660,69	660,69
2	601,6	481,2	33,7	14,3	540,4	540,4
3	481,2	360,8	37,06	15,73	420,09	420,09
4	360,8	240,4	40,42	17,16	299,77	299,77
5	240,4	120,0	43,78	18,59	179,43	179,43

#### CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py Peso del muro (kN);  
 Px Forza inerziale (kN);  
 Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

	Quota	Px	Py	Xp	Yp
	601,6	1,32	10,84	136,4	658,1
	481,2	3,12	25,62	132,6	589,2
	360,8	5,4	44,38	128,6	517,2
	240,4	8,16	67,05	124,5	443,3
	120,0	11,4	93,73	120,3	368,1

#### Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).  
 Fx Forza in direzione x (kN);  
 Fy Forza in direzione y (kN);  
 M Momento (kNm);  
 H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
601,6	31,65	28,21	16,68	43,4
481,2	67,15	57,3	70,21	56,8
360,8	106,49	91,79	166,22	70,2
240,4	149,68	131,62	308,85	83,6
120,0	196,7	176,88	502,32	97,0

#### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (555,0/0,0)  
 Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (555,0/887,1)  
 Centro di rotazione (xro,yro) = (0,0/0,0)

#### Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);  
 Qf Quota finale strato  
 G Peso unità di volume (KN/m³);  
 Eps Inclinazione dello strato. (°);  
 Fi Angolo di resistenza a taglio (°);  
 Delta Angolo attrito terra muro;  
 c Coesione (kPa);  
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);  
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
868,9	722,0	20,0	20,16	35,0	23,0	0,0	0,0	
722,0	601,6	20,0	20,16	35,0	23,0	0,0	0,0	
601,6	481,2	20,0	20,16	35,0	23,0	0,0	0,0	
481,2	360,8	20,0	20,16	35,0	23,0	0,0	0,0	
360,8	240,4	20,0	20,16	35,0	23,0	0,0	0,0	

240,4	120,0	20,0	20,16	35,0	23,0	0,0	0,0
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	20,0	0,0	0,0

### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

$\mu$	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

$\mu$	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,32	0,49	0,2	0,3	0,13	0,18	0,08
23,0	0,32	0,49	0,2	0,3	0,13	0,18	0,08
23,0	0,32	0,49	0,2	0,3	0,13	0,18	0,08
23,0	0,32	0,49	0,2	0,3	0,13	0,18	0,08
23,0	0,32	0,49	0,2	0,3	0,13	0,18	0,08
23,0	0,32	0,49	0,2	0,3	0,13	0,18	0,08
20,0	0,32	0,42	0,12	0,3	0,11	0,12	0,04

### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	868,9	722,0	49,21	20,65	794,2	794,19
2	722,0	601,6	44,06	18,51	661,03	661,03
3	601,6	481,2	47,42	19,94	540,69	540,68
4	481,2	360,8	50,79	21,36	420,34	420,33
5	360,8	240,4	54,15	22,79	299,98	299,97
6	240,4	120,0	57,51	24,22	179,61	179,61
7	120,0	0,0	61,22	25,52	59,17	59,28

### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	120,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

### Sollecitazioni total i

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	364,36	152,99	604,8
Carichi esterni	0,0	52,5	-50,46
Peso muro	11,4	93,73	-70,78
Peso fondazione	19,86	163,28	-441,19
Sovraccarico	1,95	16,0	-39,17
Terr. fondazione	65,73	540,36	-1655,4
	<b>463,3</b>	<b>1018,86</b>	<b>-1652,2</b>

Momento stabilizzante -3480,08 kNm  
 Momento ribaltante 1827,88 kNm

**Verifica al ribaltamento**

Momento stabilizzante -3480,08 kNm  
 Momento ribaltante 1827,88 kNm  
**Coeff. sicurezza ribaltamento C<sub>sv</sub> 1,9**

**Muro verificato a ribaltamento C<sub>sv</sub>>1**

**MENSOLA A VALLE**

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);  
 Fx Forza in direzione x (kN);  
 Fy Forza in direzione y (kN);  
 M Momento (kNm);  
 H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
58,0	0,0	-211,39	-62,67	120,0

**MENSOLA A MONTE**

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);  
 Fx Forza in direzione x (kN);  
 Fy Forza in direzione y (kN);  
 M Momento (kNm);  
 H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
155,0	61,22	1048,23	-1885,1	120,0

**Carico limite A1+M1+R3 [GEO+STR]**

**CALCOLO SPINTE**

**Discretizzazione terreno**

Qi Quota iniziale strato (cm);  
 Qf Quota finale strato  
 G Peso unità di volume (KN/m<sup>3</sup>);  
 Eps Inclinazione dello strato. (°);  
 Fi Angolo di resistenza a taglio (°);  
 Delta Angolo attrito terra muro;  
 c Coesione (kPa);  
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);  
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
722,0	601,6	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
601,6	481,2	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
481,2	360,8	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
360,8	240,4	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
240,4	120,0	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	

**Coefficienti di spinta ed inclinazioni**

μ Angolo di direzione della spinta.  
 Ka Coefficiente di spinta attiva.  
 Kd Coefficiente di spinta dinamica.  
 Dk Coefficiente di incremento dinamico.

Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.  
 Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

$\mu$	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.  
 Qf Quota inizio strato.  
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);  
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);  
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	722,0	601,6	17,17	7,29	654,92	654,92
2	601,6	481,2	28,94	12,28	537,32	537,32
3	481,2	360,8	40,71	17,28	418,1	418,1
4	360,8	240,4	52,48	22,28	298,35	298,35
5	240,4	120,0	64,26	27,27	178,36	178,36

#### CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py Peso del muro (kN);  
 Px Forza inerziale (kN);  
 Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

	Quota	Px	Py	Xp	Yp
	601,6	0,0	14,09	136,4	658,1
	481,2	0,0	33,31	132,6	589,2
	360,8	0,0	57,69	128,6	517,2
	240,4	0,0	87,17	124,5	443,3
	120,0	0,0	121,85	120,3	368,1

#### Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).  
 Fx Forza in direzione x (kN);  
 Fy Forza in direzione y (kN);  
 M Momento (kNm);  
 H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
601,6	17,17	27,22	8,62	43,4
481,2	46,11	58,73	40,09	56,8
360,8	86,82	100,39	109,45	70,2
240,4	139,3	152,15	229,86	83,6
120,0	203,56	214,1	414,5	97,0

#### Armature - Verifiche sezioni (S.L.U .)

Afv Area dei ferri lato valle.  
 Afrm Area dei ferri lato monte.  
 Nu Sforzo normale ultimo (kN);  
 Mu Momento flettente ultimo (kNm);  
 Vrd Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);  
 Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);  
 Sic. VT  $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$   
 Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
10Ø16 (20,11)	10Ø16 (20,11)	27,92	280,63	S	203,67	0,0	11,63
10Ø16 (20,11)	10Ø16 (20,11)	60,02	392,77	S	238,12	0,0	5,06
10Ø16 (20,11)	10Ø20 (31,42)	102,26	769,32	S	312,34	0,0	3,53
10Ø16 (20,11)	10Ø20 (31,42)	154,91	952,68	S	348,78	0,0	2,46
10Ø16 (20,11)	10Ø20 (31,42)	218,22	1146,45	S	384,92	0,0	1,85

### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(x_{r1}, y_{r1}) = (555,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(x_{r2}, y_{r2}) = (555,0/887,1)$   
 Centro di rotazione  $(x_{ro}, y_{ro}) = (0,0/0,0)$

#### Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> );
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
887,1	722,0	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
722,0	601,6	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
601,6	481,2	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
481,2	360,8	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
360,8	240,4	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
240,4	120,0	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	20,0	0,0	0,0	

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
20,0	0,32	0,0	0,0	0,3	0,11	0,0	0,0

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	887,1	722,0	26,54	11,26	793,07	793,07
2	722,0	601,6	33,31	14,14	658,25	658,25



3	601,6	481,2	45,08	19,14	538,78	538,78
4	481,2	360,8	56,85	24,13	418,92	418,92
5	360,8	240,4	68,63	29,13	298,88	298,88
6	240,4	120,0	80,4	34,13	178,73	178,73
7	120,0	0,0	90,94	37,62	58,82	58,96

### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	120,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

### Sollecitazioni total i

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	401,75	169,55	372,07
Carichi esterni	0,0	68,25	-65,59
Peso muro	0,0	121,85	-146,58
Peso fondazione	0,0	212,27	-589,04
Sovraccarico	0,0	120,0	-426,0
Terr. fondazione	0,0	711,93	-2584,31
	<b>401,75</b>	<b>1403,85</b>	<b>-3439,45</b>

Momento stabilizzante	-4753,43 kNm
Momento ribaltante	1313,98 kNm

### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	401,75 kN	
Sommatoria forze verticali	1403,85 kN	
Coefficiente di attrito	0,53	
Adesione	0,0	kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °	
Forze normali al piano di scorrimento	1403,85 kN	
Forze parall. al piano di scorrimento	401,75 kN	
Resistenza terreno	746,44 kN	
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>1,69</b>	
<b>Traslazione verificata Csd&gt;1</b>		

### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-4753,43 kNm
Momento ribaltante	1313,98 kNm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>3,15</b>
<b>Muro verificato a ribaltamento Csv&gt;1</b>	

### Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	401,75 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	1403,85 kN
Somma momenti	-3439,45 kNm
Larghezza fondazione	555,0 cm
Lunghezza	11500,0 cm
Eccentricità su B	32,5 cm
Peso unità di volume	19,0 KN/m³

Angolo di resistenza al taglio	28,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	120,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m <sup>3</sup>
Nq	14,72
Nc	25,8
Ng	16,72
Fattori di forma	
sq	1,02
sc	1,02
sg	0,98
Inclinazione carichi	
iq	0,52
ic	0,48
ig	0,37
Fattori di profondità	
dq	1,07
dc	1,1
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	2363,76 kN
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>1,2</b>

### Carico limite verificato $Csq > 1$

#### Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	245,0 cm	
Larghezza della fondazione	555,0 cm	
x = 0,0 cm	341,81	kPa
x = 555,0 cm	164,08	kPa

#### MENSOLA A VALLE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
58,0	0,0	-170,68	-50,08	120,0

#### Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	$\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
10Ø22 (38,01)	10Ø22 (38,01)	0,01	1624,25	S	422,86	0,0	2,43

#### MENSOLA A MONTE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);

H	Altezza sezione (cm);			
Xprogr.	Fx	Fy	M	H
155,0	90,94	77,67	-709,96	120,0

**Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)**

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	$\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
10Ø22 (38,01)	10Ø22 (38,01)	92,5	1668,85	S	436,2	0,0	5,51

**Ribaltamento A1+M1+R3 [GEO+STR]**

**CALCOLO SPINTE**

**Discretizzazione terreno**

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
722,0	601,6	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
601,6	481,2	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
481,2	360,8	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
360,8	240,4	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
240,4	120,0	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	

**Coefficienti di spinta ed inclinazioni**

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0

**Spinte risultanti e punto di applicazione**

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);

Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);  
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	722,0	601,6	17,17	7,29	654,92	654,92
2	601,6	481,2	28,94	12,28	537,32	537,32
3	481,2	360,8	40,71	17,28	418,1	418,1
4	360,8	240,4	52,48	22,28	298,35	298,35
5	240,4	120,0	64,26	27,27	178,36	178,36

#### CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py Peso del muro (kN);  
 Px Forza inerziale (kN);  
 Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

	Quota	Px	Py	Xp	Yp
	601,6	0,0	10,84	136,4	658,1
	481,2	0,0	25,62	132,6	589,2
	360,8	0,0	44,38	128,6	517,2
	240,4	0,0	67,05	124,5	443,3
	120,0	0,0	93,73	120,3	368,1

#### Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).  
 Fx Forza in direzione x (kN);  
 Fy Forza in direzione y (kN);  
 M Momento (kNm);  
 H Altezza sezione di calcolo (cm);

	Quota	Fx	Fy	M	H
	601,6	17,17	23,97	8,72	43,4
	481,2	46,11	51,04	40,55	56,8
	360,8	86,82	87,08	110,61	70,2
	240,4	139,3	132,03	232,13	83,6
	120,0	203,56	185,98	418,38	97,0

#### Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afv Area dei ferri lato valle.  
 Afrm Area dei ferri lato monte.  
 Nu Sforzo normale ultimo (kN);  
 Mu Momento flettente ultimo (kNm);  
 Vrd Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);  
 Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);  
 Sic. VT  $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$   
 Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afrm	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
10Ø16 (20,11)	10Ø16 (20,11)	24,66	280,11	S	203,23	0,0	11,61
10Ø16 (20,11)	10Ø16 (20,11)	52,08	391,03	S	237,05	0,0	5,04
10Ø16 (20,11)	10Ø20 (31,42)	88,96	765,83	S	310,45	0,0	3,51
10Ø16 (20,11)	10Ø20 (31,42)	134,57	946,21	S	345,89	0,0	2,44
10Ø16 (20,11)	10Ø20 (31,42)	189,61	1135,77	S	380,84	0,0	1,83

#### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(xr1, yr1) = (555,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(xr2, yr2) = (555,0/887,1)$   
 Centro di rotazione  $(xro, yro) = (0,0/0,0)$

#### Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> );
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
887,1	722,0	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
722,0	601,6	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
601,6	481,2	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
481,2	360,8	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
360,8	240,4	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
240,4	120,0	20,0	22,43	35,0	23,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	20,0	0,0	0,0	

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
23,0	0,34	0,0	0,0	0,31	0,13	0,0	0,0
20,0	0,32	0,0	0,0	0,3	0,11	0,0	0,0

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	887,1	722,0	26,54	11,26	793,07	793,07
2	722,0	601,6	33,31	14,14	658,25	658,25
3	601,6	481,2	45,08	19,14	538,78	538,78
4	481,2	360,8	56,85	24,13	418,92	418,92
5	360,8	240,4	68,63	29,13	298,88	298,88
6	240,4	120,0	80,4	34,13	178,73	178,73
7	120,0	0,0	90,94	37,62	58,82	58,96

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
--	----	----	-----	-----	--------	--------

1      120,0      0,0      0,0      0,0      0,0      0,0

**Sollecitazioni total i**

Fx      Forza in direzione x (kN);  
 Fy      Forza in direzione y (kN);  
 M      Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	401,75	169,55	372,07
Carichi esterni	0,0	44,25	-42,79
Peso muro	0,0	93,73	-112,75
Peso fondazione	0,0	163,28	-453,1
Sovraccarico	0,0	120,0	-426,0
Terr. fondazione	0,0	547,64	-1987,93
	<b>401,75</b>	<b>1138,45</b>	<b>-2650,51</b>

Momento stabilizzante      -3964,49 kNm  
 Momento ribaltante      1313,98 kNm

**Verifica alla traslazione**

Sommatoria forze orizzontali	401,75 kN	
Sommatoria forze verticali	1138,45 kN	
Coefficiente di attrito	0,53	
Adesione	0,0	kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °	
Forze normali al piano di scorrimento	1138,45 kN	
Forze parall. al piano di scorrimento	401,75 kN	
Resistenza terreno	605,33 kN	
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>1,37</b>	
<b>Traslazione verificata Csd&gt;1</b>		

**Verifica al ribaltamento**

Momento stabilizzante	-3964,49 kNm
Momento ribaltante	1313,98 kNm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>2,62</b>
<b>Muro verificato a ribaltamento Csv&gt;1</b>	

**Carico limite verticale VESIC**

Somma forze in direzione x (Fx)	401,75 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	1138,45 kN
Somma momenti	-2650,51 kNm
Larghezza fondazione	555,0 cm
Lunghezza	11500,0 cm
Eccentricità su B	44,68 cm
Peso unità di volume	19,0 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza al taglio	28,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	120,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m <sup>3</sup>
Nq	14,72
Nc	25,8
Ng	16,72
Fattori di forma	
sq	1,02
sc	1,02
sg	0,98
Inclinazione carichi	
iq	0,43
ic	0,38
ig	0,28
Fattori di profondità	

dq	1,08
dc	1,1
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	1704,49 kN
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>1,07</b>

**Carico limite verificato Csq>1**

**Tensioni sul terreno**

Ascissa centro sollecitazione	232,82 cm	
Larghezza della fondazione	555,0 cm	
x = 0,0 cm	304,21	kPa
x = 555,0 cm	106,04	kPa

**MENSOLA A VALLE**

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
58,0	0,0	-153,38	-44,99	120,0

**Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)**

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	min{Vrd; Vwd}/Vsdu
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
10Ø22 (38,01)	10Ø22 (38,01)	0,01	1624,25	S	422,86	0,0	2,7

**MENSOLA A MONTE**

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
155,0	90,94	245,07	-1064,35	120,0

**Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)**

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	min{Vrd; Vwd}/Vsdu
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
10Ø22 (38,01)	10Ø22 (38,01)	92,5	1668,85	S	436,2	0,0	1,75

**Verifica fessurazione**

**SLE 5 [Rara]**

**Elevazione**

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,003	--	256,421	840	Si	2,63	183,55	43,69
Si	0,019	--	311,902	1250	Si	7,51	183,55	203,15
Si	0,026	--	271,282	1250	Si	12,46	183,55	322,86
Si	0,047	--	271,282	1250	Si	19,48	183,55	587,38
Si	0,074	--	271,282	1250	Si	27,47	183,55	927,53

**Fondazione valle**

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,007	--	255,583	1250	Si	1,95	183,55	94,04

**Fondazione monte**

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,146	--	255,583	1250	Si	41,13	183,55	1868,69

**SLE 6 [Frequente]**

**Elevazione**

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,003	0,300	256,421	840	Si	2,63	183,55	43,69
Si	0,019	0,300	311,902	1250	Si	7,51	183,55	203,15
Si	0,026	0,300	271,282	1250	Si	12,46	183,55	322,86
Si	0,047	0,300	271,282	1250	Si	19,48	183,55	587,38
Si	0,074	0,300	271,282	1250	Si	27,47	183,55	927,53

**Fondazione valle**

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,007	0,300	255,583	1250	Si	1,95	183,55	94,04

**Fondazione monte**

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,176	0,300	255,583	1250	Si	41,13	183,55	1868,69

**SLE 7 [Quasi perm.]**

**Elevazione**

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,001	0,200	241,421	729	Si	1,79	137,66	21,09
Si	0,011	0,200	307,019	1214	Si	5,35	137,66	123,62
Si	0,018	0,200	271,282	1250	Si	9,54	137,66	226,48



Si	0,035	0,200	271,282	1250	Si	15,60	137,66	443,27
Si	0,059	0,200	271,282	1250	Si	22,71	137,66	733,96

Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,006	0,200	255,583	1250	Si	1,77	137,66	85,29

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,145	0,200	255,583	1250	Si	35,88	137,66	1621,61

**SLD [Frequente]**

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,003	0,300	255,220	831	Si	2,48	183,55	40,19
Si	0,017	0,300	311,902	1250	Si	6,92	183,55	182,97
Si	0,023	0,300	271,282	1250	Si	11,38	183,55	289,28
Si	0,042	0,300	271,282	1250	Si	17,67	183,55	523,88
Si	0,066	0,300	271,282	1250	Si	24,80	183,55	824,49

Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,007	0,300	255,583	1250	Si	2,00	183,55	96,14

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,183	0,300	255,583	1250	Si	42,15	183,55	1928,53

## 12.1 ANALISI DI STABILITA'

### Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

### Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è

praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (  $c$  ) e angolo di resistenza al taglio (  $\varphi$  ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

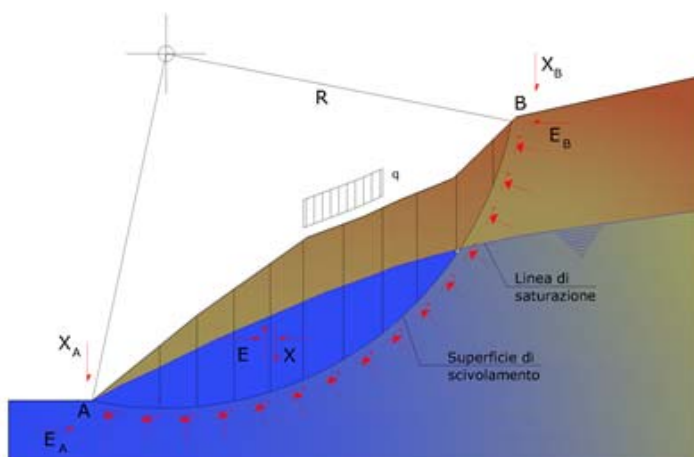
### Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (  $\tau$  ) e confrontate con la resistenza disponibile (  $\tau_f$  ), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



### Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

- $n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;
- $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$ ;
- $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;
- $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .



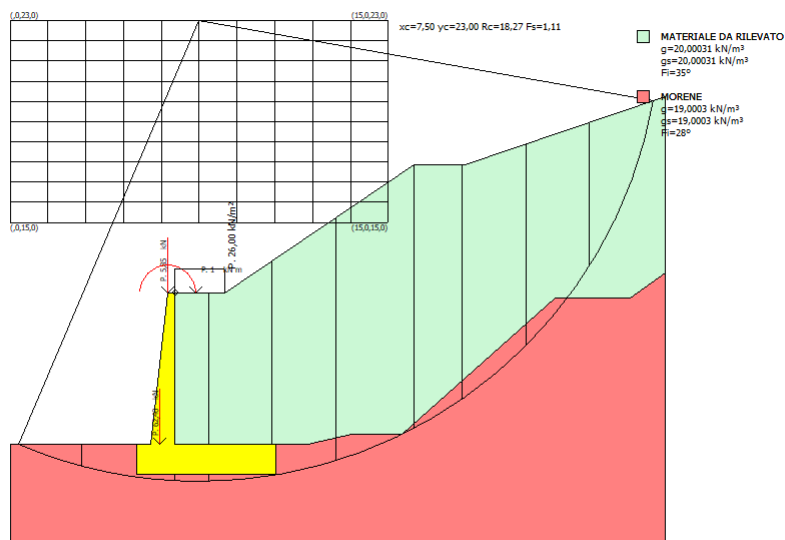


Fig. 8 Modello di calcolo in condizioni statiche

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	15,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	15,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	23,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	6,2
2	5,0	6,2
3	5,56	6,2
4	6,53	12,22
5	6,53	12,22
6	8,53	12,22
7	16,03	17,28
8	18,03	17,28
9	26,0	20,0

Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	6,2
2	6,53	6,2
3	11,82	6,2
4	13,55	6,62
5	15,55	6,62
6	21,6	12,02
7	24,6	12,02
8	26,0	13,0

### Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,3	1,3
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0		35	20,00031	20,00031	MATERIALE DA RILEVATO
2	0		28	19,0003	19,0003	MORENE

### Carichi concentrati

N°	x (m)	y (m)	Fx (kN)	Fy (kN)	M (kN m)
1	5,95	6,2	0	62,40099	0
2	6,23	12,22	0	5,850093	0,884014

### Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m <sup>2</sup> )
1	6,53	12,22	8,530001	12,22	26,00041

### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1,11
Ascissa centro superficie	7,5 m
Ordinata centro superficie	23,0 m
Raggio superficie	18,27 m

**xc = 7,50 yc = 23,00 Rc = 18,268 Fs=1,106**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	2,52	-18,9	2,66	23,1	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	28,1	10,8
2	3,69	-8,9	3,73	155,82	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	167,8	64,5
3	1,34	-0,9	1,35	234,35	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	235,9	90,7
4	2,52	5,1	2,53	407,17	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	395,1	151,9
5	2,52	13,2	2,58	456,23	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	429,9	165,3
6	3,12	22,5	3,38	629,87	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	588,1	226,1
7	1,91	31,3	2,24	376,98	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	357,7	137,5
8	2,52	40,0	3,29	435,99	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	430,4	165,5
9	2,52	51,5	4,05	351,58	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	380,9	146,4
10	2,52	68,9	7,0	187,65	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	225,6	114,2

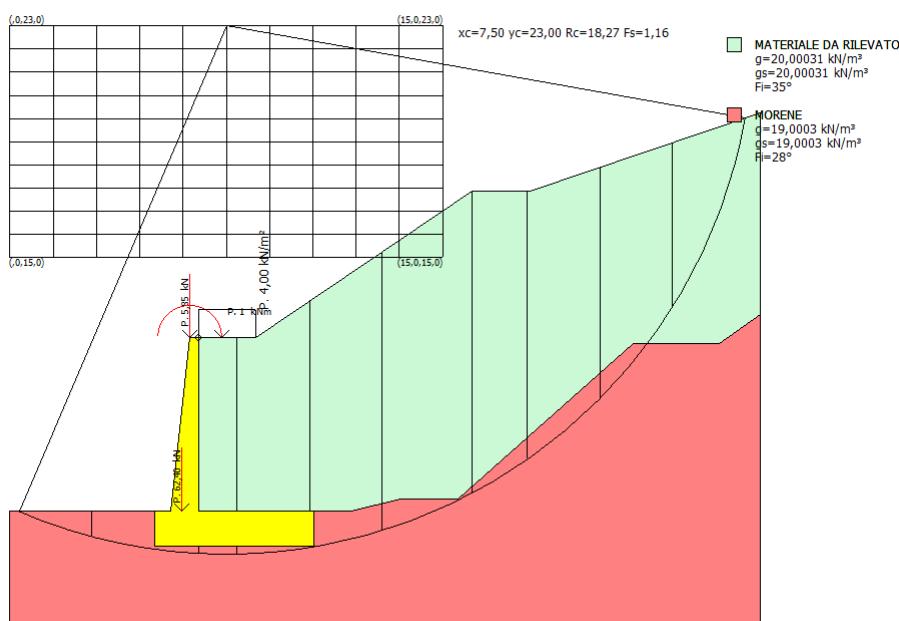


Fig. 9 Modello di calcolo in condizioni sismiche

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	15,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	15,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	23,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0

Numero di celle lungo y 10,0

=====

**Sisma**

=====

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,054  
 Coefficiente azione sismica verticale 0,027

=====

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	6,2
2	5,0	6,2
3	5,56	6,2
4	6,53	12,22
5	6,53	12,22
6	8,53	12,22
7	16,03	17,28
8	18,03	17,28
9	26,0	20,0

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	6,2
2	6,53	6,2
3	11,82	6,2
4	13,55	6,62
5	15,55	6,62
6	21,6	12,02
7	24,6	12,02
8	26,0	13,0

**Coefficienti parziali azioni**

=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1,0 0,2  
 Favorevoli: Permanenti, variabili 1,0 0,0

=====

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

=====

Tangente angolo di resistenza al taglio 1,25  
 Coesione efficace 1,25  
 Coesione non drenata 1,4  
 Riduzione parametri geotecnici terreno No

=====

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0		35	20,00031	20,00031	MATERIALE DA RILEVATO

2	0	28	19,0003	19,0003	MORENE	
---	---	----	---------	---------	--------	--

**Carichi concentrati**

N°	x (m)	y (m)	Fx (kN)	Fy (kN)	M (kNm)
1	5,95	6,2	0	62,40099	0
2	6,23	12,22	0	5,850093	0,884014

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m²)
1	6,53	12,22	8,530001	12,22	4

**Risultati analisi pendio [NTC 2018]**

=====

Fs minimo individuato	1,16
Ascissa centro superficie	7,5 m
Ordinata centro superficie	23,0 m
Raggio superficie	18,27 m

=====

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**xc = 7,50 yc = 23,00 Rc = 18,268 Fs=1,155**

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	2,52	-18,9	2,66	23,1	1,25	0,62	0,0	28,0	0,0	29,0	13,4
2	3,69	-8,9	3,73	155,82	8,41	4,21	0,0	28,0	0,0	170,0	78,2
3	1,34	-0,9	1,35	204,76	11,06	5,53	0,0	28,0	0,0	206,3	95,0
4	2,52	5,1	2,53	392,76	21,21	10,6	0,0	28,0	0,0	378,7	174,3
5	2,52	13,2	2,58	456,23	24,64	12,32	0,0	28,0	0,0	423,0	194,7
6	3,12	22,5	3,38	629,87	34,01	17,01	0,0	28,0	0,0	572,6	263,5
7	1,91	31,3	2,24	376,98	20,36	10,18	0,0	28,0	0,0	344,8	158,7
8	2,52	40,0	3,29	435,99	23,54	11,77	0,0	28,0	0,0	410,6	189,0
9	2,52	51,5	4,05	351,58	18,99	9,49	0,0	28,0	0,0	357,9	164,7
10	2,52	68,9	7,0	187,65	10,13	5,07	0,0	35,0	0,0	202,9	123,0