








## S.S.45 DELLA VAL DI TREBBIA

### AMMODERNAMENTO DELLA STRADA STATALE N. 45 DELLA VAL TREBBIA NEL TRATTO CERNUSCA-RIVERGARO

## PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE: ANAS DPRL		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE:	
I PROGETTISTI: <i>ing. Antonio SCALAMANDRÉ</i> <i>Ordine Ing. di Frosinone n.1063</i>			
IL GEOLOGO: <i>geol. Maurizio MARTINO</i> <i>Ordine Geol. del Lazio ES n.457</i>			 Società designata: <b>GA&amp;M</b>
IL RESPONSABILE DEL SIA: <i>Ing. Laura TROIANI</i> <i>Ordine Arch. di Roma n.A-31890</i>			
IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: <i>geom. E PAIELLA</i>			
VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: <i>ing. Anna Maria NOSARI</i>			
PROTOCOLLO	DATA	<b>DOTT. GEOL. DANILO GALLO</b>	<b>ING. RENATO DEL PRETE</b>

**IF01**

### I - PROGETTO STRUTTURALE - OPERE D'ARTE MINORI

**IF - OPERA DI SOSTEGNO 11 - ASSE 04 DA KM 0+858,60 A 0+890,14**

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	IF01 - T00OS30STRRE01_A.dwg		
<b>BO0067</b>	<b>D</b>	<b>1801</b>	CODICE ELAB. <b>T00OS30STRRE01</b>	<b>A</b>	<b>-</b>
<b>C</b>					
<b>B</b>					
<b>A</b>	EMISSIONE		Aprile 2020		
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

## SOMMARIO

1	INTRODUZIONE .....	3
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE .....	3
3	UBICAZIONE DELL'OPERA .....	3
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
5	UNITA' DI MISURA .....	4
6	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	5
6.1	Calcestruzzo .....	5
6.1.1	Calcestruzzo per opere di sottofondazione .....	5
6.1.2	Calcestruzzo per FONDAZIONI .....	5
6.1.3	Calcestruzzo per ELEVAZIONI .....	5
6.1.4	Caratteristiche del calcestruzzo ai fini della durabilità .....	6
6.1.5	Verifiche allo stato limite di apertura delle fessure .....	6
6.1.6	Copriferro .....	7
6.2	Acciaio .....	7
6.2.1	Acciaio per barre di armatura lenta .....	7
7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	8
8	VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO .....	10
8.1	Vita nominale .....	10
8.2	Classe d'uso .....	10
8.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	10
9	METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA .....	11
9.1	Metodo di analisi in condizioni sismiche .....	12
10	ANALISI DEI CARICHI .....	14
10.1	Carichi Permanenti $g_1$ .....	14
10.1.1	Peso proprio muro di sostegno .....	14
10.2	Carichi Permanenti non strutturali $G_2$ .....	14
10.2.2	Peso del rivestimento in pietra .....	15
10.2.3	Peso della sovrastruttura stradale .....	15
10.2.4	Peso della barriera h2 bordo ponte .....	15
10.2.5	Spinta del terreno in condizioni statiche .....	15
10.3	Azioni Variabili Q .....	15
10.3.1	Azioni variabili da traffico stradale .....	15
11	PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA .....	15
11.1	VALIDAZIONI DEL CALCOLO E CASI PROVA .....	16
11.2	ANALISI DELL'OPERA DI SOSTEGNO .....	16
11.3	Calcolo della spinta attiva con Coulomb .....	16
11.4	Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe .....	17
11.5	Carico uniforme sul terrapieno .....	18
11.6	Spinta attiva in condizioni sismiche .....	18
11.7	Carico limite di fondazioni superficiali su terreni .....	18
12	RISULTATI DELLE VERIFICHE .....	21
12.1	ANALISI DI STABILITA' .....	45
13	CALCOLO DELLE INCIDENZE .....	51

13.1	INCIDENZA DELLE ARMATURE.....	51
14	SOTTOSCRIZIONE DELL'ELABORATO DA PARTE DEL R.T.P.....	52

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione è inserita nell'ambito del "Progetto definitivo per l'ammodernamento della S.S. n. 45 "della Val Trebbia" nel tratto Cernusca-Rivergaro" (codice intervento B067), avente una lunghezza totale di circa 11 Km.

Nel presente documento si affrontano le problematiche progettuali connesse al dimensionamento e alla verifica del muro di sostegno in c.a. a mensola tra le progressive km 0+858,60 e km 0+890,14 dell'asse 4.

## 2 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Il muro di sostegno, della lunghezza complessiva di circa 30 metri, è composto da n. 6 conci di altezza costante pari a 160 cm.

Si riportano di seguito alcune immagini che descrivono tale opera.

SEZIONE TIPOLOGICA CONCIO tipo  
SCALA 1:50

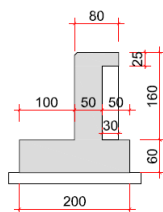


Fig. 1 Sezione trasversale

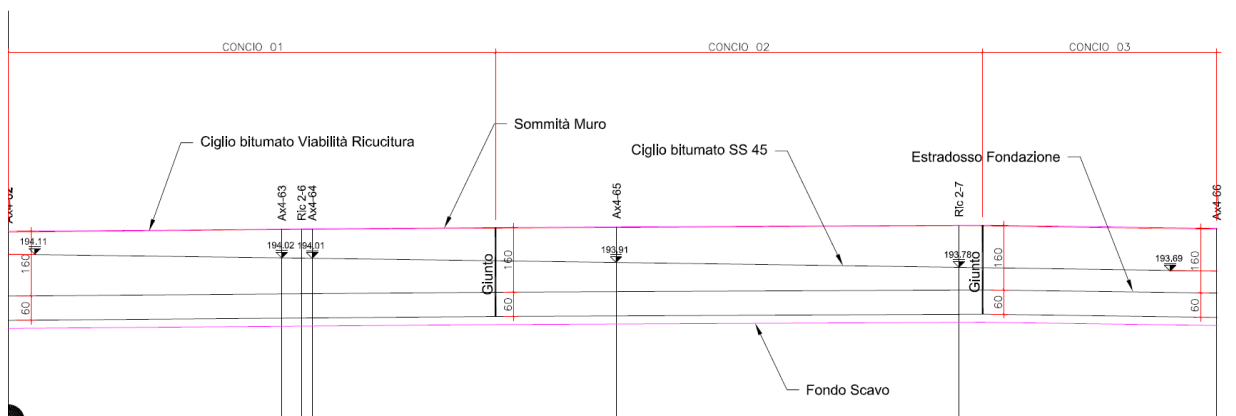


Fig. 2 Sezione longitudinale

## 3 UBICAZIONE DELL'OPERA

Il muro tra le progressive km 0+858,60 e km 0+890,14 dell'asse 4 è ubicato planimetricamente come mostrato nell'immagine successiva:

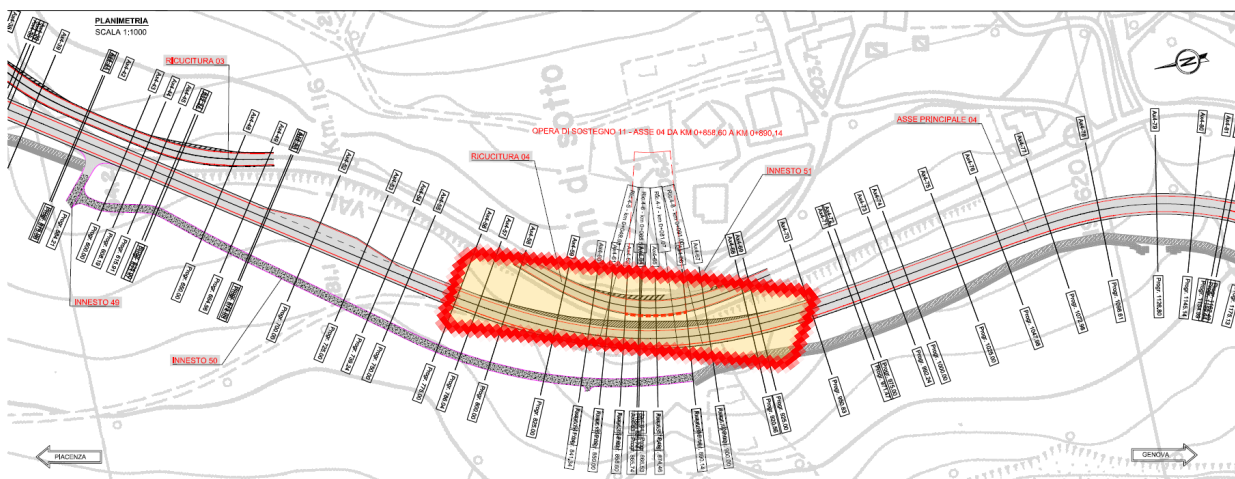


Fig. 3 Ubicazione dell'opera

## 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 11104:2016** → 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

Per le strutture di fondazione 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	XC2			

#### 6.1.3 CALCESTRUZZO PER ELEVAZIONI

Per le strutture di fondazione e di elevazione è stato previsto un calcestruzzo con classe di resistenza **C35/45** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Fase finale	$R_{ck}$	=	45.00	MPa
Resistenza a compressione cilindrica	$f_{ck}$	= $0.83 \times R_{ck}$	= 37.35	MPa
Resistenza cilindrica media	$f_{cm}$	= $f_{ck} + 8$	= 45.35	MPa
Modulo elastico	$E_c$	= $22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$	= 34625	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	$f_{cd}$	= $\alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c$	= 21.16	MPa
Resistenza a trazione media	$f_{ctm}$	= $0.30 \times f_{ck}^{2/3}$	= 3.35	MPa
Resistenza a trazione	$f_{ctk}$	= $0.7 \times f_{ctm}$	= 2.35	MPa
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd}$	= $f_{ctk} / \gamma_c$	= 1.56	MPa

S.L.E.

Tensione limite di esercizio (comb. Rare)	$\sigma_{cR} = f_{ck} \times 0.60$ $\sigma_{cP} = f_{ck} \times 0.45$ XC4	=	22.41	MPa
Tensione limite di esercizio (comb. Quasi Perm.)		=	16.81	MPa
Classe di esposizione elevazioni				

A vantaggio di sicurezza le verifiche sono state condotte considerando anche per le elevazioni un calcestruzzo C30/37

#### 6.1.4 CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO AI FINI DELLA DURABILITÀ

Al fine di valutare le caratteristiche vincolanti delle miscele di calcestruzzo nei confronti della durabilità viene fatto riferimento alla norma EN 206-1 ed alla norma UNI 11104.

Di seguito viene riportata la classe di esposizione che risulta vincolante ai fini delle caratteristiche della miscela. Inoltre, sono riportati la classe di resistenza, la dimensione massima degli aggregati, la classe di consistenza ed il copriferro minimo delle armature, tenuto anche conto della Vita Nominale dell'opera  $V_N = 100$  anni:

##### Calcestruzzo fondazioni:

Classe di esposizione XC2  
Classe di resistenza caratteristica a compressione: C30/37  
Dimensione max aggregati fondazioni: 32 mm  
Classe minima di consistenza: S4  
Copriferro minimo: 50 mm

##### Calcestruzzo elevazioni:

Classe di esposizione XC4  
Classe di resistenza caratteristica a compressione: C35/45  
Dimensione max aggregati: 32 mm  
Classe minima di consistenza: S4  
Copriferro minimo: 50 mm

#### 6.1.5 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature, sono suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato dalla Tab. 4.1.III delle NTC2018:

**Tab. 4.1.III** – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Per le opere della presente relazione si adotta quanto segue:

<u>Fondazione</u>	CLASSE DI ESPOSIZIONE XC2
<u>Elevazione</u>	CLASSE DI ESPOSIZIONE XC4

A vantaggio di sicurezza le verifiche per le fondazioni sono state condotte considerando una classe di esposizione XC4

Pertanto, nel caso in esame si ha:

Verifiche a fessurazione – condizioni ambientali aggressive – armatura poco sensibile:

Combinazione di azioni frequente:  $w_k \leq w_3 = 0.3 \text{ mm}$

Combinazione di azioni quasi permanente:  $w_k \leq w_2 = 0.2 \text{ mm}$

### 6.1.6 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.

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	
$C_{min}$	$C_0$	ambiente	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$
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)
- $f_{y,d} = f_{yk}/\gamma_s = 391.30 \text{ MPa}$  (tensione di snervamento di calcolo -  $\gamma_c=1,15$ )
- $E_s$  = 200.000,00 MPa (modulo elastico istantaneo)
- $\sigma_{sR} = f_{yk}/0.75 = 337.50 \text{ MPa}$  (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 al profilo geotecnico dell'asse 4, di cui si riporta nella figura seguente uno stralcio, risulta che i terreni sono costituiti in parte dall'unità litologica VLU3 *Formazione della Val Luretta – Membro di Genepreto*.

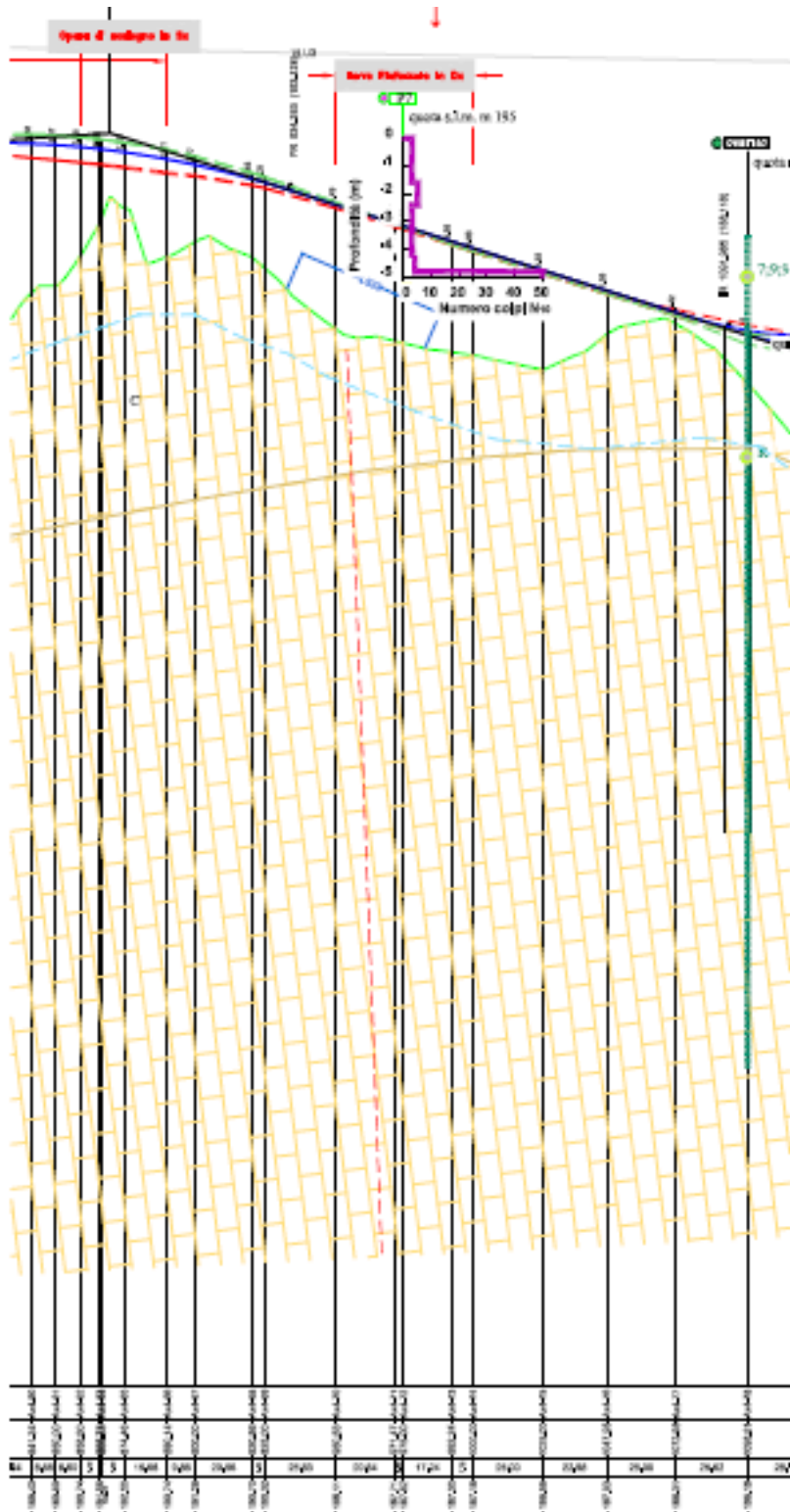


Figura 4: stralcio del profilo geotecnico dell'asse 4

LEGENDA UNITA' LITOLOGICHE

DEPOSITI QUATERNARI

Depositi fluviali



l2 - Conolde torrentizia inattiva



b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

Depositi gravitativi di versante



a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento



a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango



a1g - Deposito di frana attiva complessa



a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento - strato superficiale



a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento - strato di base



a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango - strato superficiale



a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango - strato di base



a2g - Deposito di frana quiescente complessa - strato superficiale



a2g - Deposito di frana quiescente complessa - strato di base



a3 - Deposito di versante s.l.



AES8 - Subsistema di Ravenna



CMZ - Formazione di Costamezzana

UNITA' DEL SUBSTRATO PREQUATERNARIO



VLU3 - Formazione della Val Luretta - membro di Genepreto e relativa copertura (c) (Eocene)



VLU2 - Formazione della Val Luretta - membro di Montevantano e relativa copertura (c) (Paleocene - Eocene)



VLU1a - Formazione della Val Luretta - membro di Povlago - litofacies arenaceo-pellica e relativa copertura (c) (Paleocene)



CPP - Complesso di pietra parcellara e relativa copertura (c) (Cretaceo superiore)



Sovrascorrimento (Post Eocene Medio)



Linea di faglia

Nella seguente tabella del paragrafo 5 della relazione geotecnica, sono riportati i parametri geotecnici delle unità litologiche.

UNITA' DI COPERTURA					
UNITA'	PESO DI VOLUME	ANGOLO DI ATTRITO [°]	COESIONE	MODULO EDMETRICO	MODULO DI YOUNG
	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	C' [kPa]	$E_d$ [kPa]	E [kPa]
a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento	19,5	19,0	0,5	9.000	31.000
a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango	19,5	19,0	0,5	2.000	17.000
a1g - Deposito di frana attiva complessa	17,5	17,0	0,5	6.450	23.000
a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento - strato superficiale	18,5	19,0	0,5	4.300	22.500
a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento - strato di base	18,5	32,0	23,0	4.300	22.500
a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango - strato superficiale	19,0	19,0	0,5	4.260	22.300
a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango - strato di base	19,0	31,0	28,0	4.260	22.300
a2g - Deposito di frana quiescente complessa - strato superficiale	18,5	18,0	0,5	5.150	21.000
a2g - Deposito di frana quiescente complessa - strato di base	18,5	31,0	27,5	5.150	21.000
a3 - Deposito di versante s.l.	18,5	32,0	26,0	4.100	21.500
Terreno di riporto	19,5	32,5	22,0	3.500	20.000
Strato di alterazione del substrato in posto (Formazione APA)	19,5	31,5	32,5	9.500	32.000
Strato di alterazione del substrato in posto (Formazione VLU2)	19,5	31,5	25,0	4.200	17.500
Strato di alterazione del substrato in posto (Formazione VLU3)	19,0	29,5	30,5	1.500	21.300
CMZ - Sistema di Costamezzana	19,0	30,0	0,0	10.000	50.000
AES8 - Subsistema di Ravenna	19,0	30,0	0,0	10.000	50.000

UNITA' DI COPERTURA					
UNITA'	PESO DI VOLUME	ANGOLO DI ATTRITO [°]	COESIONE	MODULO EDMETRICO	MODULO DI YOUNG
	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	C' [kPa]	$E_d$ [kPa]	E [kPa]
CPP - Complesso di Pietra Parcellara	19,5	31,5	32,5	9.500	32.000
VLU2 - Formazione della Val Luretta - membro di Montevantano	19,0	26,5	30,5	4.700	18.000
VLU3 - Formazione della Val Luretta - membro di Genepreto	19,5	28,5	30,0	5.900	30.000

Figura 5: tabella dei parametri geotecnici

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

$$\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 28,5^\circ$$

$$c' = 30 \text{ kPa}$$

$$\text{Modulo Elastico } E = 30000 \text{ kPa}$$

$$\text{Modulo Edometrico } E_d = 5900 \text{ kPa}$$

## 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 NTC 2018. 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:

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

*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.

*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Nel caso in oggetto si fa riferimento alla Classe IV.

### 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  $C_U$ .

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come da Tab. 2.4.II delle NTC

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Il coefficiente d'uso risulta pertanto:  $C_U = 2,0$

Per l'opera in progetto si ottiene pertanto il periodo di riferimento:  $V_R = V_N \times C_U = 100 \times 2 = 200$  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	$\gamma_{Q1}$	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
Coazione 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;

$g$  = 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:

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno NTC 2018  
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,870451  
longitudine: 9,558772  
Classe: 4  
Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito	ID	Lat	Lon	Distanza
Sito 1	14929	44,8697	9,5415	4143,979
Sito 2	14930	44,8720	9,6119	2858,942
Sito 3	14708	44,9219	9,6087	4000,062
Sito 4	14707	44,9196	9,5382	5000,775

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B  
Categoria topografica: T1  
Periodo di riferimento: 200 anni  
Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 120 [anni]  
ag: 0,061 g  
Fo: 2,549  
Tc\*: 0,264 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 201 [anni]  
ag: 0,074 g  
Fo: 2,538  
Tc\*: 0,274 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 1898 [anni]  
ag: 0,163 g  
Fo: 2,493  
Tc\*: 0,299 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 2475 [anni]  
ag: 0,177 g  
Fo: 2,495  
Tc\*: 0,301 [s]

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2018

SLO:

Ss: 1,200  
Cc: 1,440  
St: 1,000  
Kh: 0,000  
Kv: 0,000  
Amax: 0,715

	Beta:	0,000
SLD:		
	Ss:	1,200
	Cc:	1,420
	St:	1,000
	Kh:	0,042
	Kv:	0,021
	Amax:	0,872
	Beta:	0,470
SLV:		
	Ss:	1,200
	Cc:	1,400
	St:	1,000
	Kh:	0,074
	Kv:	0,037
	Amax:	1,916
	Beta:	0,380
SLC:		
	Ss:	1,200
	Cc:	1,400
	St:	1,000
	Kh:	0,000
	Kv:	0,000
	Amax:	2,087
	Beta:	0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 44.888868

longitudine: 9.584718

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 G<sub>1</sub>

#### 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 kN/m<sup>3</sup>

### 10.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI G<sub>2</sub>

#### 10.2.1 PESO DEL RILEVATO STRADALE

Il peso proprio del rilevato stradale 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 rilevato è stato assunto pari a 20 kN/m<sup>3</sup>.

### 10.2.2 PESO DEL RIVESTIMENTO IN PIETRA

Il rivestimento in pietra previsto in progetto ha uno spessore di 30 cm. Il peso di volume è stato assunto pari a  $20 \text{ kN/m}^3$ . Il peso è stato applicato sull'estradosso della fondazione a una distanza di 15 cm dal paramento rivestito.

### 10.2.3 PESO DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE

Per la sovrastruttura stradale (binder+usura+fondazione+base) è stato assunto un peso di volume pari a  $22 \text{ kN/m}^3$ . Essendo lo spessore complessivo pari a 20 cm, è stato applicato un carico uniformemente distribuito sul rilevato pari a:

$$\text{Peso sovrastruttura} = 22 \text{ kN/m}^3 \times 0,20 \text{ m} = 4,4 \text{ kN/m}^2.$$

### 10.2.4 PESO DELLA BARRIERA H2 BORDO PONTE

Si assume per la barriera H2 bordo ponte un carico lineare pari a  $0,30 \text{ kN/m}$  applicato sulla testa del muro.

### 10.2.5 SPINTA DEL TERRENO IN CONDIZIONI STATICHE

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

Per i rilevati di nuova realizzazione i parametri di progetto sono:

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

Nella presente relazione si è considerato un angolo di attrito tra terreno e paramento pari a  $2/3 \phi$  ossia  $24^\circ$ .

## 10.3 AZIONI VARIABILI Q

### 10.3.1 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO STRADALE

Nel calcolo si è considerato per le condizioni statiche un sovraccarico accidentale stradale pari a  $40 \text{ kN/m}^2$  a tergo dei muri. In fase sismica tale sovraccarico è stato considerato al 20%, ossia  $8 \text{ kN/m}^2$ .

## 11 PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA

I software utilizzati sono:

### 1) MDC/2020 della Geostru-software

Versione: 2020.20.7.1000

**autore:** ing. Filippo Catanzariti

**produttore:** Engsoft srl

**distributore:** Engsoft srl

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

**Stato licenza:** Vero

**Codice attivazione:** M9U4S-EIV5U-2U5OI-EELPD

**Stato attivazione:** 18/10/2019

### 2) SLOPE/2020 della Geostru-software



**Versione:** 2020.29.6.1405

**autore:** ing. Filippo Catanzariti

**produttore:** Engsoft srl

**distributore:** Engsoft srl

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

Stato licenza: Vero

Codice attivazione: QDB79-HM12X-PI9HO-1ONB6

**Stato attivazione:** 19/10/2019

## 11.1 VALIDAZIONI DEL CALCOLO E CASI PROVA

### MDC 2020/SLOPE 2020

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:

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

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.

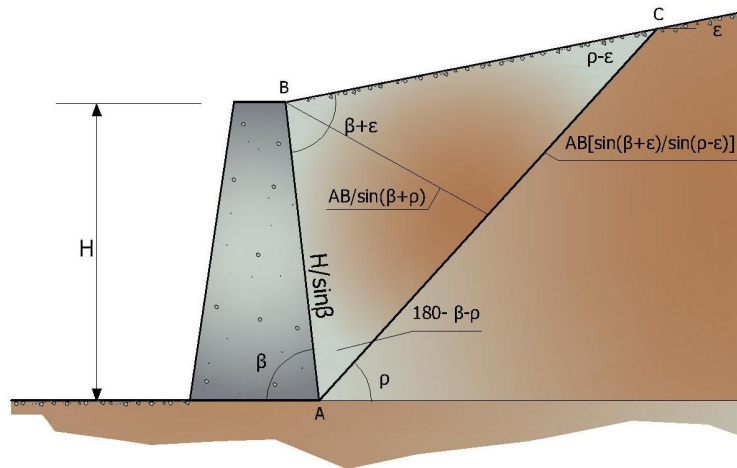


Fig. 5 Cuneo di rottura usato per la derivazione dell'equazione di Coulomb relativa alla pressione attiva.

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  $S_q$ :

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

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:

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

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

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

### Fattori di forma

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

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

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

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

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

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

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

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

**Fattori di profondità**

$$d_c = 1 + 0.4K$$

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

con  $K = \frac{D}{B}$  se  $\frac{D}{B} \leq 1$  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.

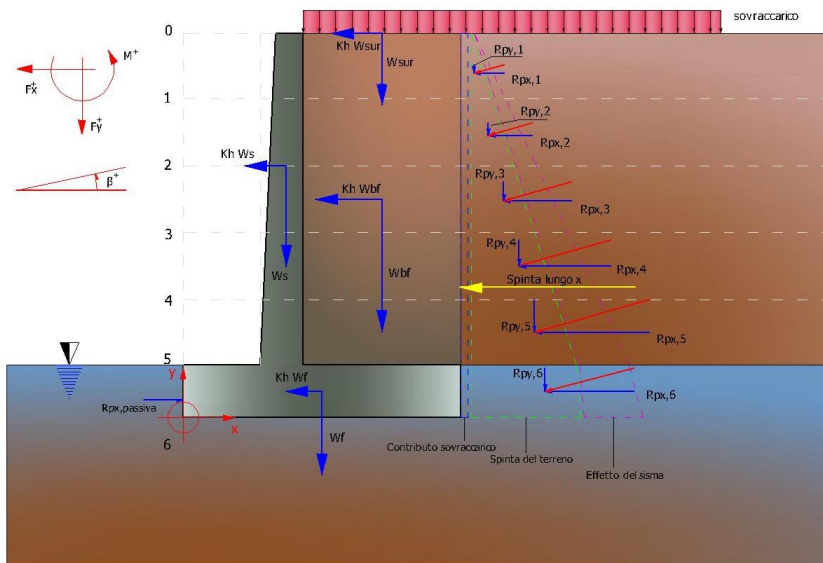


Fig. 6 Schema delle forze agenti su un muro e convenzioni sui segni

**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

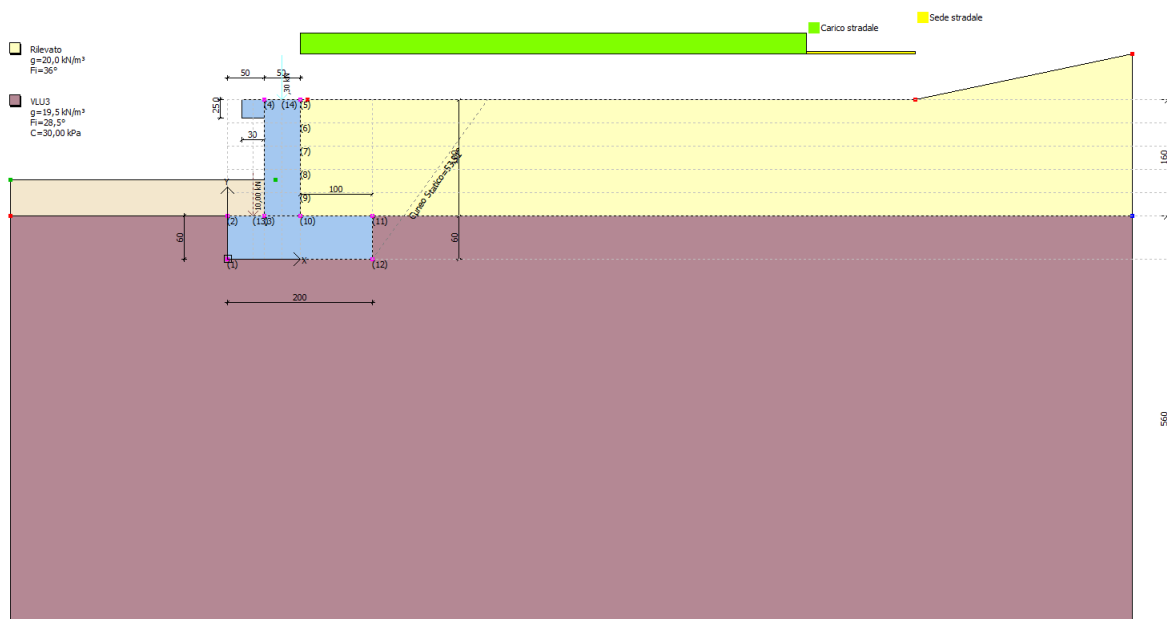


Fig. 7 Modello di calcolo concio tipo

### Dati generali

Lat./Long. [WGS84]	44,870451/9,558772
Normativa GEO	NTC 2018
Normativa STR	NTC 2018
Spinta	Mononobe & Okabe [M.O. 1929]

### Dati generali muro

Altezza muro	160,0 cm
Spessore testa muro	50,0 cm
Risega muro lato valle	0,0 cm
Risega muro lato monte	0,0 cm
Sporgenza mensola a valle	50,0 cm
Sporgenza mensola a monte	100,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	60,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	60,0 cm

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

#### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	100,0 [anni]
Vita di riferimento:	200,0 [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.	120,0	0,6	2,55	0,26
S.L.D.	201,0	0,73	2,54	0,27
S.L.V.	1898,0	1,6	2,49	0,3
S.L.C.	2475,0	1,74	2,5	0,3

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera:

Classe IV

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,72	1,0	0,0734	0,0367
S.L.D.	0,876	0,47	0,042	0,021
S.L.V.	1,92	0,38	0,0744	0,0372
S.L.C.	2,088	1,0	0,2129	0,1065

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

**Conglomerati**

Nr.	Classe Calcestruzzo	fck,cubi [Mpa]	Ec [Mpa]	fck [Mpa]	fed [Mpa]	fctd [Mpa]	fctm [Mpa]
1	C20/25	25	29960	20	11,33	1,03	2,21
2	C25/30	30	31470	25	14,16	1,19	2,56
3	C28/35	35	32300	28	15,86	1,28	2,76
4	C40/50	50	35220	40	19,83	1,49	3,2
5	C35/45	45	34625	35	21,1	1,64	3,5
6	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	200000	240	210	360	210	0,012	0,01	1	0,5
5	S275H	200000	280	243	460	244	0,012	0,01	1	0,5
6	S355H	200000	360	312	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

**Stratigrafi a**

Ns	Spessore strato (cm)	Inclinazione dello strato. (°)	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> )	Angolo di resistenza a taglio (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito terra muro (°)	Presenza di falda (Si/No)	Litologia	Descrizione
1	160	0	20,00	36	0,00	0	No		Rilevato
2	560	0	19,50	29	30,00	0	No		VLU3

**Carichi concentrati**

Descrizione	Posizione x (cm)	Posizione y (cm)	Fx (kN/m)	Fy (kN/m)	Mz (kNm/m)
rivestimento	35,0	60,0	0,0	10,0	0,0
barriera	75,0	220,0	0,0	0,3	0,0

**Carichi distribuiti**

Descrizione	Ascissa iniziale (cm)	Ascissa finale (cm)	Valore iniziale (kPa)	Valore finale (kPa)	Profondità (cm)
Carico stradale	0,0	700,0	40,0	40,0	0,0
Sede stradale	0,0	850,0	4,4	4,4	0,0

**FATTORI DI COMBINAZIONE**

**A1+M1+R3 Scorrimento**

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,30
3	Peso terreno mensola	0,80
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	0,00
6	Spinta sismica in y	0,00
7	Carico stradale	1,50
8	Sede stradale	0,80
9	rivestimento	0,80
10	barriera	0,80

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	1,00
5	Spinta sismica in x	1,00
6	Spinta sismica in y	1,00
7	Carico stradale	0,20
8	Sede stradale	1,00
9	rivestimento	1,00
10	barriera	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
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1,2
	Ribaltamento	1

A Unitari+M1+RSLV+Beta (+50%)

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	Carico stradale	0,20
8	Sede stradale	1,00
9	rivestimento	1,00
10	barriera	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
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1,2
	Ribaltamento	1

Rara

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	Carico stradale	1,00
8	Sede stradale	1,00
9	rivestimento	1,00
10	barriera	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	1,4
2	Scorrimento	1,1
3	Partecipazione spinta passiva	1,4
	Ribaltamento	1,15

**Frequente**

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	Carico stradale	0,50
8	Sede stradale	1,00
9	rivestimento	1,00
10	barriera	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	1,4
2	Scorrimento	1,1
3	Partecipazione spinta passiva	1,4
	Ribaltamento	1,15

**Quasi permanente**

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	Carico stradale	0,20
8	Sede stradale	1,00
9	rivestimento	1,00
10	barriera	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	1,4
2	Scorrimento	1,1
3	Partecipazione spinta passiva	1,4
	Ribaltamento	1,15

**SLD**

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	Carico stradale	0,20
8	Sede stradale	1,00
9	rivestimento	1,00
10	barriera	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	1,4
2	Scorrimento	1,1
3	Partecipazione spinta passiva	1,4
	Ribaltamento	1,15

**A1+M1+R3 Carico limite**

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,30
2	Spinta terreno	1,30
3	Peso terreno mensola	1,30
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	0,00
6	Spinta sismica in y	0,00
7	Carico stradale	1,50
8	Sede stradale	1,50
9	rivestimento	1,50
10	barriera	1,50

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

**A1+M1+R1 Ribaltamento**

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	0,80
2	Spinta terreno	1,30
3	Peso terreno mensola	0,80
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	0,00
6	Spinta sismica in y	0,00
7	Carico stradale	1,50
8	Sede stradale	1,50
9	rivestimento	0,00
10	barriera	0,00

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	1,4
2	Scorrimento	1,1
3	Partecipazione spinta passiva	1,4
	Ribaltamento	1,15

**A1+M1+R3 Scorrimento [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
220,0	188,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	

188,0	156,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0
156,0	124,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0
124,0	92,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0
92,0	60,0	20,0	0,0	36,0	0,0	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
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	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	220,0	188,0	5,62	0,0	203,67	188,0
2	188,0	156,0	6,31	0,0	171,71	156,0
3	156,0	124,0	7,01	0,0	139,74	124,0
4	124,0	92,0	7,7	0,0	107,76	92,0
5	92,0	60,0	8,39	0,0	75,78	60,0

**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
188,0	0,0	3,92	75,0	204,0
156,0	0,0	7,85	75,0	188,0
124,0	0,0	11,77	75,0	172,0
92,0	0,0	15,69	75,0	156,0
60,0	0,0	19,61	75,0	140,0

**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
188,0	5,62	4,16	0,88	50,0
156,0	11,94	8,09	3,67	50,0
124,0	18,94	12,01	8,59	50,0
92,0	26,64	15,93	15,87	50,0
60,0	35,03	19,85	25,72	50,0

**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
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	4,43	168,28	S	187,49	0,0	32,7
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	8,24	169,05	S	187,55	0,0	15,41
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	12,05	169,83	S	187,6	0,0	9,71
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	16,24	170,68	S	187,65	0,0	6,91
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	20,49	171,55	S	187,71	0,0	5,26

### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(x_{r1}, y_{r1}) = (200, 0/0, 0)$   
 Piano di rottura passante per  $(x_{r2}, y_{r2}) = (200, 0/220, 0)$   
 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
220,0	188,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
188,0	156,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
156,0	124,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
124,0	92,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
92,0	60,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
60,0	0,0	19,5	0,0	28,5	0,0	30,0	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
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
0,0	0,35	0,0	0,0	0,35	0,0	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	220,0	188,0	4,23	3,07	203,67	203,67
2	188,0	156,0	4,75	3,45	171,71	171,71
3	156,0	124,0	5,27	3,83	139,74	139,74
4	124,0	92,0	5,79	4,2	107,76	107,76
5	92,0	60,0	6,31	4,58	75,78	75,78
6	60,0	0,0	13,49	2,72	30,0	30,0

#### 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	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Sollecitazioni total i

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	39,82	21,85	-4,53
Carichi esterni	0,0	8,24	-2,98
Peso muro	0,0	19,61	-14,71
Peso fondazione	0,0	29,42	-29,42
Sovraccarico	0,0	63,52	-95,28
Terr. fondazione	0,0	25,6	-38,4
	<b>39,82</b>	<b>168,25</b>	<b>-185,32</b>

Momento stabilizzante	-224,5 kNm
Momento ribaltante	39,18 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	39,82 kN
Sommatoria forze verticali	168,25 kN
Coefficiente di attrito	0,54
Adesione	30,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	168,25 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	39,82 kN
Resistenza terreno	151,35 kN
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>3,46</b>
<b>Traslazione verificata Csd&gt;1</b>	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-224,5 kNm
Momento ribaltante	39,18 kNm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>4,98</b>
<b>Muro verificato a ribaltamento Csv&gt;1</b>	

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	39,82 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	168,25 kN
Somma momenti	-185,32 kNm
Larghezza fondazione	200,0 cm
Lunghezza	850,0 cm
Eccentricità su B	10,15 cm
Peso unità di volume	19,5 KN/m³
Angolo di resistenza al taglio	28,5 °
Coesione	30,0 kPa
Terreno sulla fondazione	110,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m³
Nq	15,55
Nc	26,81
Ng	17,98
Fattori di forma	
sq	1,11
sc	1,12
sg	0,92
Inclinazione carichi	
iq	0,75
ic	0,73
ig	0,63
Fattori di profondità	
dq	1,18
dc	1,24
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	2401,86 kN
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>10,2</b>

**Carico limite verificato  $C_{sq} > 1$**

**Tensioni sul terreno**

Ascissa centro sollecitazione	110,15 cm		
Larghezza della fondazione	200,0 cm		
x = 0,0 cm		58,52	kPa
x = 200,0 cm		109,73	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
35,0	0,0	-16,9	-2,87	60,0
50,0	0,0	-17,11	-4,81	60,0

**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
5Ø20 (15,71)	5Ø20 (15,71)	-0,04	318,15	S	217,91	0,0	12,65
5Ø20 (15,71)	5Ø20 (15,71)	-0,04	318,15	S	217,91	0,0	12,49

**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
100,0	13,49	35,15	-26,37	60,0

**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
5Ø20 (15,71)	5Ø20 (15,71)	13,84	321,5	S	219,8	0,0	6,13

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

Coefficiente sismico orizzontale Kh 0,0744  
Coefficiente sismico verticale Kv 0,0372

**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
220,0	188,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
188,0	156,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
156,0	124,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
124,0	92,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
92,0	60,0	20,0	0,0	36,0	0,0	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
0,0	0,26	0,3	0,05	0,26	0,0	0,05	0,0
0,0	0,26	0,3	0,05	0,26	0,0	0,05	0,0
0,0	0,26	0,3	0,05	0,26	0,0	0,05	0,0
0,0	0,26	0,3	0,05	0,26	0,0	0,05	0,0
0,0	0,26	0,3	0,05	0,26	0,0	0,05	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	220,0	188,0	2,0	0,0	203,44	188,0
2	188,0	156,0	2,42	0,0	171,53	156,0
3	156,0	124,0	2,84	0,0	139,6	124,0
4	124,0	92,0	3,27	0,0	107,66	92,0
5	92,0	60,0	3,69	0,0	75,69	60,0

#### 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
188,0	0,29	3,92	75,0	204,0
156,0	0,58	7,85	75,0	188,0
124,0	0,88	11,77	75,0	172,0
92,0	1,17	15,69	75,0	156,0
60,0	1,46	19,61	75,0	140,0

#### 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
188,0	2,29	4,22	0,36	50,0
156,0	5,0	8,15	1,51	50,0
124,0	8,14	12,07	3,6	50,0

92,0	11,7	15,99	6,76	50,0
60,0	15,68	19,91	11,13	50,0

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
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	4,43	168,28	S	187,49	0,0	80,28
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	8,59	169,12	S	187,55	0,0	36,76
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	12,05	169,83	S	187,6	0,0	22,61
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	16,24	170,68	S	187,66	0,0	15,73
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	20,49	171,55	S	187,71	0,0	11,74

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(xr1, yr1) = (200,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(xr2, yr2) = (200,0/220,0)$   
 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
220,0	188,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
188,0	156,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
156,0	124,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
124,0	92,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
92,0	60,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
60,0	0,0	19,5	0,0	28,5	0,0	30,0	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
36,0	0,24	0,29	0,06	0,2	0,14	0,05	0,04
36,0	0,24	0,29	0,06	0,2	0,14	0,05	0,04
36,0	0,24	0,29	0,06	0,2	0,14	0,05	0,04
36,0	0,24	0,29	0,06	0,2	0,14	0,05	0,04
36,0	0,24	0,29	0,06	0,2	0,14	0,05	0,04
0,0	0,35	0,4	0,06	0,35	0,0	0,06	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	220,0	188,0	1,87	1,19	203,58	203,51
2	188,0	156,0	2,17	1,4	171,64	171,59
3	156,0	124,0	2,47	1,62	139,68	139,64
4	124,0	92,0	2,77	1,83	107,71	107,69
5	92,0	60,0	3,06	2,05	75,74	75,72
6	60,0	0,0	3,34	2,72	30,68	30,0

**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	60,0	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	15,68	10,82	-4,32
Carichi esterni	0,0	10,3	-3,73
Peso muro	1,46	19,61	-12,67
Peso fondazione	2,19	29,42	-28,76
Sovraccarico	0,92	12,4	-16,57
Terr. fondazione	2,38	32,0	-44,67
	<b>22,64</b>	<b>114,55</b>	<b>-110,71</b>

Momento stabilizzante	-136,09 kNm
Momento ribaltante	25,38 kNm

**Verifica alla traslazione**

Sommatoria forze orizzontali	22,64 kN
Sommatoria forze verticali	114,55 kN
Coefficiente di attrito	0,54
Adesione	30,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	114,55 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	22,64 kN
Resistenza terreno	122,2 kN
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>5,4</b>
<b>Traslazione verificata Csd&gt;1</b>	

**Verifica al ribaltamento**

Momento stabilizzante	-136,09 kNm
Momento ribaltante	25,38 kNm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>5,36</b>
<b>Muro verificato a ribaltamento Csv&gt;1</b>	

**Carico limite verticale VESIC**

Somma forze in direzione x (Fx)	22,64 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	114,55 kN
Somma momenti	-110,71 kNm
Larghezza fondazione	200,0 cm
Lunghezza	850,0 cm
Eccentricità su B	3,35 cm
Peso unità di volume	19,5 KN/m³
Angolo di resistenza al taglio	28,5 °
Coesione	30,0 kPa
Terreno sulla fondazione	110,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m³
Nq	15,55
Nc	26,81
Ng	17,98
Fattori di forma	
sq	1,12

sc	1,13
sg	0,91
Inclinazione carichi	
iq	0,82
ic	0,81
ig	0,74
Fattori di profondità	
dq	1,17
dc	1,23
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	2903,22 kN
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>21,12</b>

**Carico limite verificato Csq>1**

**Tensioni sul terreno**

Ascissa centro sollecitazione	96,65 cm	
Larghezza della fondazione	200,0 cm	
x = 0,0 cm	63,04	kPa
x = 200,0 cm	51,51	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
35,0	0,0	-16,56	-2,92	60,0
50,0	0,0	-13,45	-4,42	60,0

**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
5Ø20 (15,71)	5Ø20 (15,71)	-0,04	318,15	S	217,91	0,0	12,9
5Ø20 (15,71)	5Ø20 (15,71)	-0,04	318,15	S	217,91	0,0	15,89

**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
100,0	3,34	15,54	-13,65	60,0

**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
5020 (15,71)	5020 (15,71)	3,2	318,93	S	218,37	0,0	13,78

**A\_Unitari+MI+RSLV+Beta (+50%) [GEO]**

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0,111
Coefficiente sismico verticale Kv	0,056

**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
220,0	188,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
188,0	156,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
156,0	124,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
124,0	92,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
92,0	60,0	20,0	0,0	36,0	0,0	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
0,0	0,26	0,37	0,14	0,26	0,0	0,14	0,0
0,0	0,26	0,37	0,14	0,26	0,0	0,14	0,0
0,0	0,26	0,37	0,14	0,26	0,0	0,14	0,0
0,0	0,26	0,37	0,14	0,26	0,0	0,14	0,0
0,0	0,26	0,37	0,14	0,26	0,0	0,14	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	220,0	188,0	3,14	0,0	203,79	188,0
2	188,0	156,0	3,38	0,0	171,81	156,0
3	156,0	124,0	3,63	0,0	139,82	124,0
4	124,0	92,0	3,87	0,0	107,83	92,0
5	92,0	60,0	4,12	0,0	75,84	60,0

**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
188,0	0,65	3,92	75,0	204,0
156,0	1,31	7,85	75,0	188,0
124,0	1,96	11,77	75,0	172,0
92,0	2,61	15,69	75,0	156,0
60,0	3,27	19,61	75,0	140,0

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
188,0	3,79	4,22	0,6	50,0
156,0	7,83	8,15	2,45	50,0
124,0	12,11	12,07	5,64	50,0
92,0	16,64	15,99	10,23	50,0
60,0	21,41	19,91	16,31	50,0

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(x_{r1}, y_{r1}) = (200,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(x_{r2}, y_{r2}) = (200,0/220,0)$   
 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/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
220,0	188,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
188,0	156,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
156,0	124,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
124,0	92,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
92,0	60,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
60,0	0,0	19,5	0,0	28,5	0,0	30,0	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
36,0	0,24	0,39	0,17	0,2	0,14	0,14	0,1
36,0	0,24	0,39	0,17	0,2	0,14	0,14	0,1
36,0	0,24	0,39	0,17	0,2	0,14	0,14	0,1
36,0	0,24	0,39	0,17	0,2	0,14	0,14	0,1
36,0	0,24	0,39	0,17	0,2	0,14	0,14	0,1
0,0	0,35	0,49	0,17	0,35	0,0	0,17	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	220,0	188,0	3,43	2,03	203,91	203,89
2	188,0	156,0	3,55	2,12	171,91	171,89
3	156,0	124,0	3,67	2,2	139,92	139,9
4	124,0	92,0	3,78	2,29	107,92	107,9
5	92,0	60,0	3,9	2,37	75,92	75,9
6	60,0	0,0	4,49	2,72	31,33	30,0

### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.  
Qf Quota finale 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	60,0	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	22,82	13,73	-0,78
Carichi esterni	0,0	10,3	-3,73
Peso muro	3,27	19,61	-10,14
Peso fondazione	4,9	29,42	-27,95
Sovraccarico	2,06	12,4	-14,06
Terr. fondazione	5,33	32,0	-40,54
	<b>38,38</b>	<b>117,46</b>	<b>-97,2</b>

Momento stabilizzante -141,91 kNm  
Momento ribaltante 44,72 kNm

### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante -141,91 kNm  
Momento ribaltante 44,72 kNm  
Coeff. sicurezza ribaltamento C<sub>sv</sub> 3,17

**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
35,0	0,0	-24,18	-4,35	60,0
50,0	0,0	-23,41	-7,18	60,0

### 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
100,0	4,49	29,31	-23,98	60,0

**A1+M1+R3 Carico limite [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);
$\beta$	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	$\beta$	Note
220,0	188,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
188,0	156,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
156,0	124,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
124,0	92,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
92,0	60,0	20,0	0,0	36,0	0,0	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
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	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	220,0	188,0	5,88	0,0	203,69	188,0
2	188,0	156,0	6,57	0,0	171,72	156,0
3	156,0	124,0	7,26	0,0	139,75	124,0
4	124,0	92,0	7,95	0,0	107,77	92,0
5	92,0	60,0	8,64	0,0	75,79	60,0

#### 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
188,0	0,0	5,1	75,0	204,0
156,0	0,0	10,2	75,0	188,0
124,0	0,0	15,3	75,0	172,0
92,0	0,0	20,4	75,0	156,0
60,0	0,0	25,5	75,0	140,0

#### 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
188,0	5,88	5,55	0,92	50,0
156,0	12,45	10,65	3,84	50,0
124,0	19,71	15,75	8,96	50,0
92,0	27,66	20,85	16,52	50,0
60,0	36,3	25,95	26,74	50,0

#### 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
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	5,81	168,56	S	187,51	0,0	31,28
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	10,66	169,55	S	187,58	0,0	14,78
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	16,24	170,68	S	187,65	0,0	9,34
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	21,19	171,69	S	187,72	0,0	6,66
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	26,49	172,76	S	187,79	0,0	5,07

### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(xr1, yr1) = (200,0/0,0)$

Piano di rottura passante per  $(xr2, yr2) = (200,0/220,0)$

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
220,0	188,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
188,0	156,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
156,0	124,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
124,0	92,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
92,0	60,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
60,0	0,0	19,5	0,0	28,5	0,0	30,0	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
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
0,0	0,35	0,0	0,0	0,35	0,0	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	220,0	188,0	4,42	3,21	203,69	203,69
2	188,0	156,0	4,94	3,59	171,72	171,72
3	156,0	124,0	5,46	3,97	139,75	139,75
4	124,0	92,0	5,98	4,34	107,77	107,77

5	92,0	60,0	6,5	4,72	75,79	75,79
6	60,0	0,0	14,14	2,72	30,0	30,0

#### 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	60,0	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	41,44	22,55	-4,38
Carichi esterni	0,0	15,45	-5,59
Peso muro	0,0	25,5	-19,12
Peso fondazione	0,0	38,25	-38,25
Sovraccarico	0,0	66,6	-99,9
Terr. fondazione	0,0	41,6	-62,4
	<b>41,44</b>	<b>209,95</b>	<b>-229,64</b>

Momento stabilizzante	-270,36 kNm
Momento ribaltante	40,72 kNm

#### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	41,44 kN	
Sommatoria forze verticali	209,95 kN	
Coefficiente di attrito	0,54	
Adesione	30,0	kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °	
Forze normali al piano di scorrimento	209,95 kN	
Forze parall. al piano di scorrimento	41,44 kN	
Resistenza terreno	173,99 kN	
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>3,82</b>	

**Traslazione verificata Csd>1**

#### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-270,36 kNm
Momento ribaltante	40,72 kNm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>5,77</b>

**Muro verificato a ribaltamento Csv>1**

#### Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	41,44 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	209,95 kN
Somma momenti	-229,64 kNm
Larghezza fondazione	200,0 cm
Lunghezza	850,0 cm
Eccentricità su B	9,38 cm
Peso unità di volume	19,5 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza al taglio	28,5 °
Coesione	30,0 kPa
Terreno sulla fondazione	110,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m <sup>3</sup>
Nq	15,55
Nc	26,81
Ng	17,98
Fattori di forma	
sq	1,12
sc	1,12
sg	0,91
Inclinazione carichi	
iq	0,77



ic	0,75
ig	0,67
Fattori di profondità	
dq	1,18
dc	1,24
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	2514,43 kN
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>8,55</b>

**Carico limite verificato Csq>1**

**Tensioni sul terreno**

Ascissa centro sollecitazione	109,38 cm	
Larghezza della fondazione	200,0 cm	
x = 0,0 cm	75,43	kPa
x = 200,0 cm	134,51	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
35,0	0,0	-21,52	-3,65	60,0
50,0	0,0	-16,85	-5,39	60,0

**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
5Ø20 (15,71)	5Ø20 (15,71)	-0,04	318,15	S	217,91	0,0	9,93
5Ø20 (15,71)	5Ø20 (15,71)	-0,04	318,15	S	217,91	0,0	12,68

**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
100,0	14,14	20,53	-19,02	60,0

**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
5Ø20 (15,71)	5Ø20 (15,71)	14,31	321,61	S	219,89	0,0	10,51

**A1+M1+R1 Ribaltamento [GEO]**

**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
220,0	188,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
188,0	156,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
156,0	124,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
124,0	92,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	
92,0	60,0	20,0	0,0	36,0	0,0	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
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	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	220,0	188,0	5,88	0,0	203,69	188,0
2	188,0	156,0	6,57	0,0	171,72	156,0
3	156,0	124,0	7,26	0,0	139,75	124,0
4	124,0	92,0	7,95	0,0	107,77	92,0
5	92,0	60,0	8,64	0,0	75,79	60,0

**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
188,0	0,0	3,14	75,0	204,0
156,0	0,0	6,28	75,0	188,0
124,0	0,0	9,41	75,0	172,0
92,0	0,0	12,55	75,0	156,0
60,0	0,0	15,69	75,0	140,0

**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
188,0	5,88	3,14	0,92	50,0
156,0	12,45	6,28	3,84	50,0
124,0	19,71	9,41	8,96	50,0
92,0	27,66	12,55	16,52	50,0
60,0	36,3	15,69	26,74	50,0

### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(x_{r1}, y_{r1}) = (200,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(x_{r2}, y_{r2}) = (200,0/220,0)$   
 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
220,0	188,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
188,0	156,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
156,0	124,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
124,0	92,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
92,0	60,0	20,0	0,0	36,0	36,0	0,0	0,0	
60,0	0,0	19,5	0,0	28,5	0,0	30,0	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
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
36,0	0,24	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
0,0	0,35	0,0	0,0	0,35	0,0	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	220,0	188,0	4,42	3,21	203,69	203,69
2	188,0	156,0	4,94	3,59	171,72	171,72
3	156,0	124,0	5,46	3,97	139,75	139,75
4	124,0	92,0	5,98	4,34	107,77	107,77
5	92,0	60,0	6,5	4,72	75,79	75,79
6	60,0	0,0	14,14	2,72	30,0	30,0

#### 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) Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);		Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);			
	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

#### Sollecitazioni total i

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	41,44	22,55	-4,38
Peso muro	0,0	15,69	-11,77
Peso fondazione	0,0	23,54	-23,54
Sovraccarico	0,0	66,6	-99,9
Terr. fondazione	0,0	25,6	-38,4
	<b>41,44</b>	<b>153,98</b>	<b>-177,99</b>

Momento stabilizzante	-218,71 kNm
Momento ribaltante	40,72 kNm

#### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-218,71 kNm
Momento ribaltante	40,72 kNm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento C<sub>sv</sub></b>	<b>4,67</b>

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

#### MENSOLA A VALLE

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
35,0	0,0	-12,43	-2,04	60,0
50,0	0,0	-19,1	-4,4	60,0

#### MENSOLA A MONTE

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
100,0	14,14	37,92	-27,2	60,0

#### Verifica fessurazione

##### Rara [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	--	0,200	--	--	Si	2,73	152,96	-5,73
Si	0,003	0,200	436,023	1084	Si	1,12	152,96	26,32
Si	0,013	0,200	468,455	1204	Si	2,71	152,96	91,17
Si	0,028	0,200	481,004	1250	Si	5,06	152,96	197,79
Si	0,050	0,200	481,004	1250	Si	8,24	152,96	349,98

#### Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
-----------------------	---------------------	----------------------------	---------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

						daN/cm <sup>2</sup>			
Si	0,004	0,200	406,563	1250		Si	0,65	152,96	32,37
Si	0,006	0,200	406,563	1250		Si	0,98	152,96	48,59

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm <sup>2</sup>	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	0,022	0,200	406,563	1250	Si	4,31	152,96	180,36

**Frequente [Frequente]**

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm <sup>2</sup>	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	--	0,200	--	--	Si	2,17	152,96	-12,47
Si	0,001	0,200	346,532	753	Si	0,59	152,96	5,72
Si	0,005	0,200	431,843	1068	Si	1,58	152,96	35,70
Si	0,013	0,200	461,055	1176	Si	3,11	152,96	95,97
Si	0,026	0,200	474,877	1227	Si	5,23	152,96	189,31

Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm <sup>2</sup>	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	0,200	406,563	1250	Si	0,55	152,96	27,47
Si	0,005	0,200	406,563	1250	Si	0,76	152,96	38,01

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm <sup>2</sup>	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	0,014	0,200	406,563	1250	Si	2,68	152,96	114,41

**Quasi permanente [Frequente]**

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm <sup>2</sup>	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	--	0,200	--	--	Si	1,84	152,96	-16,52
Si	--	0,200	--	--	Si	4,63	152,96	-18,84
Si	0,001	0,200	345,519	749	Si	0,88	152,96	8,35
Si	0,005	0,200	420,859	1028	Si	1,88	152,96	38,03
Si	0,013	0,200	452,583	1145	Si	3,37	152,96	94,81

Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm <sup>2</sup>	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	0,200	406,563	1250	Si	0,49	152,96	24,38
Si	0,004	0,200	406,563	1250	Si	0,64	152,96	31,60

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm <sup>2</sup>	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	0,009	0,200	406,563	1250	Si	1,71	152,96	75,22

**SLD [Frequente]**

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm <sup>2</sup>	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	--	0,200	--	--	Si	2,02	152,96	-14,28
Si	--	0,200	--	--	Si	5,35	152,96	-10,21
Si	0,003	0,200	403,839	965	Si	1,24	152,96	21,07
Si	0,009	0,200	446,813	1124	Si	2,50	152,96	65,97
Si	0,019	0,200	466,089	1195	Si	4,26	152,96	139,29

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	0,004	0,200	406,563	1250	Si	0,64	152,96	31,72
Si	0,005	0,200	406,563	1250	Si	0,92	152,96	45,57

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	0,015	0,200	406,563	1250	Si	2,73	152,96	124,47

## 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 (φ), 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.

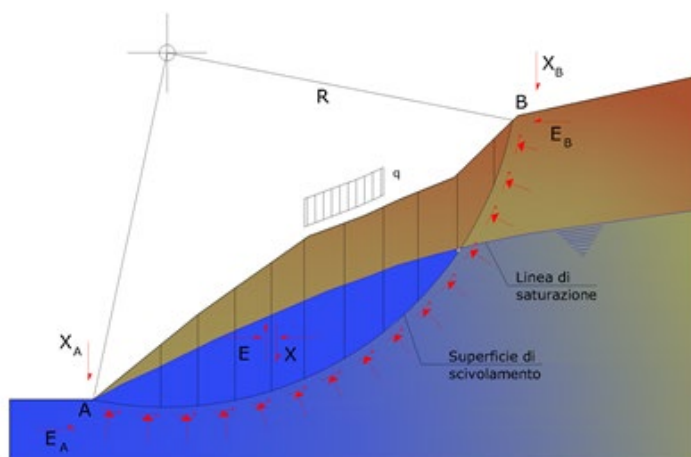
### Metodo equilibrio limite (LEM)

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 (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ<sub>f</sub>), 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 concii

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di concii. Se il numero dei concii 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 concii;
- $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei concii;
- $n$  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  $F$ .

Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti  $n$ ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$ ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$ ;
- equazioni relative al criterio di rottura  $n$ .

Totale numero di equazioni  $4n$ .

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

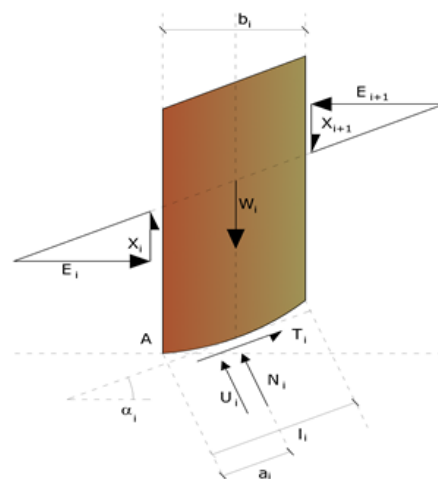
$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quanto si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

### Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:



$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre ΔX = 0 ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

### Analisi di stabilità dei pendii con BISHOP (1955)

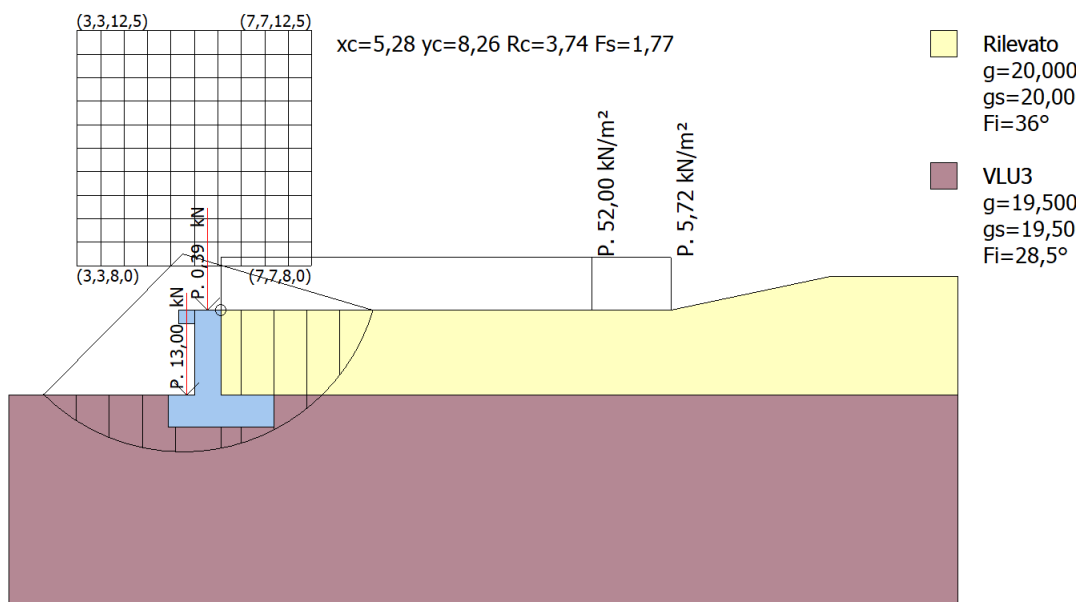


Fig. 8a Modello di calcolo concio tipo (condizione statica)

### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

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	3,29 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	8,04 m
Ascissa vertice destro superiore xs	7,71 m
Ordinata vertice destro superiore ys	12,47 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	2,0	5,6
2	5,0	5,6
3	5,5	5,6
4	6,0	7,2
5	6,0	7,2
6	14,5	7,2
7	17,5	7,84
8	19,9	7,84

#### Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	2,0	5,6
2	6,0	5,6
3	19,9	5,6

#### Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,3	1,3
Favorevoli: Permanenti, variabili	0,8	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 drenata (kN/m <sup>2</sup> )	non Angolo resistenza taglio (°)	Peso unità al volume (kN/m <sup>3</sup> )	di Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0		36	20,00031	20,00031	Rilevato
2	30		28,5	19,50031	19,50031	VLU3

#### Carichi concentrati

N°	x (m)	y (m)	Fx (kN)	Fy (kN)	M (kNm)
1	5,35	5,6	0	13,0002	0
2	5,75	7,2	0	0,3900062	0

#### Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m <sup>2</sup> )
1	6	7,2	13	7,2	52,00083
2	6	7,2	14,5	7,2	5,720091

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1,77
Ascissa centro superficie	5,28 m
Ordinata centro superficie	8,26 m
Raggio superficie	3,74 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.

$xc = 5,279$   $yc = 8,259$   $Rc = 3,739$   $Fs=1,767$

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	0,62	-38,6	0,79	3,33	0,0	0,0	24,0	23,5	0,0	15,0	14,5
2	0,62	-27,1	0,7	8,16	0,0	0,0	24,0	23,5	0,0	13,9	12,9

3	0,62	-16,8	0,65	11,18	0,0	0,0	24,0	23,5	0,0	13,0	12,0
4	0,62	-7,0	0,63	12,76	0,0	0,0	24,0	23,5	0,0	11,7	11,4
5	0,86	4,5	0,87	39,18	0,0	0,0	24,0	23,5	0,0	49,2	23,9
6	0,38	14,1	0,39	47,68	0,0	0,0	24,0	23,5	0,0	58,9	19,8
7	0,62	22,3	0,67	76,27	0,0	0,0	24,0	23,5	0,0	93,9	32,2
8	0,62	33,1	0,74	72,34	0,0	0,0	24,0	23,5	0,0	91,1	32,5
9	0,62	45,6	0,89	66,22	0,0	0,0	0,0	30,2	0,0	92,1	30,3
10	0,62	63,0	1,37	48,39	0,0	0,0	0,0	30,2	0,0	84,2	27,7

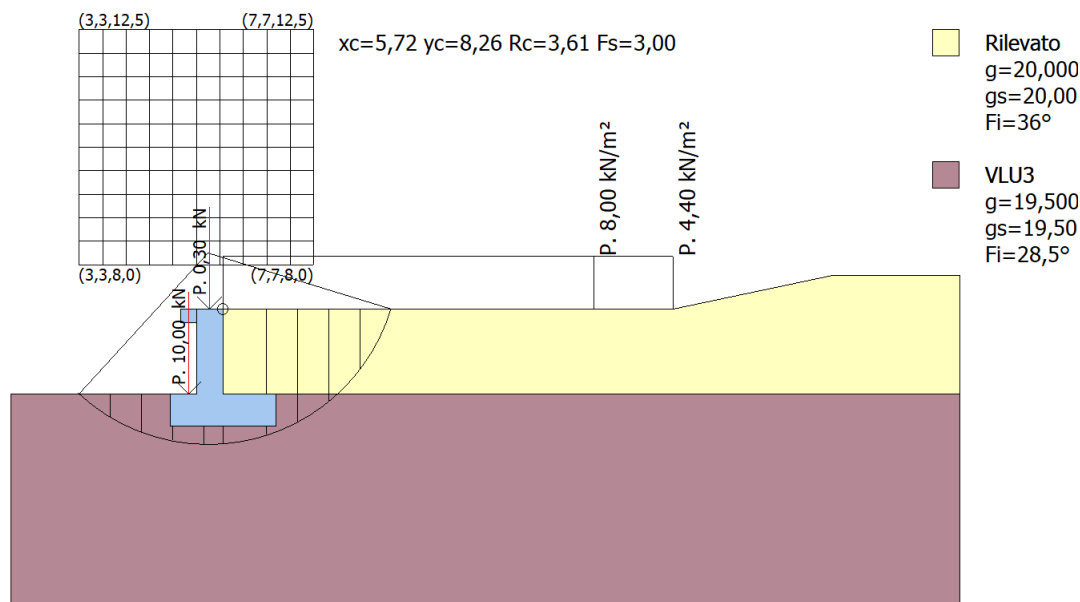


Fig. 8b Modello di calcolo concio tipo (condizione sismica)

### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

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

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	3,29 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	8,04 m
Ascissa vertice destro superiore xs	7,71 m
Ordinata vertice destro superiore ys	12,47 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0
Coefficiente azione sismica orizzontale	0,074
Coefficiente azione sismica verticale	0,037

### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	2,0	5,6
2	5,0	5,6
3	5,5	5,6
4	6,0	7,2
5	6,0	7,2
6	14,5	7,2
7	17,5	7,84

8 19,9 7,84

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

N	X (m)	y (m)
1	2,0	5,6
2	6,0	5,6
3	19,9	5,6

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,2
Favorevoli: Permanenti, variabili	0,8	0,0

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

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,0
Coesione efficace	1,0
Coesione non drenata	1,0
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione drenata (kN/m <sup>2</sup> )	non Angolo resistenza taglio (°)	Peso unità al volume (kN/m <sup>3</sup> )	di Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0		36	20,00031	20,00031	Rilevato
2	30		28,5	19,50031	19,50031	VLU3

**Carichi concentrati**

N°	x (m)	y (m)	Fx (kN)	Fy (kN)	M (kNm)
1	5,35	5,6	0	10,00016	0
2	5,75	7,2	0	0,3000048	0

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m <sup>2</sup> )
1	6	7,2	13	7,2	8
2	6	7,2	14,5	7,2	4,40007

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2 (Sisma)]**

Fs minimo individuato	3,0
Ascissa centro superficie	5,72 m
Ordinata centro superficie	8,26 m
Raggio superficie	3,61 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 = 5,721 yc = 8,259 Rc = 3,608 Fs=3,00**

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	0,59	-36,7	0,73	2,79	0,21	0,1	30,0	28,5	0,0	8,3	7,4
2	0,59	-25,7	0,65	6,85	0,51	0,25	30,0	28,5	0,0	9,4	6,9
3	0,59	-15,6	0,61	9,38	0,69	0,35	30,0	28,5	0,0	9,6	6,5
4	0,59	-6,0	0,59	18,67	1,38	0,69	30,0	28,5	0,0	15,8	7,3
5	0,36	1,5	0,36	14,39	1,06	0,53	30,0	28,5	0,0	14,3	5,2
6	0,82	11,0	0,83	50,25	3,72	1,86	30,0	28,5	0,0	48,4	14,2
7	0,59	22,7	0,64	33,85	2,51	1,25	30,0	28,5	0,0	32,4	10,2
8	0,59	33,4	0,71	30,27	2,24	1,12	30,0	28,5	0,0	29,5	10,3
9	0,59	45,7	0,84	24,7	1,83	0,91	0,0	36,0	0,0	29,3	5,9
10	0,59	62,7	1,28	14,21	1,05	0,53	0,0	36,0	0,0	22,3	4,5

## 13 CALCOLO DELLE INCIDENZE

### 13.1 INCIDENZA DELLE ARMATURE

Di seguito sono riepilogate le incidenze delle armature relative ai differenti elementi in cemento armato:

MURI

- Pareti in elevazione → **80,00 daN/mc**
- Zattere di fondazione → **80,00 daN/mc**

**14 SOTTOSCRIZIONE DELL'ELABORATO DA PARTE DEL R.T.P.**

STUDIO CORONA S.r.l.

ECOPLAN S.r.l.

I.T. S.r.l.

E&G S.r.l.

CONSORZIO UNING

ARKE' INGEGNERIA S.r.l.

SETAC S.r.l.

ING. RENATO DEL PRETE

DOTT. DANILO GALLO