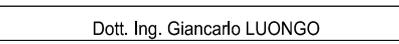


S.S. 38 - LOTTO 4: VARIANTE DI TIRANO DALLO SVINCOLO DI STAZZONA (COMPRESO) ALLO SVINCOLO DI LORETO (CON COLLEGAMENTO ALLA DOGANA DI POSCHIAVO)

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

PROGETTO ESECUTIVO

		<b>ING. RENATO DEL PRETE</b>		
	<b>Ing. Valerio Bajetti</b> Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211	<b>Ing. Renato Del Prete</b> Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073	<b>Arch. Nicoletta Frattini</b> Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433	<b>Ing. Gabriele Incecchi</b> Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102
<b>Ing. Renato Vaira</b> (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)		<b>SETAC Srl</b> Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni	<b>ARKE' INGEGNERIA s.r.l.</b> Via Impugnator, telefono n. 4 - 70126 Bari	<b>DOTT. GEOL. DANILO GALLO</b>
	<b>Società designata: GA&amp;M</b>	<b>Prof. Ing. Luigi Monterisi</b> Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771	<b>Ing. Gioacchino Angarano</b> Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970	<b>Dott. Geol. Danilo Gallo</b> Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588
<b>VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b>	<b>RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</b>	<b>GEOLOGO</b>	<b>IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b>	
				
<b>IN01</b>	<b>I - PROGETTO STRUTTURALE - OPERE D'ARTE MINORI</b> <b>IN - MURO IN SX DA KM 2+595 A KM 2+710</b> <b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>			
<b>CODICE PROGETTO</b>	<b>NOME FILE</b>		<b>REVISIONE</b>	<b>SCALA:</b>
PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG. <b>M I 3 2 4</b> <b>E</b> <b>1 8 0 1</b>	IN01 - P00OS02STRRE01_B.dwg			
<b>CODICE ELAB.</b>	<b>P 0 0 O S 0 2 S T R R E 0 1</b>		<b>B</b>	<b>-</b>
<b>C</b>				
<b>B</b>	EMISSIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA ANAS	FEBBRAIO 2020	ING. FRANCO NACCI	ING. GAETANO RANIERI
<b>A</b>	EMISSIONE	FEBBRAIO 2019	ING. FRANCO NACCI	ING. FABRIZIO BAJETTI
<b>REV.</b>	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO
				APPROVATO

## SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	3
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	3
3	UBICAZIONE DELL'OPERA.....	4
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
5	UNITA' DI MISURA.....	5
6	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	5
6.1	Calcestruzzo.....	5
6.1.1	Calcestruzzo per opere di sottofondazione .....	5
6.1.2	Calcestruzzo per FONDAZIONI ED ELEVAZIONI .....	5
6.1.3	Caratteristiche del calcestruzzo ai fini della durabilità.....	6
6.1.4	Verifiche allo stato limite di apertura delle fessure .....	6
6.1.5	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
10.2.1	Peso del rilevato stradale .....	14
10.2.2	Peso della sovrastruttura stradale.....	14
10.2.3	Peso del rivestimento in pietra .....	15
10.2.4	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' .....	51
13	VERIFICA DELLA PALANCOLA.....	58
13.1	Introduzione. ....	60

13.2	Tipi di paratie. ....	60
13.3	Analisi della paratia. ....	60
13.3.1	Alcune considerazioni preliminari. ....	60

## 1 INTRODUZIONE

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

Nel presente documento si affrontano le problematiche progettuali connesse al dimensionamento e alla verifica del muro di sostegno in c.a. a mensola in sx dalla progressiva 2+595 km alla progressiva 2+710 km dell'asse principale.

La presente relazione, inoltre, tratta della palancola provvisoria in acciaio della lunghezza di circa 70,00 m da installare per la realizzazione in oggetto; trattandosi di opera provvisoria di durata inferiore a due anni, ai sensi del paragrafo 2.4.1 delle NTC 2018 non saranno effettuate le verifiche sismiche. La palancola sarà del tipo AZ 14-770 della ARCELOR MITTAL con parte infissa di altezza pari a 3,00 m e con sbalzo di altezza 3,00 m di cui la parte di sostegno dello scavo di altezza massima pari a 2,00 m. La verifica della palancola è condotta considerando un'unica fase, ossia la più critica:

Fase 1. Situazione definitiva con palancola, altezza di scavo 2,00 m e presenza dei carichi permanenti e accidentali. Per quanto riguarda i carichi permanenti del fabbricato, si è assunto un carico agente uniforme pari a 40 kN/m<sup>2</sup>.

## 2 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Il muro di sostegno risulta così costituito:

- Muro di spessore variabile da **114 cm** alla base a **70 cm** in sommità compreso di cordolo 60x70 cm, altezza pari a **800 cm**
- Zattera di fondazione di larghezza pari a **750 cm** e altezza pari a **140 cm** con piede di monte di larghezza pari a **530 cm** e piede di valle di larghezza pari a **106 cm**.

Si riportano di seguito alcune immagini che descrivono tale opera.

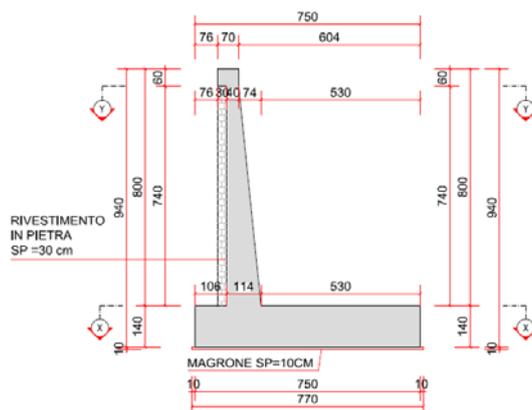


Fig. 1 Sezione trasversale

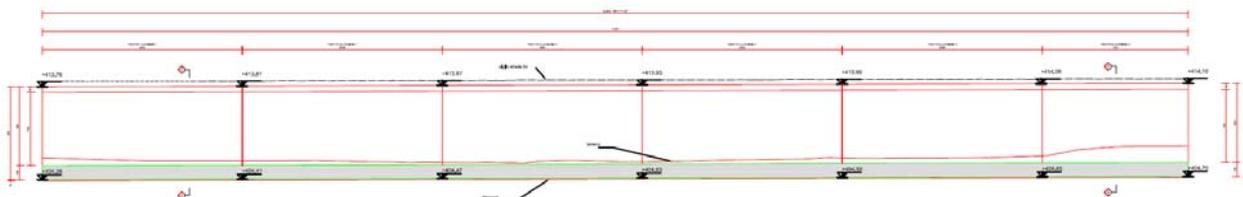


Fig. 2 Sezione longitudinale

### 3 UBICAZIONE DELL'OPERA

Il muro tra le progressive 2+595,00 e 2+710,00 km è ubicato planimetricamente come mostrato nell'immagine successiva:



Fig. 3 Ubicazione dell'opera

### 4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- **Legge 05/01/1971 n.1086** → Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- **Legge 02/02/1974 n. 64** → Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- **DM 17/01/2018** → Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
- **Circolare n. 7 del 21/01/2019 /C.S.LL.PP.** → Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17/01/2018
- **UNI EN 1992-1 (Eurocodice 2 – Parte 1)** → Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Regole generali

- **UNI EN 1992-2 (Eurocodice 2 – Parte 2)** → Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Ponti
- **UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2015** → Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- **UNI EN 206-1:2006** → Calcestruzzo – Specificazione, prestazione e conformità
- **UNI 11104:2004** → Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1
- **Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP. Linee guida sul calcestruzzo strutturale**

## 5 UNITA' DI MISURA

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

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

## 6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 6.1 CALCESTRUZZO

#### 6.1.1 CALCESTRUZZO PER OPERE DI SOTTOFONDAZIONE

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

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

#### 6.1.2 CALCESTRUZZO PER FONDAZIONI ED ELEVAZIONI

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

Fase finale	$R_{ck}$	=	37.00	MPa
Resistenza a compressione cilindrica	$f_{ck}$	=	$0.83 \times R_{ck}$	= 30.71 MPa
Resistenza cilindrica media	$f_{cm}$	=	$f_{ck} + 8$	= 38.71 MPa
Modulo elastico	$E_c$	=	$22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$	= 33019 MPa
Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo	$\gamma_c$	=	1.5	
Coefficiente per le resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc}$	=	0.85	
Resistenza a compressione di calcolo	$f_{cd}$	=	$\alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c$	= 17.40 MPa

Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3}$	= 2.94	MPa
Resistenza a trazione	$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm}$	= 2.06	MPa
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	= 1.37	MPa
S.L.E.			
Tensione limite di esercizio (comb. Rare)	$\sigma_{cR} = f_{ck} \times 0.60$	= 18.43	MPa
Tensione limite di esercizio (comb. Quasi Perm.)	$\sigma_{cP} = f_{ck} \times 0.45$	= 13.82	MPa
Classe di esposizione	XF3		

### 6.1.3 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 e elevazioni:

Classe di esposizione XF3

Classe di resistenza caratteristica a compressione: C30/37

Dimensione max aggregati fondazioni: 32 mm

Dimensione max aggregati elevazioni: 25 mm

Classe minima di consistenza: S4

Copriferro minimo: 50 mm

### 6.1.4 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:

Fondazione

CLASSE DI ESPOSIZIONE XF3

## Elevazione

CLASSE DI ESPOSIZIONE XF3

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:  $w_k \leq w_2 = 0.2 \text{ mm}$

### 6.1.5 COPRIFERRO

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

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

Nel caso in oggetto si hanno i seguenti parametri:

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

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

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

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

## 6.2 ACCIAIO

### 6.2.1 ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA LENTA

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

- $f_{t,k}$  = 540,00 MPa (resistenza caratteristica a rottura)
- $f_{y,k}$  = 450,00 MPa (tensione caratteristica di snervamento)
- $\gamma_s$  = 1.15 (Coefficiente parziale di sicurezza acciaio)

- $f_{y,d} = f_{yk}/\gamma_s = 391.30 \text{ MPa}$  (tensione di snervamento di calcolo -  $\gamma_c=1,15$ )
- $E_s = 200.000,00 \text{ MPa}$  (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 agli allegati da 1 a 5 della relazione geologica di cui si riporta nella figura seguente uno stralcio, risulta che i terreni sono costituiti da depositi alluvionali stabilizzati sub-affioranti. Il sondaggio geognostico SP.1 risulta quello posto in prossimità dell'opera in progetto. La falda non interessa l'opera oggetto della presente relazione.

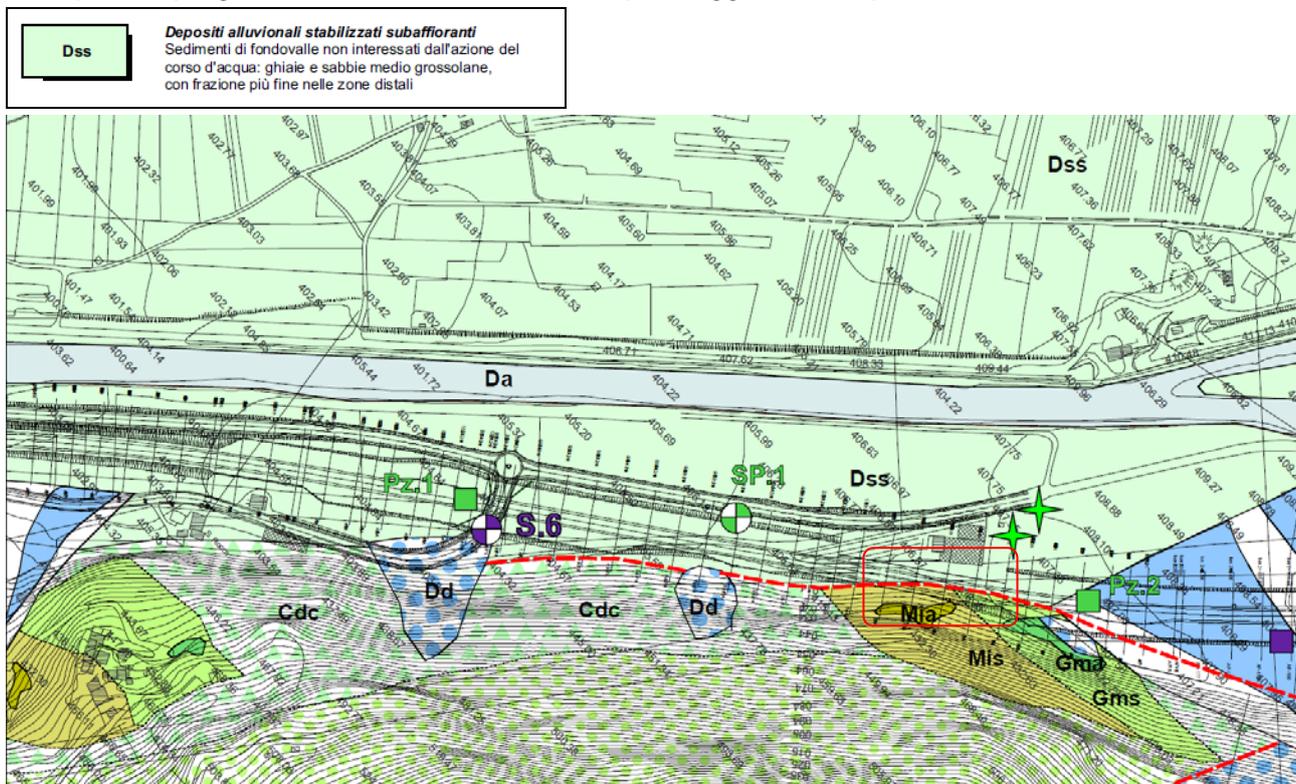


Figura 4: stralcio della carta geomorfologica con ubicazione dei sondaggi nel tratto di interesse e

Nella seguente tabella, estratta dalla Tabella 5.12 della relazione geotecnica, sono riportati per i **Depositi Alluvionali** i parametri geotecnici (Angolo di attrito  $\varphi$ , densità relativa DR, Modulo Elastico E, Modulo Edometrico  $E_d$ ) ottenuti dalle prove SPT effettuate in foro. In particolare, per il sondaggio SP.1 si ha:

- Angolo di attrito medio  $\varphi = 34,41^\circ$
- Densità relativa media DR = 55,76 %
- Modulo Elastico medio E = 355,65 daN/cm<sup>2</sup>
- Modulo Edometrico medio  $E_d = 126,80 \text{ daN/cm}^2$

Tabella 5.12 – Alluvioni - Parametri geotecnici da prove SPT

Sondaggio	N'(60)	N(60)	Angolo di Attrito (°) $\varphi$	Valore medio per sondaggio	Densità Relativa DR (%)	Valore medio per sondaggio	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )	Valore medio per sondaggio	Modulo edometrico Ed (Kg/cm <sup>2</sup> )	Valore medio per sondaggio
N°	Valori Nspt Normalizzati	Valori Nspt Normalizzati	Japanese National Railway		Bazaraa (1962)		Jamiolkowski et Al. (1988)		Begemann (1974) (sabbie e ghiaie)	
SP.1	36,31	45,79	37,89	34,41	68,57	55,76	370,85	355,65	138,41	126,80
SP.1	54,28	80,33	43,28		85,59		602,79		156,38	
SP.1	26,87	44,89	35,06		60,67		376,00		128,97	
SP.1	21,04	38,75	33,31		53,73		333,97		123,14	
SP.1	17,74	35,44	32,32		49,18		311,09		119,84	
SP.1	15,22	32,60	31,57		45,31		290,62		117,32	
SP.1	12,44	28,35	30,73		40,71		257,28		114,54	
SP.1	13,71	33,55	31,11		42,30		302,58		115,81	
S.2	48,80	30,48	41,64		64,71		250,98		150,90	
S.2	37,14	36,95	38,14		65,90		302,74		139,24	
S.2	42,78	63,32	39,84	75,99	496,42	144,88				
S.2	42,43	70,88	39,73	76,24	555,07	144,53				
S.2	26,69	49,14	35,01	60,51	411,91	128,79				
S.2	32,17	64,26	36,65	66,23	525,78	134,27				
S.2	33,08	70,88	36,92	66,81	578,47	135,18				
SP.3	57,88	36,15	44,36	70,47	290,38	159,98				
SP.3	54,90	54,62	43,47	80,13	420,34	157,00				
SP.3	29,19	36,81	35,76	61,49	307,27	131,29				
SP.3	20,12	29,77	33,03	52,10	258,27	122,22				
SP.3	27,16	45,36	35,15	60,99	379,45	129,26				
SP.3	21,05	42,05	33,32	53,57	362,70	123,15				
SP.3	19,91	45,36	32,97	51,49	394,53	122,01				
SP.3	15,12	36,38	31,54	44,54	325,30	117,22				
S.4	66,96	41,82	47,09	75,80	328,14	169,06				
S.4	55,70	55,42	43,71	80,71	425,38	157,80				
SP.5	21,56	13,47	33,47	43,01	121,12	123,66				
SP.5	22,78	28,73	33,83	54,32	247,03	124,88				
SP.5	22,99	34,02	33,90	55,70	290,89	125,09				
SP.5	19,80	33,08	32,94	52,08	287,00	121,90				
S.6	21,56	13,47	33,47	43,01	121,12	123,66				
S.6	28,26	28,11	35,48	57,49	238,63	130,36				
S.6	34,17	43,09	37,25	66,53	352,13	136,27				
S.6	14,69	21,74	31,41	44,52	194,35	116,79				
S.6	13,72	27,41	31,12	43,25	246,27	115,82				
S.6	17,84	40,64	32,35	48,73	357,36	119,94				
S.6	19,64	47,25	32,89	50,76	412,18	121,74				

Nella seguente Tabella 6.4, sempre estratta dalla relazione geotecnica, sono riportati per i **Depositi Alluvionali** i valori caratteristici e di calcolo dell'angolo di attrito  $\varphi$ .

Tabella 6.4 – Depositi alluvionali - Valori caratteristici e di calcolo dell'angolo di attrito

Anno	Sondaggio	Angolo di attrito	Correzione per granulometria	Valore caratteristico	Valore di calcolo
	N°	$\varphi'$ (°)	$\varphi'$ (°)	$\varphi'_c$ (°)	$\varphi'_{cal}$ (°)
2002	SP.1	34,41	39,44	36,93	32,47
	S.2	38,28	38,91	38,60	34,26
	SP.3	36,20	39,90	38,05	33,67
	S.4	45,40	37,31	41,35	37,33
	SP.5	33,54		33,54	28,98
	S.6	33,42		33,42	28,87
	SP.7	32,84		32,84	28,28
	S.8	34,21	35,98	35,10	30,57
	SP.9	35,69	36,24	35,96	31,46
	SP.14	31,39	36,55	33,97	29,42
2009	S.1	39,22	38,48	38,85	34,53
	S.8	35,13	38,13	36,63	32,16
	S.9	34,84	38,09	36,46	31,98
<b>Media valori</b>				<b>36,28</b>	<b>31,84</b>

Per quanto riguarda l'angolo di attrito di calcolo (o di progetto) dei **Depositi alluvionali** per il muro oggetto della presente relazione si assumerà, comunque a vantaggio di sicurezza, un valore  $\varphi = 31^\circ$ .

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

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

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

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

$$\Phi = 31^\circ$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

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

### 8.1 VITA NOMINALE

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

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

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

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

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

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

### 8.2 CLASSE D'USO

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

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

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

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

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

## 9 METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA

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

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
  - scorrimento sul piano di posa;
  - collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
  - ribaltamento;
  - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza strutturale della fondazione e del muro.

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

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

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

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

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

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

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	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:

Sito in esame.

latitudine: 46,200204

longitudine: 10,146724

Classe: 3

Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 9166	Lat: 46,1879	Lon: 10,1019	Distanza: 3709,373
Sito 2 ID: 9167	Lat: 46,1899	Lon: 10,1739	Distanza: 2386,714
Sito 3 ID: 8945	Lat: 46,2398	Lon: 10,1711	Distanza: 4788,401
Sito 4 ID: 8944	Lat: 46,2379	Lon: 10,0990	Distanza: 5569,498

**Parametri sismici**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	150 anni
Coefficiente cu:	1,5

**Operatività (SLO):**

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	90	[anni]
ag:	0,043	g
Fo:	2,543	
Tc*:	0,227	[s]

**Danno (SLD):**

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	151	[anni]
ag:	0,054	g
Fo:	2,541	
Tc*:	0,241	[s]

**Salvaguardia della vita (SLV):**

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	1424	[anni]
ag:	0,118	g
Fo:	2,592	
Tc*:	0,285	[s]

**Prevenzione dal collasso (SLC):**

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	2475	[anni]
ag:	0,140	g
Fo:	2,620	
Tc*:	0,290	[s]

**Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2018**

**SLD:**

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

Beta: 0,470  
**SLV:**  
 Ss: 1,200  
 Cc: 1,410  
 St: 1,000  
 Kh: 0,054  
 Kv: 0,027  
 Amax: 1,399  
 Beta: 0,380

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

## 10 ANALISI DEI CARICHI

### 10.1 CARICHI PERMANENTI 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>

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

Peso cordolo = 0,30 m x 0,60 m x 25 kN/m<sup>3</sup> = 4,5 kN/m

e un momento torcente per unità di lunghezza pari a:

Momento cordolo = 4,5 kN/m x 0,15 m = 0,68 kN

### 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 DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE

Per la sovrastruttura stradale (binder+usura+fondazione+base) è stato assunto un peso di volume pari a 22 kN/m<sup>3</sup>. Essendo lo spessore complessivo pari a 65 cm, è stato applicato un carico uniformemente distribuito sul rilevato pari a:

Peso sovrastruttura = 22 kN/m<sup>3</sup> x 0,65 m = 14,3 kN/m<sup>2</sup>.

### 10.2.3 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  $20 \text{ kN/m}^3$ . Essendo il rivestimento del muro alto 800 cm, il carico lineare corrispondente è pari a:

Peso rivestimento =  $20 \text{ kN/m}^3 \times 0,30 \text{ m} \times 8,00 \text{ m} = 48,0 \text{ kN/m}$

applicato sull'estradosso della fondazione a una distanza di 15 cm dal paramento rivestito.

### 10.2.4 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  $\varphi = 36^\circ$
- Coesione  $c = 0$

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

## 10.3 AZIONI VARIABILI Q

### 10.3.1 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/2018 della Geostru-software

Versione: 2018.25.7.978

**autore:** ing. Filippo Catanzariti

**produttore:** Engsoft srl

**distributore:** Engsoft srl

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

**Stato licenza:** Vero

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

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

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

Versione: 2018.29.6.1327

**autore:** ing. Filippo Catanzariti

**produttore:** Engsoft srl

**distributore:** Engsoft srl

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

Stato licenza: Vero

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

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

## 11.1 VALIDAZIONI DEL CALCOLO E CASI PROVA

### MDC 2018/SLOPE 2018

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

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

## 11.2 ANALISI DELL'OPERA DI SOSTEGNO

### 11.3 CALCOLO DELLA SPINTA ATTIVA CON COULOMB

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

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

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

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

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

Avendo indicato con:

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

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.

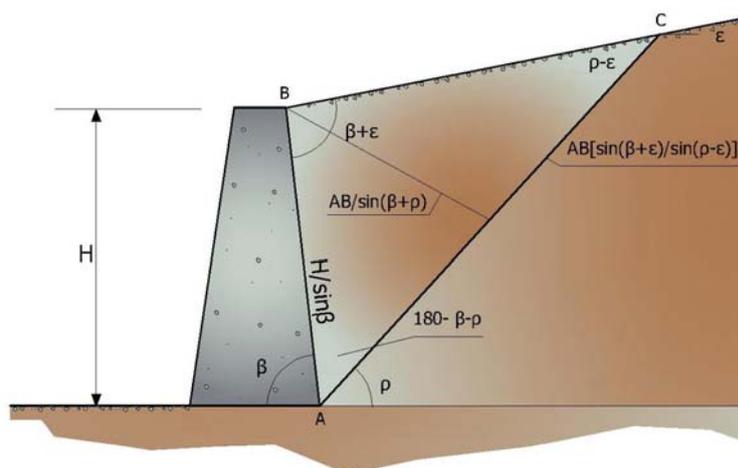


Fig. 5 Cuneo di rottura usato per la derivazione dell'equazione di Coulomb relativa alla pressione attiva.

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:

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

### 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;

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

$i_c$  = 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

$$d_c = 1 + 0.4K$$

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

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

$$d_\gamma = 1$$

### Sollecitazioni muro

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

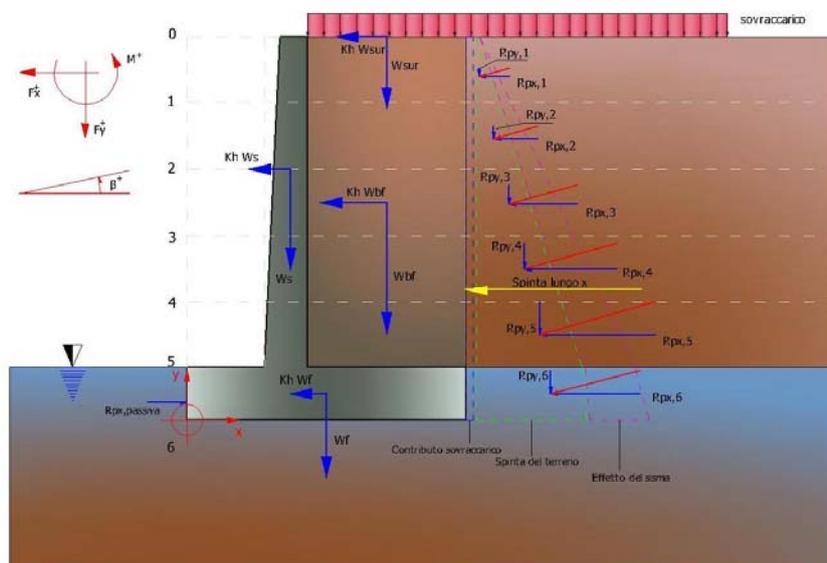


Fig. 6 Schema delle forze agenti su un muro e convenzioni sui segni

### Calcolo delle spinte per le verifiche globali

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

### Convenzione segni

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

## 12 RISULTATI DELLE VERIFICHE

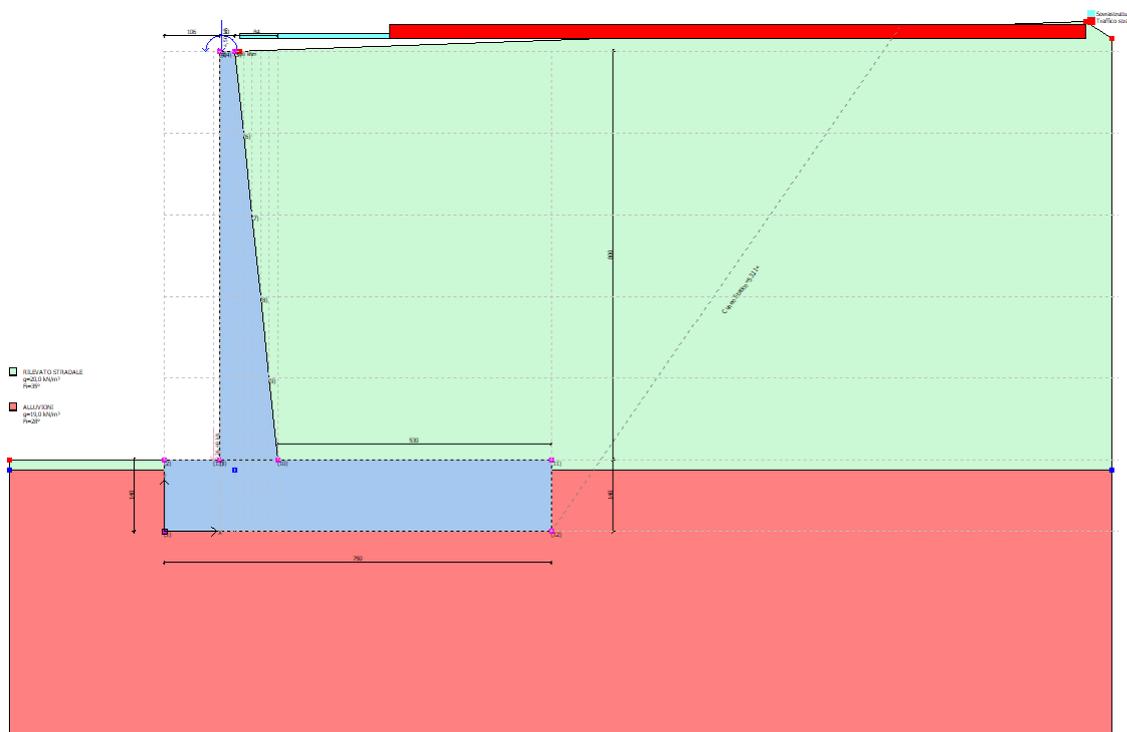


Fig. 7 Modello di calcolo

### Dati generali

Lat./Long. [WGS84]	46,197037/10,141344
Normativa GEO	NTC 2018
Normativa STR	NTC 2018
Spinta	Mononobe & Okabe [M.O. 1929]

### Dati generali muro

Altezza muro	800,0 cm
Spessore testa muro	30,0 cm
Risega muro lato valle	0,0 cm
Risega muro lato monte	84,0 cm
Sporgenza mensola a valle	106,0 cm
Sporgenza mensola a monte	530,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	140,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	140,0 cm

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

#### Dati generali

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

### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B  
 Categoria topografica: T1

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

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Classe III

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

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

**Conglomerati**

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

**Acciai:**

Nr.	Classe acciaio	Es [Mpa]	fyk [Mpa]	fyd [Mpa]	ftk [Mpa]	ftd [Mpa]	ep_tk	epd_ult	β1*β2 iniziale	β1*β2 finale
1	B450C	200000	450	391,3	540	391,3	.075	.0675	1	0,5
2	B450C*	200000	450	391,3	540	450	.075	.0675	1	0,5
3	B450C**	200000	450	391,3	458,3	398,5	.012	.01	1	0,5
4	S235H	210000	240	208,7	360	208,7	0,012	0,01	1	0,5
5	S275H	210000	280	243,5	430	243,5	0,012	0,01	1	0,5
6	S355H	210000	360	313	510	360	0,012	0,01	1	0,5

Materiali impiegati realizzazione muro C30/37 B450C

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

**Stratigrafia**

Ns	Spessore strato (cm)	Inclinazione e dello strato. (°)	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> )	Angolo di resistenza a taglio (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito terra muro (°)	Presenza di falda (Si/No)	Litologia	Descrizione
1	800	0	20,00	35	0,00	23	No		RILEVATO STRADAL E
2	640	0	19,00	31	0,00	20	No		ALLUVIONI

**Carichi concentrati**

Descrizione	Posizione x (cm)	Posizione y (cm)	Fx (kN/m)	Fy (kN/m)	Mz (kNm/m)
Rivestimento in pietra	95,0	140,0	0,0	26,4	0,0
Peso cordolo	110,0	940,0	0,0	4,5	0,68

Carichi distribuiti

Descrizione	Ascissa iniziale (cm)	Ascissa finale (cm)	Valore iniziale (kPa)	Valore finale (kPa)	Profondità (cm)
Traffico stradale	300,0	1650,0	40,0	40,0	0,0
Sovrastruttura	10,0	1650,0	14,3	14,3	0,0

FATTORI DI COMBINAZIONE

Scorrimento A1+M1+R3

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,30
3	Peso terreno mensola	0,80
4	Spinta falda	0,00
5	Spinta sismica in x	0,00
6	Spinta sismica in y	0,00
7	Traffico stradale	1,50
8	Sovrastruttura	1,30
9	Rivestimento in pietra	0,80
10	Peso cordolo	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	0,00
5	Spinta sismica in x	0,00
6	Spinta sismica in y	0,00
7	Traffico stradale	0,20
8	Sovrastruttura	1,00
9	Rivestimento in pietra	1,00
10	Peso cordolo	1,00

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

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

SLE 5

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

7	Traffico stradale	1,00
8	Sovrastruttura	1,00
9	Rivestimento in pietra	1,00
10	Peso cordolo	1,00

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

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

SLE 6

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

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

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

SLE 7

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

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

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

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	Traffico stradale	0,50
8	Sovrastruttura	1,00
9	Rivestimento in pietra	1,00
10	Peso cordolo	1,00

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

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

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

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

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

Carico limite A1+M1+R3

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

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

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

Ribaltamento A1+M1+R3

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

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

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

Scorrimento A1+M1+R3 [GEO+STR]

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
940,0	780,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
780,0	620,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
620,0	460,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
460,0	300,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
300,0	140,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	

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
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	0,0	0,0

18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	0,0	0,0
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	0,0	0,0
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	0,0	0,0
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	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	940,0	780,0	45,29	14,72	854,42	854,42
2	780,0	620,0	64,24	20,87	696,07	696,07
3	620,0	460,0	83,2	27,03	536,96	536,96
4	460,0	300,0	102,16	33,19	377,53	377,53
5	300,0	140,0	121,11	39,35	217,91	217,91

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
780,0	0,0	15,05	125,5	854,2
620,0	0,0	36,73	130,4	760,9
460,0	0,0	64,97	135,5	663,5
300,0	0,0	99,78	140,8	563,6
140,0	0,0	141,22	146,1	462,2

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
780,0	45,29	33,37	33,24	46,8
620,0	109,53	75,92	152,03	63,6
460,0	192,73	131,19	387,18	80,4
300,0	294,89	199,2	768,43	97,2
140,0	416,0	279,98	1325,81	114,0

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
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	34,23	343,97	S	220,82	0,0	4,78
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	77,46	502,29	S	264,38	0,0	2,37
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	133,98	671,69	S	305,81	0,0	1,56
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	203,15	854,69	S	346,41	0,0	1,15

10Ø20 (31,42)    10Ø24 (45,24)    285,6    1936,44    S    476,8    0,0    1,12

**VERIFICHE GLOBALI**

Piano di rottura passante per  $(x_{r1}, y_{r1}) = (750,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(x_{r2}, y_{r2}) = (750,0/961,5)$   
 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
961,5	940,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
940,0	780,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
780,0	620,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
620,0	460,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
460,0	300,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
300,0	140,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
140,0	120,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	9,0	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
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
9,0	0,34	0,0	0,0	0,33	0,05	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	961,5	940,0	4,37	0,93	950,63	950,63
2	940,0	780,0	41,99	8,93	854,72	854,72
3	780,0	620,0	58,63	12,46	696,22	696,22
4	620,0	460,0	75,27	16,0	537,05	537,05
5	460,0	300,0	91,91	19,54	377,59	377,59
6	300,0	140,0	108,55	23,07	217,96	217,96

7	140,0	120,0	14,74	3,13	129,97	129,97
8	120,0	0,0	102,73	19,83	58,85	59,06

#### 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	140,0	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	498,2	103,89	1097,04
Carichi esterni	0,0	24,72	-23,48
Peso muro	0,0	141,22	-206,32
Peso fondazione	0,0	257,42	-965,34
Sovraccarico	0,0	482,54	-2137,66
Terr. fondazione	0,0	742,72	-3450,68
	<b>498,2</b>	<b>1752,51</b>	<b>-5686,44</b>

Momento stabilizzante	-7563,17 kNm
Momento ribaltante	1876,73 kNm

#### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	498,2 kN	
Sommatoria forze verticali	1752,51 kN	
Coefficiente di attrito	0,53	
Adesione	0,0	kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °	
Forze normali al piano di scorrimento	1752,51 kN	
Forze parall. al piano di scorrimento	498,2 kN	
Resistenza terreno	931,83 kN	
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>1,7</b>	

**Traslazione verificata Csd>1**

#### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-7563,17 kNm
Momento ribaltante	1876,73 kNm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>3,5</b>

**Muro verificato a ribaltamento Csv>1**

#### Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	498,2 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	1752,51 kN
Somma momenti	-5686,44 kNm
Larghezza fondazione	750,0 cm
Lunghezza	11500,0 cm
Eccentricità su B	50,53 cm
Peso unità di volume	19,0 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza al taglio	28,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	140,0 cm

Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m <sup>3</sup>
Nq	14,72
Nc	25,8
Ng	16,72
Fattori di forma	
sq	1,03
sc	1,03
sg	0,98
Inclinazione carichi	
iq	0,52
ic	0,49
ig	0,37
Fattori di profondità	
dq	1,06
dc	1,09
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	3969,38 kN
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>1,62</b>

### Carico limite verificato Csq>1

#### Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	324,47 cm
Larghezza della fondazione	750,0 cm
x = 0,0 cm	328,12 kPa
x = 750,0 cm	139,22 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
95,0	0,0	-267,74	-128,98	140,0
106,0	0,0	-276,16	-157,73	140,0

#### 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
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	-0,26	2273,33	S	487,37	0,0	1,79
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	-0,26	2273,33	S	487,37	0,0	1,73

#### 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
220,0	102,73	471,72	-1857,6	140,0

**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
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	104,5	2332,36	S	502,52	0,0	1,04

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

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

**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
940,0	780,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
780,0	620,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
620,0	460,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
460,0	300,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
300,0	140,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	

**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
18,0	0,3	0,34	0,04	0,28	0,09	0,04	0,01
18,0	0,3	0,34	0,04	0,28	0,09	0,04	0,01
18,0	0,3	0,34	0,04	0,28	0,09	0,04	0,01
18,0	0,3	0,34	0,04	0,28	0,09	0,04	0,01
18,0	0,3	0,34	0,04	0,28	0,09	0,04	0,01

**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	940,0	780,0	17,45	5,67	848,86	848,86
2	780,0	620,0	32,03	10,41	693,93	693,93
3	620,0	460,0	46,61	15,15	535,83	535,83
4	460,0	300,0	61,2	19,88	376,82	376,82
5	300,0	140,0	75,78	24,62	217,43	217,43

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

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

Quota	Px	Py	Xp	Yp
780,0	0,82	15,05	125,5	854,2
620,0	2,0	36,73	130,4	760,9
460,0	3,53	64,97	135,5	663,5
300,0	5,43	99,78	140,8	563,6
140,0	7,68	141,22	146,1	462,2

**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
780,0	18,27	25,22	13,85	46,8
620,0	51,48	57,3	67,67	63,6
460,0	99,63	100,69	186,31	80,4
300,0	162,72	155,39	393,34	97,2
140,0	240,76	221,45	712,57	114,0

**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
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	25,86	342,52	S	219,71	0,0	11,79
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	58,65	497,7	S	261,75	0,0	4,99
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	102,51	661,77	S	301,44	0,0	2,97
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	158,47	837,42	S	340,05	0,0	2,05
10Ø20 (31,42)	10Ø24 (45,24)	225,72	1910,48	S	468,24	0,0	1,91

**VERIFICHE GLOBALI**

Piano di rottura passante per  $(xr1, yr1) = (750,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(xr2, yr2) = (750,0/961,5)$   
 Centro di rotazione  $(xro, yro) = (0,0/0,0)$

### Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
961,5	940,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
940,0	780,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
780,0	620,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
620,0	460,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
460,0	300,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
300,0	140,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
140,0	120,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	9,0	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
12,0	0,26	0,29	0,04	0,25	0,05	0,04	0,01
12,0	0,26	0,29	0,04	0,25	0,05	0,04	0,01
12,0	0,26	0,29	0,04	0,25	0,05	0,04	0,01
12,0	0,26	0,29	0,04	0,25	0,05	0,04	0,01
12,0	0,26	0,29	0,04	0,25	0,05	0,04	0,01
12,0	0,26	0,29	0,04	0,25	0,05	0,04	0,01
12,0	0,26	0,29	0,04	0,25	0,05	0,04	0,01
9,0	0,34	0,37	0,05	0,33	0,05	0,05	0,01

### 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	961,5	940,0	1,31	0,28	950,43	950,43
2	940,0	780,0	17,04	3,62	849,98	849,98
3	780,0	620,0	29,84	6,34	694,28	694,28
4	620,0	460,0	42,64	9,06	536,0	536,0
5	460,0	300,0	55,44	11,78	376,92	376,92
6	300,0	140,0	68,24	14,5	217,5	217,5
7	140,0	120,0	9,43	2,0	129,96	129,96
8	120,0	0,0	63,87	12,85	58,58	58,88

### 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	140,0	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);  
 a □ PAGEREF \_Toc2

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	287,81	60,45	546,71
Carichi esterni	0,0	30,9	-29,35
Peso muro	0,0	141,22	-206,32
Peso fondazione	0,0	257,42	-965,34
Sovraccarico	0,0	136,92	-606,56
Terr. fondazione	0,0	928,4	-4313,35
	<b>287,81</b>	<b>1555,31</b>	<b>-5574,21</b>

Momento stabilizzante -6574,98 kNm  
 Momento ribaltante 1000,77 kNm

**Verifica alla traslazione**

Sommatoria forze orizzontali	287,81 kN	
Sommatoria forze verticali	1555,31 kN	
Coefficiente di attrito	0,53	
Adesione	0,0	kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °	
Forze normali al piano di scorrimento	1555,31 kN	
Forze parall. al piano di scorrimento	287,81 kN	
Resistenza terreno	826,97 kN	
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>2,87</b>	
<b>Traslazione verificata Csd&gt;1</b>		

**Verifica al ribaltamento**

Momento stabilizzante	-6574,98 kNm
Momento ribaltante	1000,77 kNm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>6,57</b>
<b>Muro verificato a ribaltamento Csv&gt;1</b>	

**Carico limite verticale VESIC**

Somma forze in direzione x (Fx)	287,81 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	1555,31 kN
Somma momenti	-5574,21 kNm
Larghezza fondazione	750,0 cm
Lunghezza	11500,0 cm
Eccentricità su B	16,6 cm
Peso unità di volume	19,0 KN/m³
Angolo di resistenza al taglio	28,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	140,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m³
Nq	14,72
Nc	25,8
Ng	16,72
Fattori di forma	
sq	1,03
sc	1,04
sg	0,98
Inclinazione carichi	

iq	0,67
ic	0,65
ig	0,55
Fattori di profondità	
dq	1,06
dc	1,08
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	6529,75 kN
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>3,5</b>

**Carico limite verificato Csq>1**

**Tensioni sul terreno**

Ascissa centro sollecitazione	358,4 cm	
Larghezza della fondazione	750,0 cm	
x = 0,0 cm	234,92	kPa
x = 750,0 cm	179,83	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
95,0	0,0	-187,25	-89,38	140,0
106,0	0,0	-182,1	-108,24	140,0

**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
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	-0,26	2273,33	S	487,37	0,0	2,55
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	-0,26	2273,33	S	487,37	0,0	2,62

**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
220,0	63,87	165,27	-704,9	140,0

**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
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	65,19	2310,26	S	496,79	0,0	2,95

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

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

**CALCOLO SPINTE**

**Discretizzazione terreno**

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
940,0	780,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
780,0	620,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
620,0	460,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
460,0	300,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
300,0	140,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	

**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
18,0	0,3	0,4	0,11	0,28	0,09	0,1	0,03
18,0	0,3	0,4	0,11	0,28	0,09	0,1	0,03
18,0	0,3	0,4	0,11	0,28	0,09	0,1	0,03
18,0	0,3	0,4	0,11	0,28	0,09	0,1	0,03
18,0	0,3	0,4	0,11	0,28	0,09	0,1	0,03

**Spinte risultanti e punto di applicazione**

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	940,0	780,0	45,13	14,66	857,27	857,27
2	780,0	620,0	54,38	17,67	697,73	697,73
3	620,0	460,0	63,64	20,68	538,06	538,06

4	460,0	300,0	72,89	23,68	378,31	378,31
5	300,0	140,0	82,15	26,69	218,5	218,5

**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
780,0	1,83	15,05	125,5	854,2
620,0	4,47	36,73	130,4	760,9
460,0	7,9	64,97	135,5	663,5
300,0	12,14	99,78	140,8	563,6
140,0	17,18	141,22	146,1	462,2

**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
780,0	46,96	34,22	36,12	46,8
620,0	103,97	73,56	153,87	63,6
460,0	171,05	122,48	370,54	80,4
300,0	248,18	180,98	702,19	97,2
140,0	335,37	249,1	1165,14	114,0

**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
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	35,07	344,12	S	220,94	0,0	4,61
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	74,78	501,64	S	264,05	0,0	2,49
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	124,99	668,86	S	304,56	0,0	1,75
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	184,48	847,49	S	343,76	0,0	1,36
10Ø20 (31,42)	10Ø24 (45,24)	254,07	1922,78	S	472,28	0,0	1,38

**VERIFICHE GLOBALI**

Piano di rottura passante per  $(xr1, yr1) = (750,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(xr2, yr2) = (750,0/961,5)$   
 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);

$\beta$  Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);  
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	$\beta$	Note
961,5	940,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
940,0	780,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
780,0	620,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
620,0	460,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
460,0	300,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
300,0	140,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
140,0	120,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	9,0	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
12,0	0,26	0,34	0,1	0,25	0,05	0,1	0,02
12,0	0,26	0,34	0,1	0,25	0,05	0,1	0,02
12,0	0,26	0,34	0,1	0,25	0,05	0,1	0,02
12,0	0,26	0,34	0,1	0,25	0,05	0,1	0,02
12,0	0,26	0,34	0,1	0,25	0,05	0,1	0,02
12,0	0,26	0,34	0,1	0,25	0,05	0,1	0,02
12,0	0,26	0,34	0,1	0,25	0,05	0,1	0,02
9,0	0,34	0,43	0,12	0,33	0,05	0,12	0,02

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	961,5	940,0	5,93	1,23	950,71	950,71
2	940,0	780,0	48,5	10,08	857,89	857,84
3	780,0	620,0	56,18	11,71	698,18	698,14
4	620,0	460,0	63,87	13,35	538,4	538,37
5	460,0	300,0	71,56	14,98	378,57	378,55
6	300,0	140,0	79,24	16,61	218,71	218,69
7	140,0	120,0	10,45	2,19	129,98	129,98
8	120,0	0,0	68,58	13,6	59,14	59,32

#### 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	140,0	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	404,3	83,75	1078,78
Carichi esterni	0,0	30,9	-29,35
Peso muro	17,18	141,22	-126,92
Peso fondazione	31,32	257,42	-943,42
Sovraccarico	16,66	136,92	-447,08
Terr. fondazione	112,94	928,4	-3686,08
	<b>582,39</b>	<b>1578,61</b>	<b>-4154,06</b>

Momento stabilizzante	-6749,71 kNm
Momento ribaltante	2595,64 kNm

#### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-6749,71 kNm
Momento ribaltante	2595,64 kNm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento C<sub>sv</sub></b>	<b>2,6</b>

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

#### MENSOLA A VALLE

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

X <sub>progr.</sub>	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	M	H
95,0	0,0	-323,61	-157,28	140,0
106,0	0,0	-331,75	-191,87	140,0

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

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

A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	Ver.	V <sub>rd</sub>	V <sub>wd</sub>	Sic. VT
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	-0,26	2273,33	S	487,37	0,0	1,48
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	-0,26	2273,33	S	487,37	0,0	1,44

#### MENSOLA A MONTE

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

X <sub>progr.</sub>	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	M	H
220,0	68,58	422,11	-1979,38	140,0

#### 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
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	70,02	2312,97	S	497,48	0,0	1,16

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

**CALCOLO SPINTE**

**Discretizzazione terreno**

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/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
940,0	780,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
780,0	620,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
620,0	460,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
460,0	300,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
300,0	140,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	

**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
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	0,0	0,0
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	0,0	0,0
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	0,0	0,0
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	0,0	0,0
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	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	940,0	780,0	46,59	15,14	854,58	854,58
2	780,0	620,0	65,55	21,3	696,14	696,14

3	620,0	460,0	84,5	27,46	537,01	537,01
4	460,0	300,0	103,46	33,62	377,56	377,56
5	300,0	140,0	122,42	39,78	217,94	217,94

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
780,0	0,0	19,57	125,5	854,2
620,0	0,0	47,74	130,4	760,9
460,0	0,0	84,46	135,5	663,5
300,0	0,0	129,72	140,8	563,6
140,0	0,0	183,58	146,1	462,2

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
780,0	46,59	40,56	35,17	46,8
620,0	112,14	90,03	157,82	63,6
460,0	196,64	154,2	399,5	80,4
300,0	300,1	233,08	790,11	97,2
140,0	422,52	326,71	1359,88	114,0

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
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	41,42	345,21	S	221,8	0,0	4,67
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	91,95	505,82	S	266,37	0,0	2,33
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	157,29	679,01	S	309,11	0,0	1,54
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	237,4	867,86	S	351,32	0,0	1,15
10Ø20 (31,42)	10Ø24 (45,24)	333,33	1957,05	S	483,63	0,0	1,12

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(xr1, yr1) = (750,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(xr2, yr2) = (750,0/961,5)$   
 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);  
 $\beta$  Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);  
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	$\beta$	Note
961,5	940,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
940,0	780,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
780,0	620,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
620,0	460,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
460,0	300,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
300,0	140,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
140,0	120,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	9,0	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
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
9,0	0,34	0,0	0,0	0,33	0,05	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	961,5	940,0	4,53	0,96	950,63	950,63
2	940,0	780,0	43,14	9,17	854,86	854,86
3	780,0	620,0	59,77	12,71	696,29	696,29
4	620,0	460,0	76,41	16,24	537,1	537,1
5	460,0	300,0	93,05	19,78	377,62	377,62
6	300,0	140,0	109,69	23,32	217,98	217,98
7	140,0	120,0	14,88	3,16	129,97	129,97
8	120,0	0,0	103,87	20,01	58,87	59,07

#### 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	140,0	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	505,35	105,34	1119,32
Carichi esterni	0,0	40,17	-38,15
Peso muro	0,0	183,58	-268,21
Peso fondazione	0,0	334,65	-1254,95
Sovraccarico	0,0	500,1	-2215,46
Terr. fondazione	0,0	1206,92	-5607,35
	<b>505,35</b>	<b>2370,77</b>	<b>-8264,8</b>

Momento stabilizzante -10175,08 kNm  
 Momento ribaltante 1910,28 kNm

#### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	505,35 kN	
Sommatoria forze verticali	2370,77 kN	
Coefficiente di attrito	0,53	
Adesione	0,0	kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °	
Forze normali al piano di scorrimento	2370,77 kN	
Forze parall. al piano di scorrimento	505,35 kN	
Resistenza terreno	1260,56 kN	
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>2,27</b>	
<b>Traslazione verificata Csd&gt;1</b>		

#### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-10175,08 kNm
Momento ribaltante	1910,28 kNm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>4,63</b>
<b>Muro verificato a ribaltamento Csv&gt;1</b>	

#### Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	505,35 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	2370,77 kN
Somma momenti	-8264,8 kNm
Larghezza fondazione	750,0 cm
Lunghezza	11500,0 cm
Eccentricità su B	26,39 cm
Peso unità di volume	19,0 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza al taglio	28,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	140,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m <sup>3</sup>
Nq	14,72
Nc	25,8
Ng	16,72
Fattori di forma	
sq	1,03
sc	1,03
sg	0,98
Inclinazione carichi	
iq	0,63
ic	0,6
ig	0,49
Fattori di profondità	
dq	1,06
dc	1,08
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	5694,0 kN

Fattore sicurezza ( $C_{sq}=Q_{lim}/F_y$ ) 1,72

Carico limite verificato  $C_{sq}>1$

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	348,61 cm	
Larghezza della fondazione	750,0 cm	
x = 0,0 cm	382,83	kPa
x = 750,0 cm	249,37	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
95,0	0,0	-313,27	-150,23	140,0
106,0	0,0	-314,19	-182,85	140,0

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  $\min\{Vrd; Vwd\}/V_{sdu}$   
 Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	-0,26	2273,33	S	487,37	0,0	1,53
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	-0,26	2273,33	S	487,37	0,0	1,52

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
220,0	103,87	62,89	-686,03	140,0

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  $\min\{Vrd; Vwd\}/V_{sdu}$   
 Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
-----	-----	----	----	------	-----	-----	---------

10Ø24 (45,24)    10Ø24 (45,24)    105,71    2333,04    S    502,69    0,0    7,84

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

**CALCOLO SPINTE**

**Discretizzazione terreno**

- Qi      Quota iniziale strato (cm);
- Qf      Quota finale strato
- G      Peso unità di volume (KN/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
940,0	780,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
780,0	620,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
620,0	460,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
460,0	300,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	
300,0	140,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	6,0	

**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
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	0,0	0,0
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	0,0	0,0
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	0,0	0,0
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	0,0	0,0
18,0	0,3	0,0	0,0	0,28	0,09	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	940,0	780,0	45,29	14,72	854,42	854,42
2	780,0	620,0	64,24	20,87	696,07	696,07
3	620,0	460,0	83,2	27,03	536,96	536,96
4	460,0	300,0	102,16	33,19	377,53	377,53
5	300,0	140,0	121,11	39,35	217,91	217,91

**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
-------	----	----	----	----

780,0	0,0	15,05	125,5	854,2
620,0	0,0	36,73	130,4	760,9
460,0	0,0	64,97	135,5	663,5
300,0	0,0	99,78	140,8	563,6
140,0	0,0	141,22	146,1	462,2

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
780,0	45,29	35,62	34,01	46,8
620,0	109,53	78,17	153,0	63,6
460,0	192,73	133,44	388,33	80,4
300,0	294,89	201,45	769,77	97,2
140,0	416,0	282,23	1327,34	114,0

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
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	36,32	344,33	S	221,13	0,0	4,79
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	79,61	502,81	S	264,69	0,0	2,37
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	135,91	672,3	S	306,14	0,0	1,56
5Ø20 (15,71)	5Ø24 (22,62)	205,4	855,56	S	346,73	0,0	1,15
10Ø20 (31,42)	10Ø24 (45,24)	287,68	1937,33	S	477,13	0,0	1,12

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(xr1, yr1) = (750,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(xr2, yr2) = (750,0/961,5)$   
 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
961,5	940,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
940,0	780,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
780,0	620,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
620,0	460,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	
460,0	300,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0	

300,0	140,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0
140,0	120,0	20,0	2,0	35,0	12,0	0,0	0,0
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	9,0	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

$\mu$	$K_a$	$K_d$	$D_k$	$K_{ax}$	$K_{ay}$	$D_{kx}$	$D_{ky}$
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
12,0	0,26	0,0	0,0	0,25	0,05	0,0	0,0
9,0	0,34	0,0	0,0	0,33	0,05	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	$Q_i$	$Q_f$	$R_{px}$	$R_{py}$	$z(R_{px})$	$z(R_{py})$
1	961,5	940,0	4,37	0,93	950,63	950,63
2	940,0	780,0	41,99	8,93	854,72	854,72
3	780,0	620,0	58,63	12,46	696,22	696,22
4	620,0	460,0	75,27	16,0	537,05	537,05
5	460,0	300,0	91,91	19,54	377,59	377,59
6	300,0	140,0	108,55	23,07	217,96	217,96
7	140,0	120,0	14,74	3,13	129,97	129,97
8	120,0	0,0	102,73	19,83	58,85	59,06

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	$Q_i$	$Q_f$	$R_{px}$	$R_{py}$	$z(R_{px})$	$z(R_{py})$
1	140,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Sollecitazioni totali

$F_x$	Forza in direzione x (kN);
$F_y$	Forza in direzione y (kN);
$M$	Momento (kNm);

	$F_x$	$F_y$	$M$
Spinta terreno	498,2	103,89	1097,04
Carichi esterni	0,0	26,97	-25,62
Peso muro	0,0	141,22	-206,32
Peso fondazione	0,0	257,42	-965,34
Sovraccarico	0,0	482,54	-2137,66

Terr. fondazione	0,0	742,72	-3450,68
	<b>498,2</b>	<b>1754,76</b>	<b>-5688,58</b>

Momento stabilizzante	-7565,64 kNm
Momento ribaltante	1877,07 kNm

#### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	498,2 kN	
Sommatoria forze verticali	1754,76 kN	
Coefficiente di attrito	0,53	
Adesione	0,0	kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °	
Forze normali al piano di scorrimento	1754,76 kN	
Forze parall. al piano di scorrimento	498,2 kN	
Resistenza terreno	933,02 kN	
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>1,7</b>	
<b>Traslazione verificata Csd&gt;1</b>		

#### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-7565,64 kNm
Momento ribaltante	1877,07 kNm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>3,5</b>
<b>Muro verificato a ribaltamento Csv&gt;1</b>	

#### Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	498,2 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	1754,76 kN
Somma momenti	-5688,58 kNm
Larghezza fondazione	750,0 cm
Lunghezza	11500,0 cm
Eccentricità su B	50,82 cm
Peso unità di volume	19,0 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza al taglio	28,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	140,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m <sup>3</sup>
Nq	14,72
Nc	25,8
Ng	16,72
Fattori di forma	
sq	1,03
sc	1,03
sg	0,98
Inclinazione carichi	
iq	0,52
ic	0,49
ig	0,37
Fattori di profondità	
dq	1,06
dc	1,09
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	3968,77 kN
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>1,62</b>

#### Carico limite verificato Csq>1

#### Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	324,18 cm	
Larghezza della fondazione	750,0 cm	
x = 0,0 cm	329,09	kPa

x = 750,0 cm

138,85 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
95,0	0,0	-268,58	-129,38	140,0
106,0	0,0	-277,08	-158,23	140,0

**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
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	-0,26	2273,33	S	487,37	0,0	1,78
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	-0,26	2273,33	S	487,37	0,0	1,72

**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
220,0	102,73	471,18	-1858,51	140,0

**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
10Ø24 (45,24)	10Ø24 (45,24)	104,5	2332,36	S	502,52	0,0	1,05

**Verifica fessurazione**

**SLE 5 [Rara]**

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	0,022	--	318,224	1048	Si	8,91	183,55	229,90
Si	0,082	--	354,670	1250	Si	23,14	183,55	788,73
Si	0,165	--	354,670	1250	Si	39,52	183,55	1585,84
Si	0,271	--	354,670	1250	Si	57,35	183,55	2593,10
Si	0,159	--	241,935	1250	Si	55,53	183,55	1944,04

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	0,014	--	241,935	1250	Si	4,09	183,55	197,04
Si	0,017	--	241,935	1250	Si	4,98	183,55	239,69

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	0,128	--	241,935	1250	Si	37,22	183,55	1684,85

**SLE 6 [Frequente]**

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,022	0,300	318,224	1048	Si	8,91	183,55	229,90
Si	0,082	0,300	354,670	1250	Si	23,14	183,55	788,73
Si	0,165	0,300	354,670	1250	Si	39,52	183,55	1585,84
No	0,323	0,300	354,670	1250	Si	57,35	183,55	2593,10
Si	0,183	0,300	241,935	1250	Si	55,53	183,55	1944,04

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	0,014	0,300	241,935	1250	Si	4,09	183,55	197,04
Si	0,017	0,300	241,935	1250	Si	4,98	183,55	239,69

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	0,152	0,300	241,935	1250	Si	37,22	183,55	1684,85

**SLE 7 [Quasi perm.]**

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,014	0,200	313,693	1023	Si	6,44	137,66	153,97
Si	0,059	0,200	354,670	1250	Si	17,33	137,66	565,02
Si	0,124	0,200	354,670	1250	Si	30,72	137,66	1192,70
No	0,224	0,200	354,670	1250	Si	45,91	137,66	2021,54
Si	0,137	0,200	241,935	1250	Si	45,61	137,66	1559,95

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	0,012	0,200	241,935	1250	Si	3,62	137,66	174,22
Si	0,015	0,200	241,935	1250	Si	4,39	137,66	211,34

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	0,116	0,200	241,935	1250	Si	30,69	137,66	1381,82

SLD [Frequente]

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,020	0,300	317,539	1044	Si	8,32	183,55	212,17
Si	0,076	0,300	354,670	1250	Si	21,55	183,55	728,78
Si	0,153	0,300	354,670	1250	Si	36,82	183,55	1467,59
Si	0,290	0,300	354,670	1250	Si	53,45	183,55	2402,58
Si	0,166	0,300	241,935	1250	Si	51,81	183,55	1803,46

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	0,015	0,300	241,935	1250	Si	4,26	183,55	204,95
Si	0,018	0,300	241,935	1250	Si	5,18	183,55	249,25

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	0,185	0,300	241,935	1250	Si	42,74	183,55	1959,30

## 12.1 ANALISI DI STABILITA'

### Definizione

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

### Introduzione all'analisi di stabilità

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

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( c ) e

angolo di resistenza al taglio ( $\varphi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

- In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

### Metodo equilibrio limite (LEM)

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

$$F = \tau_f / \tau$$

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

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

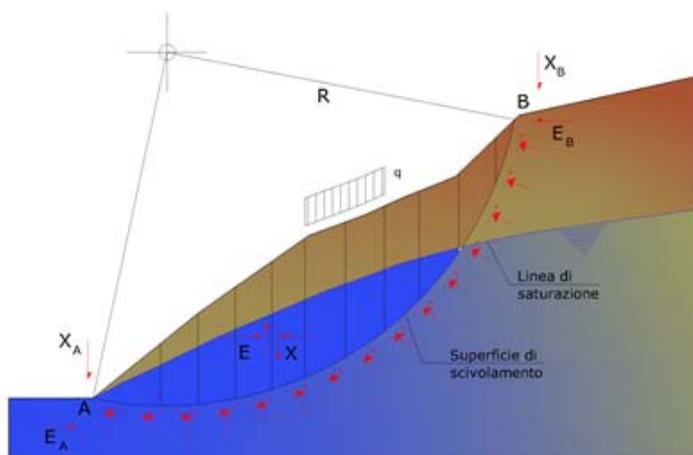


Fig. 8 Metodo equilibrio limite

### Metodo dei conci

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

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

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.

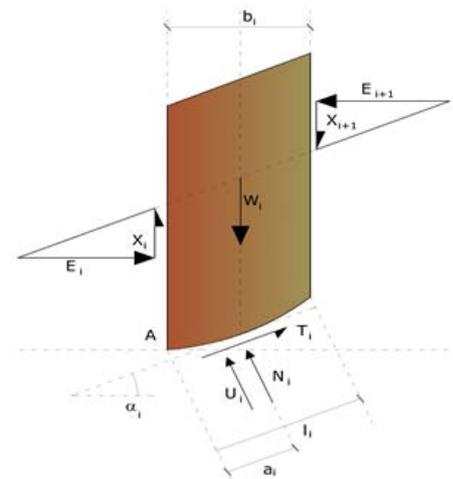
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

**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:

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

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



I valori di  $F$  e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  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)**

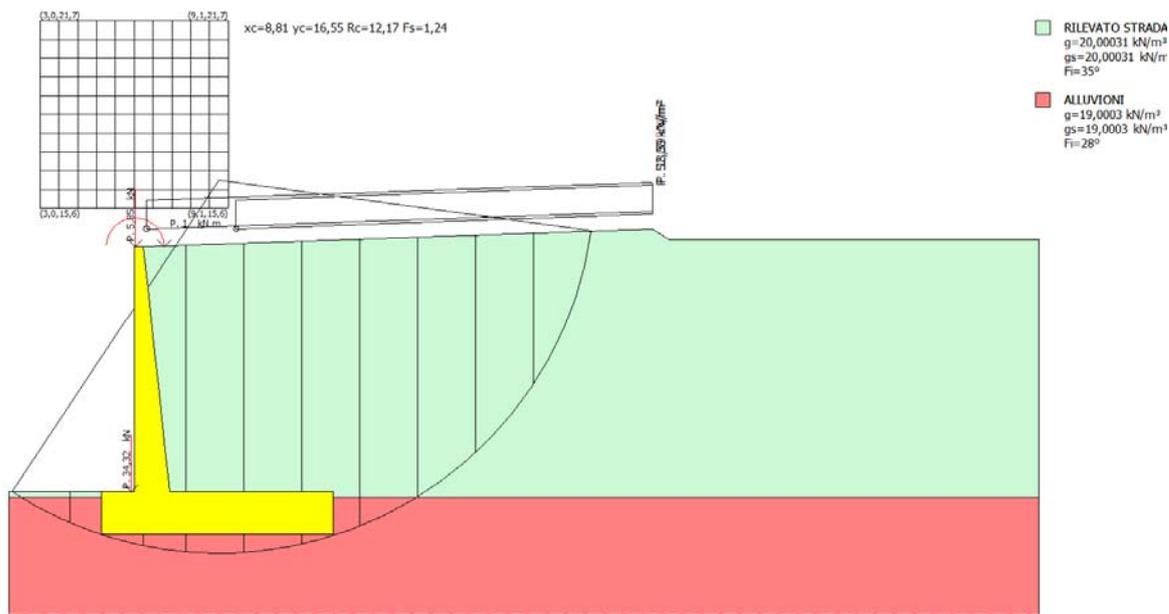


Fig. 9 Modello di calcolo in condizioni statiche

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

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	3,01 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	15,64 m
Ascissa vertice destro superiore xs	9,11 m
Ordinata vertice destro superiore ys	21,74 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	6,4
2	5,0	6,4
3	6,06	6,4
4	6,36	14,4
5	6,36	14,4
6	22,86	14,98
7	23,36	14,64
8	35,36	14,64

Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	2,0	6,2
2	6,36	6,2
3	35,36	6,2

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

### Carichi concentrati

N°	x (m)	y (m)	Fx (kN)	Fy (kN)	M (kNm)
1	5,95	6,4	0	34,32055	0
2	6,1	14,4	0	5,850093	0,884014

### Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m <sup>2</sup> )
1	9,36	14,98	22,86	15,45143	52,00083
2	6,46	14,98	22,86	15,5527	18,59029

### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1,24
Ascissa centro superficie	8,81 m
Ordinata centro superficie	16,55 m
Raggio superficie	12,17 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 = 8,806 yc = 16,554 Rc = 12,171 Fs=1,239**

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	1,88	-28,4	2,13	20,39	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	22,8	7,8
2	2,39	-17,5	2,5	98,81	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	92,9	31,9
3	1,37	-8,3	1,38	287,49	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	244,8	84,1
4	1,88	-0,7	1,88	413,6	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	332,2	114,1
5	1,88	8,2	1,9	545,84	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	683,1	234,6
6	1,88	17,3	1,97	533,18	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	655,8	225,2
7	1,88	26,9	2,11	508,55	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	631,4	216,8
8	1,88	37,5	2,36	467,9	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	569,1	257,4
9	1,88	49,9	2,91	403,89	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	530,3	239,9
10	1,88	69,5	5,36	222,94	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	374,5	169,4

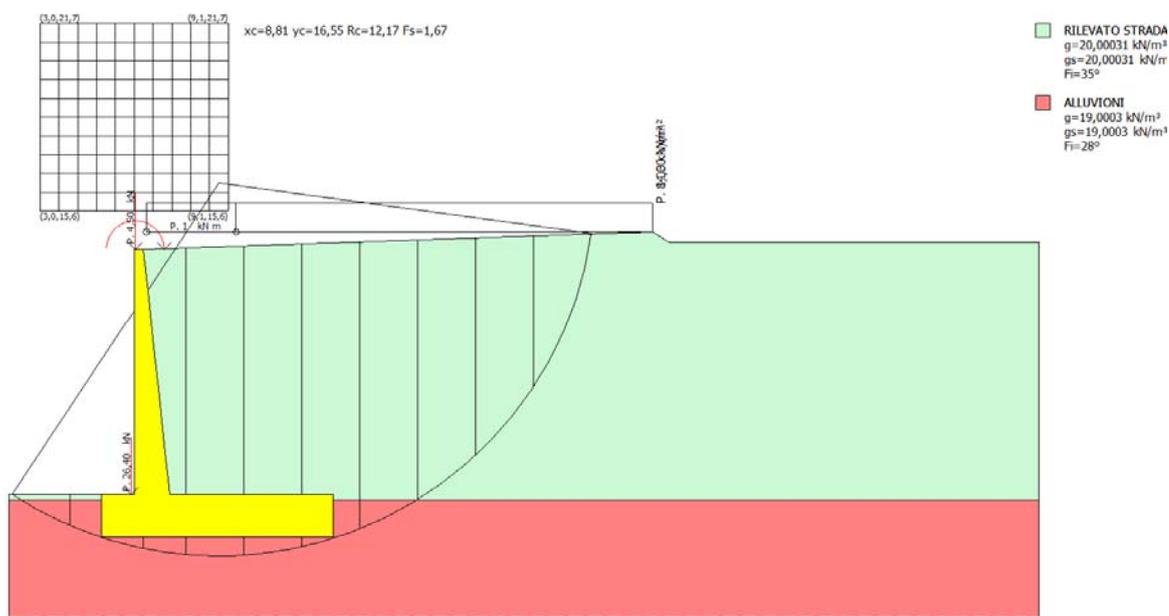


Fig. 10 Modello di calcolo in condizioni sismiche

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

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	3,01 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	15,64 m
Ascissa vertice destro superiore xs	9,11 m
Ordinata vertice destro superiore ys	21,74 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Sisma**

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

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	2,0	6,4
2	5,0	6,4
3	6,06	6,4
4	6,36	14,4
5	6,36	14,4
6	22,86	14,98
7	23,36	14,64
8	35,36	14,64

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

N	X (m)	y (m)
1	2,0	6,2
2	6,36	6,2
3	35,36	6,2

**Coefficienti parziali azioni**

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

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

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

**Stratigrafia**

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

**Carichi concentrati**

N°	x (m)	y (m)	Fx (kN)	Fy (kN)	M (kNm)
1	5,95	6,4	0	26,40042	0
2	6,1	14,4	0	4,500072	0,6800108

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m <sup>2</sup> )
1	9,360001	14,97619	22,86	14,97619	8,000128
2	6,46	14,97619	22,86	14,97619	14,30023

**Risultati analisi pendio [NTC 2018]**

Fs minimo individuato	1,67
Ascissa centro superficie	8,81 m
Ordinata centro superficie	16,55 m
Raggio superficie	12,17 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 = 8,806 yc = 16,554 Rc = 12,171 Fs=1,665**

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	1,88	-28,4	2,13	20,39	1,1	0,55	0,0	28,0	0,0	28,0	8,9
2	2,39	-17,5	2,5	97,58	5,27	2,63	0,0	28,0	0,0	113,8	36,3
3	1,37	-8,3	1,38	286,76	15,49	7,74	0,0	28,0	0,0	304,1	97,1
4	1,88	-0,7	1,88	404,33	21,83	10,92	0,0	28,0	0,0	405,9	129,6
5	1,88	8,2	1,9	415,46	22,43	11,22	0,0	28,0	0,0	401,3	128,1
6	1,88	17,3	1,97	402,8	21,75	10,88	0,0	28,0	0,0	383,7	122,5
7	1,88	26,9	2,11	378,17	20,42	10,21	0,0	28,0	0,0	365,0	116,5
8	1,88	37,5	2,36	337,51	18,23	9,11	0,0	35,0	0,0	321,6	135,2
9	1,88	49,9	2,91	273,51	14,77	7,38	0,0	35,0	0,0	283,2	119,1
10	1,88	69,5	5,36	162,21	8,76	4,38	0,0	35,0	0,0	218,0	91,7

**13 VERIFICA DELLA PALANCOLA**

Si riportano le caratteristiche inerziali della sezione a Z in acciaio AZ 14-700.

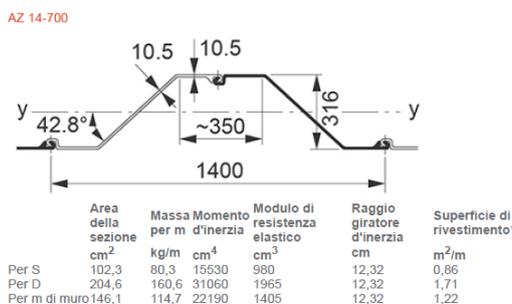


Fig. 11 Caratteristiche inerziali sezione in acciaio AZ 14-700

Il calcolo delle sollecitazioni sulla palancola viene effettuato mediante il software

**SPW/2018** della Geostru-software

Versione: 2018.31.3.824

**autore:** ing. Filippo Catanzariti

**produttore:** Engsoft srl

**distributore:** Engsoft srl

**descrizione:** software per il calcolo delle paratie

Codice attivazione: 3F7EK-JFODE-9CUPI-VB0VH

Stato attivazione: 24/05/2018

Per la palancola sono state effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
  - *collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);*
  - *collasso per carico limite verticale;*
  - *instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;*
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - *raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.*

accertando che la condizione (6.2.1 delle NTC2018) sia 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.

Le rimanenti verifiche sono state effettuate secondo l'Approccio 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II, con i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R1 pari all'unità.

Le tabelle che seguono introducono i coefficienti parziali utilizzati.

**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
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_r$	$\gamma_r$	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

### 13.1 INTRODUZIONE.

Le paratie sono opere di ingegneria civile che trovano molta applicazione in problemi legati alla stabilizzazione di versanti o al sostegno di rilevati di terreno. Tuttavia è anche facile sentire parlare di paratie che sono utilizzate per l'ormeggio di grandi imbarcazioni, o per puntellare pareti di trincee e altri scavi. Come si può quindi intuire grande importanza deve essere data alla progettazione di una simile opera, soprattutto per quanto riguarda il progetto strutturale e geotecnico. Per quanto riguarda l'aspetto del calcolo vale la pena sottolineare che non esistono, ad oggi, metodi esatti, e questo è anche dovuto alla complessa interazione tra la profondità di scavo, la rigidità del materiale costituente la paratia e la resistenza dovuta alla pressione passiva. In ogni caso, i metodi correntemente utilizzati possono essere classificati in due categorie:

1. Metodi che si basano su una discretizzazione del modello di paratia (si parla di differenze finite o di elementi finiti);
2. Metodi che si basano su congetture di tipo semplicistico, al fine di poter affrontare il problema con il semplice studio dell'equilibrio di un corpo rigido.

Tra le due classi di metodi esposti all'elenco precedente, quello degli elementi finiti è quello che più di tutti risulta razionale, in quanto basato su considerazioni che coinvolgono sia la statica del problema (equilibrio) sia la cinematica (congruenza).

### 13.2 TIPI DI PARATIE.

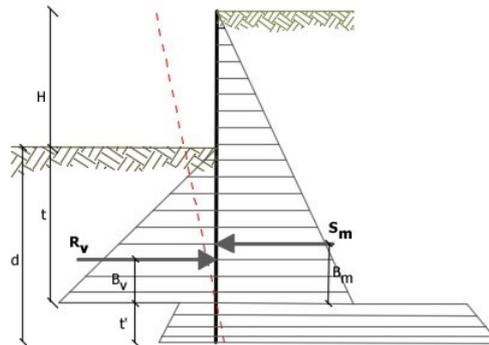
I tipi di paratie maggiormente utilizzate allo stato attuale possono essere classificati come segue:

1. Paratie in calcestruzzo armato, costruite per mezzo di pali o per mezzo di setti (entrambi armati);
2. Paratie di legno;
3. **Paratie in acciaio e in tal caso si parla di palancole**

### 13.3 ANALISI DELLA PARATIA.

#### 13.3.1 ALCUNE CONSIDERAZIONI PRELIMINARI.

Gli elementi che concorrono al calcolo di una paratia sono vari. Si coinvolgono infatti concetti legati alla flessibilità dei pali, al calcolo della spinta del terrapieno, alla rigidità del terreno ecc. Si osservi la seguente figura:



**FIGURA 1: SCHEMA DELLE PRESSIONI AGENTI SULLA PARATIA**

Si vede che le pressioni laterali che sono chiamate a concorrere nell'equilibrio sono la pressione attiva sviluppata a tergo della paratia e la pressione passiva che si sviluppa nella parte anteriore della paratia (Parte di valle della paratia). Il calcolo, sia nell'ambito dei metodi semplificati che nell'ambito di metodi numerici, della spinta a tergo ed a valle della paratia viene solitamente condotto sia con il metodo di Rankine che con il metodo di Coulomb. Si rileva però che il metodo di Coulomb fornisce risultati più accurati in quanto essendo la paratia un'opera solitamente flessibile, e manifestando quindi spostamenti maggiori si generano fenomeni di attrito all'interfaccia paratia-terreno che possono essere tenuti in conto solo attraverso i coefficienti di spinta di Coulomb. Nell'utilizzo del metodo degli elementi finiti si deve calcolare anche un coefficiente di reazione del terreno  $k_s$ , oltre che la spinta attiva e passiva del terreno. Se si parla di analisi in condizioni non drenate è inoltre necessario conoscere il valore della coesione non drenata. E' inoltre opportuno considerare che se si vuole tenere debitamente in conto l'attrito tra terreno e opera si deve essere a conoscenza dell'angolo di attrito tra terreno e opera (appunto). In conclusione i parametri (in termini di proprietà del terreno) di cui si deve disporre per effettuare l'analisi sono i seguenti:

1. Angolo di attrito interno del terreno;
2. Coesione del terreno;
3. Peso dell'unità di volume del terreno;
4. Angolo di attrito tra il terreno ed il materiale che costituisce l'opera.

#### Calcolo delle spinte.

Come accennato in uno dei paragrafi precedenti, deve in ogni caso essere effettuato il calcolo della spinta attiva e passiva. Si espone quindi in questa sezione il calcolo delle spinte con il metodo di Coulomb.

#### Calcolo della spinta attiva.

La spinta attiva può essere calcolata con il metodo di Coulomb o alternativamente utilizzando la Teoria di Caquot.

#### Metodo di Coulomb.

Il metodo di Coulomb è capace di tenere in conto le variabili più significative, soprattutto con riguardo al fenomeno attritivo che si genera all'interfaccia paratia-terreno. Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione (valutata alla profondità  $z$ ):

$$\sigma_h(z) = k_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta totale, che è l'integrale della relazione precedente su tutta l'altezza, è applicata ad 1/3 di H e si calcola con la seguente espressione:

$$S_t(z) = \frac{1}{2} k_a \cdot \gamma_t \cdot H^2$$

Avendo indicato con  $k_a$  il valore del coefficiente di pressione attiva, determinabile con la seguente relazione:

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

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

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

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

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

$\delta$  = Angolo di attrito terreno-paratia positivo se antiorario;

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

### Metodo di Caquot.

Il metodo di Coulomb risulta essere un metodo sufficientemente accurato per la valutazione dei coefficienti di pressione allo stato limite. Tuttavia soffre dell'ipotesi riguardante la planarità della superficie di scorrimento. Tale ipotesi è rimossa applicando la teoria di Caquot la quale si basa sull'utilizzo di una superficie di scorrimento a forma di spirale logaritmica. Secondo questa teoria il coefficiente di pressione attiva si determina utilizzando la seguente formula:

$$K_a = \rho \cdot K_a^{\text{Coulomb}}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

- $K_a^{\text{Coulomb}}$  è il coefficiente di pressione attiva calcolato con la teoria di Coulomb;
- $\rho$  è un coefficiente moltiplicativo calcolato con la seguente formula:

$$\rho = \left( [1 - 0.9 \cdot \lambda^2 - 0.1 \cdot \lambda] \cdot [1 - 0.3 \cdot \lambda^3] \right)^{-n}$$

Dove i simboli sono calcolati con le seguenti formule:

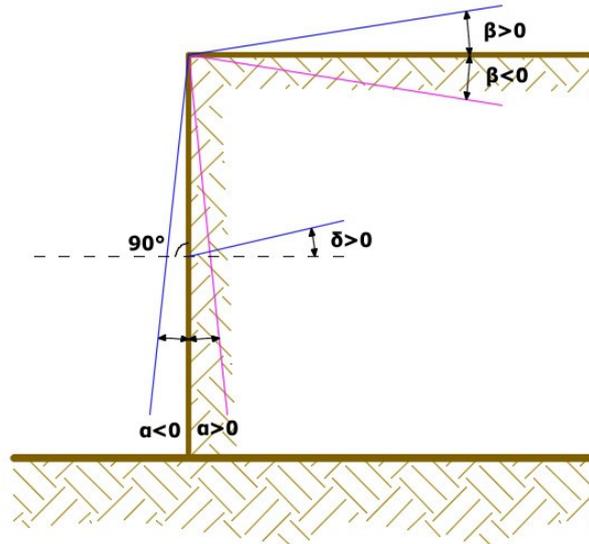
$$\lambda = \frac{\Delta + \beta - \Gamma}{4 \cdot \phi - 2 \cdot \pi \cdot (\Delta + \beta - \Gamma)}$$

$$\Delta = 2 \cdot \tan^{-1} \left( \frac{|\cot(\delta)| - \sqrt{\cot^2(\delta) - \cot^2(\phi)}}{1 + \cos \text{ec}(\phi)} \right)$$

$$\Gamma = \sin^{-1} \left( \frac{\sin(\beta)}{\sin(\varphi)} \right)$$

Dove i simboli hanno il seguente significato (vedere anche figura seguente):

- $\beta$  è l'inclinazione del profilo di monte misurata rispetto all' orizzontale;
- $\varphi$  è l' angolo di attrito interno del terreno spingente;
- $\delta$  è l' angolo di attrito all'interfaccia opera-terreno;



**FIGURA 2: CONVENZIONE UTILIZZATA PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI PRESSIONE SECONDO LA TEORIA DI CAQUOT**

### Carico uniforme sul terrapieno

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

$$\sigma_q(z) = k_a \cdot Q \cdot \frac{\sin(\beta)}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Integrando la tensione riportata alla formula precedente si ottiene la spinta totale dovuta al sovraccarico:

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

Con punto di applicazione ad  $H/2$  (essendo la distribuzione delle tensioni costante). Nelle precedenti formule i simboli hanno il seguente significato:

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

$\varepsilon$ = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale positiva se antioraria

$k_a$ = Coefficiente di pressione attiva calcolato al paragrafo precedente

### Striscia di carico su pc inclinato

Il carico agente viene decomposto in un carico ortogonale ed in uno tangenziale al terrapieno, le pressioni indotte sulla parete saranno calcolate come illustrato nei due paragrafi che seguono.

### Striscia di carico ortogonale al piano di azione

Un carico ripartito in modo parziale di ascissa iniziale  $x_1$  ed ascissa finale  $x_2$  genera un diagramma di pressioni sulla parete i cui valori sono stati determinati secondo la formulazione di Terzaghi, che esprime la pressione alla generica profondità  $z$  come segue:

$$\sigma_q(z) = \frac{Q}{2\pi \times (2\Delta\theta + A)}$$

$$\tau_{xz} = -\frac{Q}{2\pi B}$$

Con:

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2;$$

$$A = \text{sen}(2\theta_1) - \text{sen}(2\theta_2)$$

$$B = \text{cos}(2\theta_1) - \text{cos}(2\theta_2)$$

$$\theta_1 = \text{arctg}(z/x_1)$$

$$\theta_2 = \text{arctg}(z/x_2)$$

Per integrazione si otterrà la risultante ed il relativo braccio.

### Striscia di carico tangenziale al p.c.

$$\sigma_x = \frac{t}{2\pi \times (D - 2E)}$$

$T$  = Intensità del carico  $[F/L^2]$

$$D = 4 \cdot \log[\text{sen}\theta_1/\text{sen}\theta_2]$$

$$E = \text{sen}^2\theta_1 - \text{sen}^2\theta_2$$

### Linee di carico sul terrapieno

Le linee di carico generano un incremento di pressioni sulla parete che secondo BOUSSINESQ, alla profondità  $z$ , possono essere espresse come segue:

$$\sigma_x(x, z) = \frac{2V}{\pi \cdot x^2 \cdot z \cdot (x^2 + z^2)^2}$$

$$\tau_{xz}(x, z) = \frac{2V}{\pi \cdot x \cdot z^2 \cdot (x^2 + z^2)^2}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

V= Intensità del carico espessa in [F/L];

X= Distanza, in proiezione orizzontale, del punto di applicazione del carico dalla parete;

Se il piano di azione è inclinato di  $\varepsilon$  viene ruotato il sistema di riferimento xz in XZ, attraverso la seguente trasformazione:

$$\begin{cases} X = x \cdot \cos(\varepsilon) - z \cdot \sin(\varepsilon) \\ Z = z \cdot \cos(\varepsilon) + x \cdot \sin(\varepsilon) \end{cases}$$

### Resistenza passiva

Anche per il calcolo della resistenza passiva si possono utilizzare i due metodi usati nel calcolo della pressione allo stato limite attivo (metodo di Coulomb e metodo di Caquot).

#### Metodo di Coulomb

Per terreno omogeneo il diagramma delle pressioni in condizioni di stato limite passivo risulta lineare con legge del tipo del tipo:

$$\sigma_p(z) = k_p \cdot \gamma_t \cdot z$$

Ancora una volta integrando la precedente relazione sull'altezza di spinta (che per le paratie deve essere valutata attentamente) si ottiene la spinta passiva totale:

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

Avendo indicato al solito con H l'altezza di spinta,  $\gamma_t$  il peso dell'unità di volume di terreno e con  $k_p$  il coefficiente di pressione passiva (in condizioni di stato limite passivo). Il valore di questo coefficiente è determinato con la seguente formula:

$$\left\{ \begin{aligned} k_p &= \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi + \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta + \varepsilon)}} \right]^2} \\ &\text{con } \delta < \beta - \phi - \varepsilon \text{ secondo Muller - Breslau} \end{aligned} \right.$$

con valori limite pari a:  $\delta < \beta - \phi - \varepsilon$  (Muller-Breslau).

#### Metodo di Caquot

Il metodo di Caquot differisce dal metodo di Coulomb per il calcolo del coefficiente di pressione allo stato limite passivo. Il coefficiente di pressione passiva viene calcolato, con questo metodo, interpolando i valori della seguente tabella:

Coefficient of passive earth pressure $K_p$ for $\delta = -\phi$											
$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	$K_p$ when $\beta^\circ$									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	10	1,17	1,41	1,53							
	15	1,30	1,70	1,92	2,08						
	20	1,71	2,08	2,42	2,71	2,92					
	25	2,14	2,81	2,98	3,88	4,22	4,43				
-30	30	2,78	3,42	4,18	5,01	5,98	8,94	7,40			

MURO IN SX DA km 2+595 a km 2+710- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

	35	3,75	4,73	5,87	7,21	8,78	10,80	12,50	13,80		
	40	5,31	8,87	8,77	11,00	13,70	17,20	24,80	25,40	28,40	
	45	8,05	10,70	14,20	18,40	23,80	90,60	38,90	49,10	60,70	69,10
	10	1,36	1,58	1,70							
	15	1,68	1,97	2,20	2,38						
	20	2,13	2,52	2,92	3,22	3,51					
	25	2,78	3,34	3,99	4,80	5,29	5,57				
-20	30	3,78	4,81	8,58	8,81	7,84	9,12	9,77			
	35	5,38	8,89	8,28	10,10	12,20	14,80	17,40	19,00		
	40	8,07	10,40	12,00	18,50	20,00	25,50	38,50	37,80	42,20	
	45	13,2	17,50	22,90	29,80	38,30	48,90	82,30	78,80	97,30	111,04
	10	1,52	1,72	1,83							
	15	1,95	2,23	2,57	2,88						
	20	2,57	2,98	3,42	3,75	4,09					
	25	3,50	4,14	4,90	5,82	8,45	8,81				
-10	30	4,98	8,01	7,19	8,51	10,10	11,70	12,80			
	35	7,47	9,24	11,30	13,80	18,70	20,10	23,70	26,00		
	40	12,0	15,40	19,40	24,10	29,80	37,10	53,20	55,10	61,80	
	45	21,2	27,90	38,50	47,20	80,80	77,30	908,20	124,00	153,00	178,00
	10	1,84	1,81	1,93							
	15	2,19	2,46	2,73	2,91						
	20	3,01	3,44	3,91	4,42	4,66					
	25	4,28	5,02	5,81	8,72	7,71	8,16				
0	30	8,42	7,69	9,19	10,80	12,70	14,80	15,90			
	35	10,2	12,60	15,30	18,80	22,30	28,90	31,70	34,90		
	40	17,5	22,30	28,00	34,80	42,90	53,30	78,40	79,10	88,70	
	45	33,5	44,10	57,40	74,10	94,70	120,00	153,00	174,00	240,00	275,00
	10	1,73	1,87	1,98							
	15	2,40	2,65	2,93	3,12						
	20	3,45	3,90	4,40	4,96	5,23					
10	25	5,17	5,99	6,90	7,95	9,11	9,67				
	30	8,17	9,69	11,40	13,50	15,90	18,50	19,90			
	35	13,8	16,90	20,50	24,80	29,80	35,80	42,30	46,60		
	40	25,5	32,20	40,40	49,90	61,70	76,40	110,00	113,00	127,00	
	45	52,9	69,40	90,90	116,00	148,00	188,00	239,00	303,00	375,00	431,00
	10	1,78	1,89	2,01							
	15	2,58	2,82	3,11	3,30						
	20	3,90	4,38	4,92	5,53	5,83					
20	25	6,18	7,12	8,17	9,39	10,70	11,40				
	30	10,4	12,30	14,40	16,90	20,00	23,20	25,00			
	35	18,7	22,80	27,60	33,30	40,00	48,00	56,80	62,50		
	40	37,2	46,90	58,60	72,50	89,30	111,00	158,00	164,00	185,00	
	45	84,0	110,00	143,00	184,00	234,00	297,00	378,00	478,00	592,00	680,00

## TABELLA: VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI PRESSIONE PASSIVA CON LA TEORIA DI CAQUOT

### Carico uniforme sul terrapieno

La resistenza indotta da un carico uniformemente distribuito  $S_q$  vale:

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

Con punto di applicazione pari a  $H/2$  (essendo il diagramma delle tensioni orizzontali costante per tutta l'altezza). Nella precedente formula  $k_p$  è il coefficiente di spinta passiva valutato al paragrafo precedente.

### Metodo dell'equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nel ricercare soluzioni, al problema di verifica o di progetto, che siano compatibili con il solo aspetto statico del problema. In sostanza si ragiona in termini di equilibrio di un corpo rigido, senza preoccuparsi della congruenza cinematica degli spostamenti. I principali schemi di calcolo cui si farà riferimento sono i seguenti:

1. Paratia a sbalzo;
2. Paratia tirantata ad estremo libero;
3. Paratia tirantata ad estremo fisso;

### Paratia a sbalzo: calcolo della profondità d'infissione limite

Per paratia non tirantata, la stabilità è assicurata dalla resistenza passiva del terreno che si trova a valle della stessa; dall'equilibrio dei momenti rispetto al centro di rotazione si ottiene:

$$S_m \cdot B_m - R_v \cdot B_v = 0$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

$S_m$  = componente orizzontale della spinta attiva;

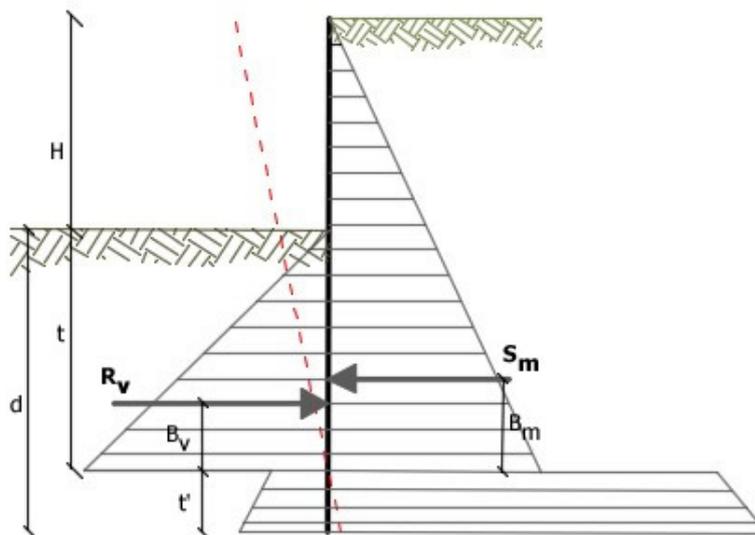
$B_m$  = braccio di  $S_m$  rispetto ad O centro di rotazione;

$R_v$  = componente orizzontale della resistenza passiva;

$B_v$  = braccio di  $R_v$  rispetto ad O centro di rotazione;

ogni termine risulta funzione di  $t$  dove  $t$  è la profondità del centro di rotazione rispetto al piano di riferimento di valle (piano campagna a valle). La lunghezza necessaria per assicurare l'equilibrio alla traslazione orizzontale si ottiene aumentando  $t$  come segue:

$$t' = a \cdot t \quad d = t \cdot (1 + a) \quad \text{dove } a = 0.2 \text{ (Metodo di Blum)}$$



**FIGURA 32: SCHEMA DI RIFERIMENTO PER IL CALCOLO DELL'EQUILIBRIO DELLA PARATIA**

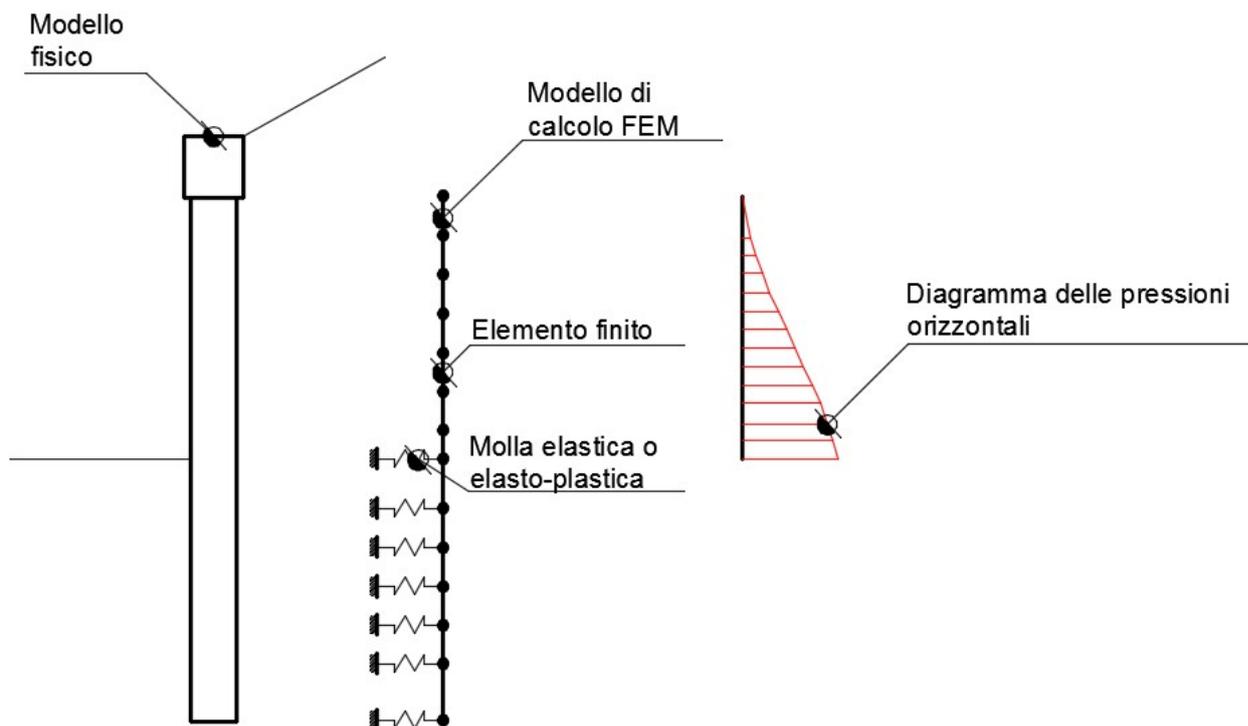
**Coefficiente di sicurezza sulla resistenza passiva**

La lunghezza d'infissione d come sopra determinata è relativa alla condizione limite di incipiente collasso, tramite un coefficiente F. E' possibile introdurre un margine di sicurezza sulle resistenze passive; la riduzione si effettua come segue:

$$S_m \cdot B_m - \frac{R_v}{F} \cdot B_v = 0$$

**Metodo degli elementi finiti (FEM)**

Il metodo degli elementi finiti è il metodo che più di tutti si fonda su basi teoriche solide e razionali. Di fatti tutto il metodo presuppone che il problema sia affrontato tenendo in conto sia l'aspetto statico (e quindi l'equilibrio del problema, sia l'aspetto cinematica (e quindi la congruenza degli spostamenti o meglio delle deformazioni). In questo approccio la paratia è modellata come un insieme di travi, con vincolo di continuità tra loro (elementi beam) vincolati al terreno mediante molle elastiche, la cui rigidezza è valutata in funzione delle proprietà elastiche del terreno. Nella figura che segue è mostrato schematicamente il modello utilizzato per l'analisi ad elementi finiti:



**FIGURA 4: SCHEMATIZZAZIONE DELLA PARATIA AD ELEMENTI FINITI**

Vari aspetti hanno importanza centrale in questo metodo di calcolo. Si riportano nel seguito gli aspetti essenziali.

#### Calcolo del modulo di rigidezza $K_s$ del terreno

Come già detto in precedenza, il terreno viene schematizzato con delle molle di rigidezza  $K_s$  applicate sui nodi dei conci compresi tra il nodo di fondo scavo e l'estremità di infissione. La stima della rigidezza  $K_s$  è stata effettuata sulla base della capacità portante delle fondazioni secondo la seguente formula:

$$k_s = A_s + B_s \cdot z^n$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

$A_s$  = costante, calcolata come segue  $A_s = C \cdot (c \cdot N_c + 0.5 \cdot G \cdot B \cdot N_g)$

$B_s$  = coefficiente funzione della profondità  $B_s = C \cdot G \cdot N_q$

$Z$  = Profondità in esame

$C$  = 40 nel sistema internazionale SI

$n$  =  $\pi \cdot \tan \varphi$

$N_q$  =  $\exp[n \cdot (\tan^2(45^\circ + \varphi/2))]$

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

$N_g$  =  $1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \varphi$

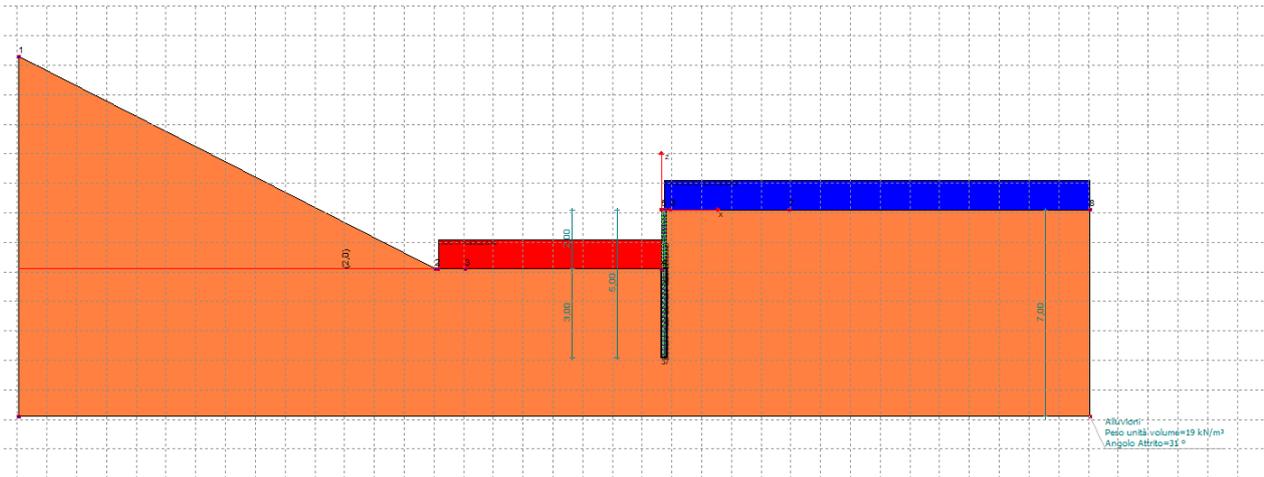


Fig. 12 Modello di calcolo

**GEOMETRIA SEZIONE**

Sezione	Input: A,E,I,G
Acciaio	S355
Nome	Palancola
Area	0,0146 m <sup>2</sup> /m
Momento di inerzia	0,0002219 m <sup>4</sup> /m
Modulo elasticità	210000 MPa

**Dati generali FEM**

Massimo spostamento lineare terreno	1,5 cm
Fattore tolleranza spostamento	0,03 cm
Tipo analisi	Lineare
Massimo numero di iterazioni	1
Fattore riduzione molla fondo scavo	1
Profondità infissione iniziale	3 m
Incremento profondità infissione	0 m
Numero di elementi	36
Numero nodo di fondo scavo	18

**Stratigrafia**

Fase: 1

Nr.	Peso specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso specifico saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Coesione [kN/m <sup>2</sup> ]	Angolo attrito [°]	O.C.R.	Modulo edometrico [kN/m <sup>2</sup> ]	Attrito terra muro monte [°]	Attrito terra muro valle [°]	Spessore [m]	Inclinazione [°]	Descrizione
1	19,0	0,0	0,0	31,0	0,0	12600,0	14,0	-12,0	7,0	0,0	Alluvioni

**Carichi**

Fase: 1

Descrizione	Tipo	Xi [m]	Xf [m]	Yi [m]	Yf [m]	Profondità [m]	Valore [kN]-[kPa]
sovraccarico permanente	Uniformi	0,1	14,4	0	0	0	40
sovraccarico accidentale	Uniformi	0,1	14,4	0	0	0	4
muro in costruzione	Uniformi	-7,5	0	-2	-2	0	25

**Analisi Paratia Metodo calcolo: FEM**

Profondità massima di infissione

3 [m]

**Fase: 1 Analisi geotecnica Fase: 1 - Combinazione: 1**

**Altezza scavo**

Tipo:

Nome:

Coefficienti sismici:

Coefficienti parziali azioni

**2 [m]**

S.L.U. [GEO-STR]

A1+M1+R1

Kh = 0, Kv = 0

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1,3
3	Spinta falda	1,5
4	Spinta sismica x	1
5	Spinta sismica y	1
6	sovraccarico permanente	1,5
7	sovraccarico accidentale	1,5
8	muro in costruzione	1,5

Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione

3,00 [m]

Pressione massima terreno

116,76 [kPa]

Momento massimo

71,07 [kNm/m]

Taglio massimo

58,25 [KN/m]

Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
0,12	25,06	1,00	-0,17	-4,31	0,9734	--
0,24	25,88	2,00	-0,70	-7,30	0,9287	--
0,35	26,70	3,00	-1,56	-10,56	0,8840	--
0,47	27,52	4,00	-2,81	-13,75	0,8394	--
0,59	28,35	5,00	-4,44	-17,06	0,7948	--
0,71	29,17	6,00	-6,45	-20,48	0,7504	--
0,82	29,99	7,00	-8,88	-23,98	0,7062	--
0,94	30,81	8,00	-11,71	-27,69	0,6622	--
1,06	31,63	8,00	-14,97	-31,35	0,6186	--
1,18	32,45	9,00	-18,67	-35,28	0,5754	--
1,29	33,27	10,00	-22,81	-39,33	0,5328	--
1,41	34,09	11,00	-27,43	-43,23	0,4909	--
1,53	34,91	12,00	-32,52	-47,28	0,4498	--
1,65	35,73	13,00	-38,08	-51,48	0,4096	--
1,76	36,56	14,00	-44,13	-55,90	0,3706	--

1,88	37,38	15,00	-50,70	-58,25	0,3329	--
2,00	38,20	16,00	-57,56	-49,41	0,2967	56006,91
2,16	--	17,00	-65,36	-27,26	0,2509	56006,91
2,32	-116,76	19,00	-69,67	-8,86	0,2085	56006,91
2,47	-95,09	20,00	-71,07	6,17	0,1698	56006,91
2,63	-75,54	21,00	-70,09	18,07	0,1349	56006,91
2,79	-58,08	22,00	-67,24	27,22	0,1037	56006,91
2,95	-42,62	24,00	-62,94	33,93	0,0761	56006,91
3,11	-29,05	25,00	-57,59	38,52	0,0519	56006,91
3,26	-17,20	26,00	-51,50	41,24	0,0307	56006,91
3,42	-6,89	27,00	-44,99	42,32	0,0123	56006,91
3,58	2,08	29,00	-38,31	42,00	-0,0037	56006,91
3,74	9,89	30,00	-31,68	40,44	-0,0177	56006,91
3,89	16,76	31,00	-25,29	37,79	-0,0299	56006,91
4,05	22,86	32,00	-19,33	34,18	-0,0408	56006,91
4,21	28,39	34,00	-13,93	29,71	-0,0507	56006,91
4,37	33,49	35,00	-9,24	24,42	-0,0598	56006,91
4,53	38,31	36,00	-5,38	18,38	-0,0684	56006,91
4,68	42,97	37,00	-2,48	11,62	-0,0767	56006,91
4,84	47,54	39,00	-0,65	4,11	-0,0849	56006,91

**Fase: 1 - Combinazione: 2**

**Altezza scavo**

Tipo:

Nome:

Coefficienti sismici:

Coefficienti parziali azioni

**2 [m]**

S.L.U. [GEO-STR]

A2+M2+R1

Kh = 0, Kv = 0

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1
3	Spinta falda	1,3
4	Spinta sismica x	1
5	Spinta sismica y	1
6	sovraccarico permanente	1,3
7	sovraccarico accidentale	1,3
8	muro in costruzione	1,3

**Coefficienti parziali terreno**

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1,25
2	Coesione efficace	1,25
3	Resistenza non drenata	1,4
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

**Coefficienti resistenze capacità portante verticale**

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione

3,00 [m]

Pressione massima terreno

93,95 [kPa]

Momento massimo

62,63 [kNm/m]

Taglio massimo

50,61 [KN/m]

Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
0,12	21,03	1,00	-0,15	-3,46	1,2765	--
0,24	21,82	2,00	-0,56	-6,38	1,2238	--
0,35	22,61	3,00	-1,31	-8,89	1,1711	--
0,47	23,41	4,00	-2,36	-11,56	1,1185	--
0,59	24,20	5,00	-3,74	-14,36	1,0660	--
0,71	24,99	7,00	-5,43	-17,56	1,0135	--
0,82	25,78	8,00	-7,49	-20,45	0,9613	--
0,94	26,57	9,00	-9,90	-23,40	0,9092	--
1,06	27,36	10,00	-12,69	-26,73	0,8575	--
1,18	28,15	11,00	-15,83	-30,04	0,8061	--
1,29	28,94	12,00	-19,37	-33,59	0,7552	--
1,41	29,73	13,00	-23,31	-37,21	0,7049	--
1,53	30,52	14,00	-27,69	-40,57	0,6552	--
1,65	31,32	15,00	-32,46	-44,37	0,6064	--
1,76	32,11	16,00	-37,67	-48,10	0,5586	--
1,88	32,90	17,00	-43,34	-50,61	0,5119	--
2,00	33,69	18,00	-49,30	-44,59	0,4665	26678,45
2,16	--	20,00	-56,34	-27,38	0,4078	26678,45
2,32	-93,95	21,00	-60,65	-12,56	0,3522	26678,45
2,47	-79,96	23,00	-62,63	0,10	0,2997	26678,45
2,63	-66,87	24,00	-62,61	10,71	0,2506	26678,45
2,79	-54,66	26,00	-60,92	19,38	0,2049	26678,45
2,95	-43,31	27,00	-57,86	26,24	0,1624	26678,45
3,11	-32,80	29,00	-53,72	31,43	0,1229	26678,45
3,26	-23,04	30,00	-48,76	35,09	0,0864	26678,45
3,42	-13,98	32,00	-43,22	37,30	0,0524	26678,45
3,58	-5,54	33,00	-37,33	38,18	0,0208	26678,45
3,74	2,37	35,00	-31,30	37,80	-0,0089	26678,45
3,89	9,84	36,00	-25,33	36,24	-0,0369	26678,45
4,05	16,94	37,00	-19,61	33,55	-0,0635	26678,45
4,21	23,76	39,00	-14,31	29,78	-0,0891	26678,45
4,37	30,38	40,00	-9,61	24,99	-0,1139	26678,45
4,53	36,85	42,00	-5,66	19,13	-0,1381	26678,45
4,68	43,25	43,00	-2,64	12,29	-0,1621	26678,45
4,84	49,60	45,00	-0,70	4,45	-0,1859	26678,45

Fase: 1 - Combinazione: 3

Altezza scavo

Tipo:

Nome:

Coefficienti sismici:

Coefficienti parziali azioni

2 [m]

S.L.U. [GEO-STR]

A1+M1+R1

Kh = 0, Kv = 0

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1,3
3	Spinta falda	1,5
4	Spinta sismica x	1
5	Spinta sismica y	1
6	sovraccarico permanente	1,5
7	sovraccarico accidentale	1,5
8	muro in costruzione	0

Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1

3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione	3,00 [m]
Pressione massima terreno	116,76 [kPa]
Momento massimo	71,07 [kNm/m]
Taglio massimo	58,25 [KN/m]

Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
0,12	25,06	1,00	-0,17	-4,31	0,9734	--
0,24	25,88	2,00	-0,70	-7,30	0,9287	--
0,35	26,70	3,00	-1,56	-10,56	0,8840	--
0,47	27,52	4,00	-2,81	-13,75	0,8394	--
0,59	28,35	5,00	-4,44	-17,06	0,7948	--
0,71	29,17	6,00	-6,45	-20,48	0,7504	--
0,82	29,99	7,00	-8,88	-23,98	0,7062	--
0,94	30,81	8,00	-11,71	-27,69	0,6622	--
1,06	31,63	8,00	-14,97	-31,35	0,6186	--
1,18	32,45	9,00	-18,67	-35,28	0,5754	--
1,29	33,27	10,00	-22,81	-39,33	0,5328	--
1,41	34,09	11,00	-27,43	-43,23	0,4909	--
1,53	34,91	12,00	-32,52	-47,28	0,4498	--
1,65	35,73	13,00	-38,08	-51,48	0,4096	--
1,76	36,56	14,00	-44,13	-55,90	0,3706	--
1,88	37,38	15,00	-50,70	-58,25	0,3329	--
2,00	38,20	16,00	-57,56	-49,41	0,2967	56006,91
2,16	--	17,00	-65,36	-27,26	0,2509	56006,91
2,32	-116,76	19,00	-69,67	-8,86	0,2085	56006,91
2,47	-95,09	20,00	-71,07	6,17	0,1698	56006,91
2,63	-75,54	21,00	-70,09	18,07	0,1349	56006,91
2,79	-58,08	22,00	-67,24	27,22	0,1037	56006,91
2,95	-42,62	24,00	-62,94	33,93	0,0761	56006,91
3,11	-29,05	25,00	-57,59	38,52	0,0519	56006,91
3,26	-17,20	26,00	-51,50	41,24	0,0307	56006,91
3,42	-6,89	27,00	-44,99	42,32	0,0123	56006,91
3,58	2,08	29,00	-38,31	42,00	-0,0037	56006,91
3,74	9,89	30,00	-31,68	40,44	-0,0177	56006,91
3,89	16,76	31,00	-25,29	37,79	-0,0299	56006,91
4,05	22,86	32,00	-19,33	34,18	-0,0408	56006,91
4,21	28,39	34,00	-13,93	29,71	-0,0507	56006,91
4,37	33,49	35,00	-9,24	24,42	-0,0598	56006,91
4,53	38,31	36,00	-5,38	18,38	-0,0684	56006,91
4,68	42,97	37,00	-2,48	11,62	-0,0767	56006,91
4,84	47,54	39,00	-0,65	4,11	-0,0849	56006,91

Fase: 1 - Combinazione: 4

Altezza scavo

2 [m]

Tipo:  
 Nome:  
 Coefficienti sismici:  
 Coefficienti parziali azioni

S.L.E. [GEO-STR]  
 Frequente  
 Kh = 0, Kv = 0

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1
3	Spinta falda	1
4	Spinta sismica x	1
5	Spinta sismica y	1
6	sovraccarico permanente	0
7	sovraccarico accidentale	0
8	muro in costruzione	1

Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione 3,00 [m]  
 Pressione massima terreno 18,48 [kPa]  
 Momento massimo 9,85 [kNm/m]  
 Taglio massimo 9,81 [KN/m]

Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
0,12	0,63	0,00	0,00	-0,09	0,1402	--
0,24	1,26	1,00	-0,01	-0,24	0,1341	--
0,35	1,89	1,00	-0,04	-0,47	0,1280	--
0,47	2,53	2,00	-0,09	-0,76	0,1219	--
0,59	3,16	2,00	-0,18	-1,12	0,1159	--
0,71	3,79	2,00	-0,31	-1,57	0,1098	--
0,82	4,42	3,00	-0,50	-2,08	0,1037	--
0,94	5,05	3,00	-0,74	-2,70	0,0977	--
1,06	5,68	4,00	-1,06	-3,35	0,0917	--
1,18	6,32	4,00	-1,46	-4,10	0,0857	--
1,29	6,95	4,00	-1,94	-4,92	0,0797	--
1,41	7,58	5,00	-2,52	-5,80	0,0739	--
1,53	8,21	5,00	-3,20	-6,78	0,0680	--
1,65	8,84	6,00	-4,00	-7,81	0,0623	--
1,76	9,47	6,00	-4,92	-8,93	0,0567	--
1,88	10,10	6,00	-5,97	-9,81	0,0513	--
2,00	10,74	7,00	-7,12	-8,97	0,0460	56006,91
2,16	--	7,00	-8,54	-5,50	0,0393	56006,91
2,32	-18,48	8,00	-9,41	-2,59	0,0330	56006,91
2,47	-15,23	8,00	-9,82	-0,19	0,0272	56006,91

2,63	-12,29	9,00	-9,85	1,75	0,0219	56006,91
2,79	-9,63	9,00	-9,57	3,27	0,0172	56006,91
2,95	-7,26	10,00	-9,05	4,41	0,0130	56006,91
3,11	-5,16	10,00	-8,36	5,23	0,0092	56006,91
3,26	-3,32	11,00	-7,53	5,75	0,0059	56006,91
3,42	-1,69	11,00	-6,62	6,02	0,0030	56006,91
3,58	-0,27	12,00	-5,67	6,06	0,0005	56006,91
3,74	0,99	13,00	-4,72	5,90	-0,0018	56006,91
3,89	2,10	13,00	-3,78	5,57	-0,0038	56006,91
4,05	3,10	14,00	-2,90	5,08	-0,0055	56006,91
4,21	4,02	14,00	-2,10	4,45	-0,0072	56006,91
4,37	4,87	15,00	-1,40	3,68	-0,0087	56006,91
4,53	5,67	15,00	-0,82	2,79	-0,0101	56006,91
4,68	6,45	16,00	-0,38	1,77	-0,0115	56006,91
4,84	7,22	16,00	-0,10	0,63	-0,0129	56006,91

**Fase: 1 - Combinazione: 5**

**Altezza scavo**

Tipo:

Nome:

Coefficienti sismici:

Coefficienti parziali azioni

**2 [m]**

S.L.E. [GEO-STR]

rara

Kh = 0, Kv = 0

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1
3	Spinta falda	1
4	Spinta sismica x	0
5	Spinta sismica y	0
6	sovraccarico permanente	0
7	sovraccarico accidentale	0
8	muro in costruzione	0

Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione

3,00 [m]

Pressione massima terreno

18,48 [kPa]

Momento massimo

9,85 [kNm/m]

Taglio massimo

9,81 [KN/m]

Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
-------	--------------------------------	-----------------------	-----------------	---------------	------------------	-------------------------

0,12	0,63	0,00	0,00	-0,09	0,1402	--
0,24	1,26	1,00	-0,01	-0,24	0,1341	--
0,35	1,89	1,00	-0,04	-0,47	0,1280	--
0,47	2,53	2,00	-0,09	-0,76	0,1219	--
0,59	3,16	2,00	-0,18	-1,12	0,1159	--
0,71	3,79	2,00	-0,31	-1,57	0,1098	--
0,82	4,42	3,00	-0,50	-2,08	0,1037	--
0,94	5,05	3,00	-0,74	-2,70	0,0977	--
1,06	5,68	4,00	-1,06	-3,35	0,0917	--
1,18	6,32	4,00	-1,46	-4,10	0,0857	--
1,29	6,95	4,00	-1,94	-4,92	0,0797	--
1,41	7,58	5,00	-2,52	-5,80	0,0739	--
1,53	8,21	5,00	-3,20	-6,78	0,0680	--
1,65	8,84	6,00	-4,00	-7,81	0,0623	--
1,76	9,47	6,00	-4,92	-8,93	0,0567	--
1,88	10,10	6,00	-5,97	-9,81	0,0513	--
2,00	10,74	7,00	-7,12	-8,97	0,0460	56006,91
2,16	--	7,00	-8,54	-5,50	0,0393	56006,91
2,32	-18,48	8,00	-9,41	-2,59	0,0330	56006,91
2,47	-15,23	8,00	-9,82	-0,19	0,0272	56006,91
2,63	-12,29	9,00	-9,85	1,75	0,0219	56006,91
2,79	-9,63	9,00	-9,57	3,27	0,0172	56006,91
2,95	-7,26	10,00	-9,05	4,41	0,0130	56006,91
3,11	-5,16	10,00	-8,36	5,23	0,0092	56006,91
3,26	-3,32	11,00	-7,53	5,75	0,0059	56006,91
3,42	-1,69	11,00	-6,62	6,02	0,0030	56006,91
3,58	-0,27	12,00	-5,67	6,06	0,0005	56006,91
3,74	0,99	13,00	-4,72	5,90	-0,0018	56006,91
3,89	2,10	13,00	-3,78	5,57	-0,0038	56006,91
4,05	3,10	14,00	-2,90	5,08	-0,0055	56006,91
4,21	4,02	14,00	-2,10	4,45	-0,0072	56006,91
4,37	4,87	15,00	-1,40	3,68	-0,0087	56006,91
4,53	5,67	15,00	-0,82	2,79	-0,0101	56006,91
4,68	6,45	16,00	-0,38	1,77	-0,0115	56006,91
4,84	7,22	16,00	-0,10	0,63	-0,0129	56006,91

**Fase: 1 - Combinazione: 6**

**Altezza scavo**

Tipo:

Nome:

Coefficienti sismici:

Coefficienti parziali azioni

**2 [m]**

S.L.E. [GEO-STR]

Quasi permanente

Kh = 0, Kv = 0

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1
3	Spinta falda	1
4	Spinta sismica x	0
5	Spinta sismica y	0
6	sovraccarico permanente	1
7	sovraccarico accidentale	0
8	muro in costruzione	1

Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione	3,00 [m]
Pressione massima terreno	61,71 [kPa]
Momento massimo	37,00 [kNm/m]
Taglio massimo	31,08 [KN/m]

Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
0,12	11,93	1,00	-0,08	-2,13	0,5090	--
0,24	12,56	1,00	-0,33	-3,54	0,4858	--
0,35	13,20	2,00	-0,75	-5,03	0,4626	--
0,47	13,83	3,00	-1,35	-6,63	0,4394	--
0,59	14,46	4,00	-2,14	-8,45	0,4162	--
0,71	15,09	4,00	-3,13	-10,15	0,3931	--
0,82	15,72	5,00	-4,33	-12,12	0,3701	--
0,94	16,35	6,00	-5,75	-13,98	0,3472	--
1,06	16,98	7,00	-7,40	-15,93	0,3245	--
1,18	17,62	7,00	-9,27	-18,10	0,3020	--
1,29	18,25	8,00	-11,40	-20,18	0,2798	--
1,41	18,88	9,00	-13,78	-22,38	0,2579	--
1,53	19,51	9,00	-16,42	-24,70	0,2365	--
1,65	20,14	10,00	-19,33	-27,10	0,2155	--
1,76	20,77	11,00	-22,51	-29,51	0,1951	--
1,88	21,41	12,00	-25,99	-31,08	0,1754	--
2,00	22,04	12,00	-29,64	-26,56	0,1565	56006,91
2,16	--	13,00	-33,84	-14,88	0,1324	56006,91
2,32	-61,71	14,00	-36,19	-5,15	0,1102	56006,91
2,47	-50,33	15,00	-37,00	2,80	0,0899	56006,91
2,63	-40,06	16,00	-36,56	9,11	0,0715	56006,91
2,79	-30,87	17,00	-35,12	13,97	0,0551	56006,91
2,95	-22,73	18,00	-32,91	17,56	0,0406	56006,91
3,11	-15,58	19,00	-30,14	20,02	0,0278	56006,91
3,26	-9,32	20,00	-26,98	21,49	0,0166	56006,91
3,42	-3,88	21,00	-23,58	22,10	0,0069	56006,91
3,58	0,86	22,00	-20,10	21,97	-0,0015	56006,91
3,74	5,00	23,00	-16,63	21,18	-0,0089	56006,91
3,89	8,64	24,00	-13,28	19,81	-0,0154	56006,91
4,05	11,88	25,00	-10,15	17,94	-0,0212	56006,91
4,21	14,82	26,00	-7,32	15,60	-0,0265	56006,91
4,37	17,53	27,00	-4,86	12,83	-0,0313	56006,91
4,53	20,09	28,00	-2,83	9,67	-0,0359	56006,91
4,68	22,57	29,00	-1,31	6,11	-0,0403	56006,91
4,84	25,01	30,00	-0,34	2,16	-0,0447	56006,91

La verifica della palanca viene condotta considerando le sollecitazioni massime della combinazione 1

- Momento massimo  $M_{sd}$  71,58 [kNm/m]
- Taglio massimo  $T_{sd}$  58,25 [KN/m]

Le caratteristiche della palanca AZ14-700 sono:

$$A_v = 146,1 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$W_{el} = 1405 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_B = 1$$

Il momento resistente è:

$$M_{rd} = W_{el} \cdot (f_{yk} / \gamma_{M0}) \times \beta_B = 1405 \cdot 10^{-6} \times (355 \cdot 10^3 / 1,05) \cdot 1 = 475 \text{ kNm/m} > M_{sd}$$

$$T_{rd} = A_v \cdot f_{yk} / (\gamma_{M0} \cdot e^3) = 146,1 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3 / (1,05 \cdot e^3) = 213 \text{ kN/m} > T_{sd}$$