

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

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

PROGETTO ESECUTIVO

 Ing. Renato Vaira (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)	 Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211	ING. RENATO DEL PRETE Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073	 Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433	 Ing. Gabriele Incecchi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102
	 Società designata: GA&M Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137	 Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771	 Via Impugnatoro, Torino n. 4 - 10126 Bari Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970	DOTT. GEOL. DANILO GALLO Dott. Geol. Danilo Gallo Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588

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

<h1>IM01</h1>	<h2>I - PROGETTO STRUTTURALE - OPERE D'ARTE MINORI</h2> <h3>IM - MURO IN DX DA KM 2+170 A KM 2+230</h3> <h4>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</h4>
---------------	---

CODICE PROGETTO PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. MI324 E 1801	NOME FILE IM01 - P00OS01STRRE01_B.dwg	REVISIONE B	SCALA: -
CODICE ELAB. P00OS01STRRE01	B	-	-

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

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	2
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	2
3	UBICAZIONE DELL'OPERA.....	3
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
5	UNITA' DI MISURA.....	4
6	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	4
6.1	Calcestruzzo.....	4
6.2	Calcestruzzo per opere di sottofondazione	4
6.2.1	Calcestruzzo per FONDAZIONI ED ELEVAZIONI	4
6.2.2	Caratteristiche del calcestruzzo ai fini della durabilità.....	5
6.2.3	Verifiche allo stato limite di apertura delle fessure	5
6.2.4	Copriferro	6
6.3	Acciaio.....	6
6.3.1	Acciaio per barre di armatura lenta	6
7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	7
8	VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO.....	9
8.1	Vita nominale.....	9
8.2	Classe d'uso	9
8.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	9
9	METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA.....	10
9.1	Metodo di analisi in condizioni sismiche.....	11
10	ANALISI DEI CARICHI.....	13
10.1	Carichi Permanenti g_1	13
10.1.1	Peso proprio muro di sostegno	13
10.2	Carichi Permanenti non strutturali G_2	13
10.2.1	Peso del rilevato stradale	13
10.2.2	Peso della sovrastruttura stradale.....	13
10.2.3	Peso del rivestimento in pietra	14
10.2.4	Spinta del terreno in condizioni statiche.....	14
10.3	Azioni Variabili Q.....	14
10.3.1	Azioni variabili da traffico stradale.....	14
11	PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA	14
11.1	VALIDAZIONI DEL CALCOLO E CASI PROVA	15
11.2	ANALISI DELL'OPERA DI SOSTEGNO.....	15
11.3	Calcolo della spinta attiva con Coulomb	15
11.4	Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe	16
11.5	Carico uniforme sul terrapieno.....	17
11.6	Spinta attiva in condizioni sismiche	17
11.7	Carico limite di fondazioni superficiali su terreni	17
12	RISULTATI DELLE VERIFICHE	20
12.1	ANALISI DI STABILITA'	49

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 dx dalla progressiva 2+170 km alla progressiva 2+230 km dell'asse principale.

2 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Il muro di sostegno risulta così costituito:

- Muro di spessore variabile da **94 cm** alla base a **70 cm** in sommità compreso di cordolo 60x70 cm, altezza pari a **500 cm**
- Zattera di fondazione di larghezza pari a **500 cm** e altezza pari a **120 cm** con piede di monte di larghezza pari a **296 cm** e piede di valle di larghezza pari a **110 cm**.

Si riportano di seguito alcune immagini che descrivono tale opera.

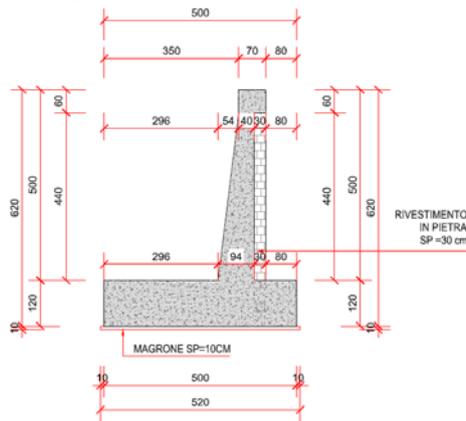


Fig. 1 Sezione trasversale

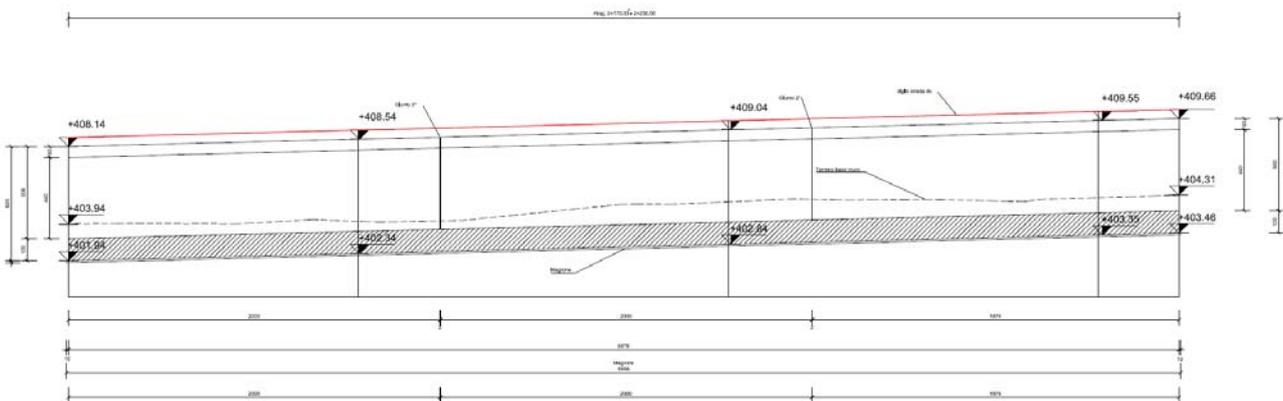


Fig. 2 Sezione longitudinale

3 UBICAZIONE DELL'OPERA

Il muro tra le progressive 2+070,00 e 2+130,00 km è ubicato planimetricamente come mostrato nell'immagine successiva:



Fig. 3 Ubicazione dell'opera

4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

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

- **UNI EN 1992-2 (Eurocodice 2 – Parte 2)** → Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Ponti
- **UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2015** → Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- **UNI EN 206-1:2016** → Calcestruzzo – Specificazione, prestazione e conformità
- **UNI 11104:2016** → Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1
- **Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP. Linee guida sul calcestruzzo strutturale**

5 UNITA' DI MISURA

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

- per i carichi: kN/m², kN/m, kN
- per i momenti: kNm
- per i tagli e sforzi normali: kN
- per le tensioni: MPa
- per le accelerazioni: m/sec²

6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

6.1 CALCESTRUZZO

6.2 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.

6.2.1 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	γ_c	=	1.5	
Coefficiente per le resistenze di lunga durata	α_{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		

6.2.2 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

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

6.2.4 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

6.3 ACCIAIO

6.3.1 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)
- γ_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 S.6 risulta quello posto in prossimità dell'opera in progetto. La falda non interessa l'opera oggetto della presente relazione.

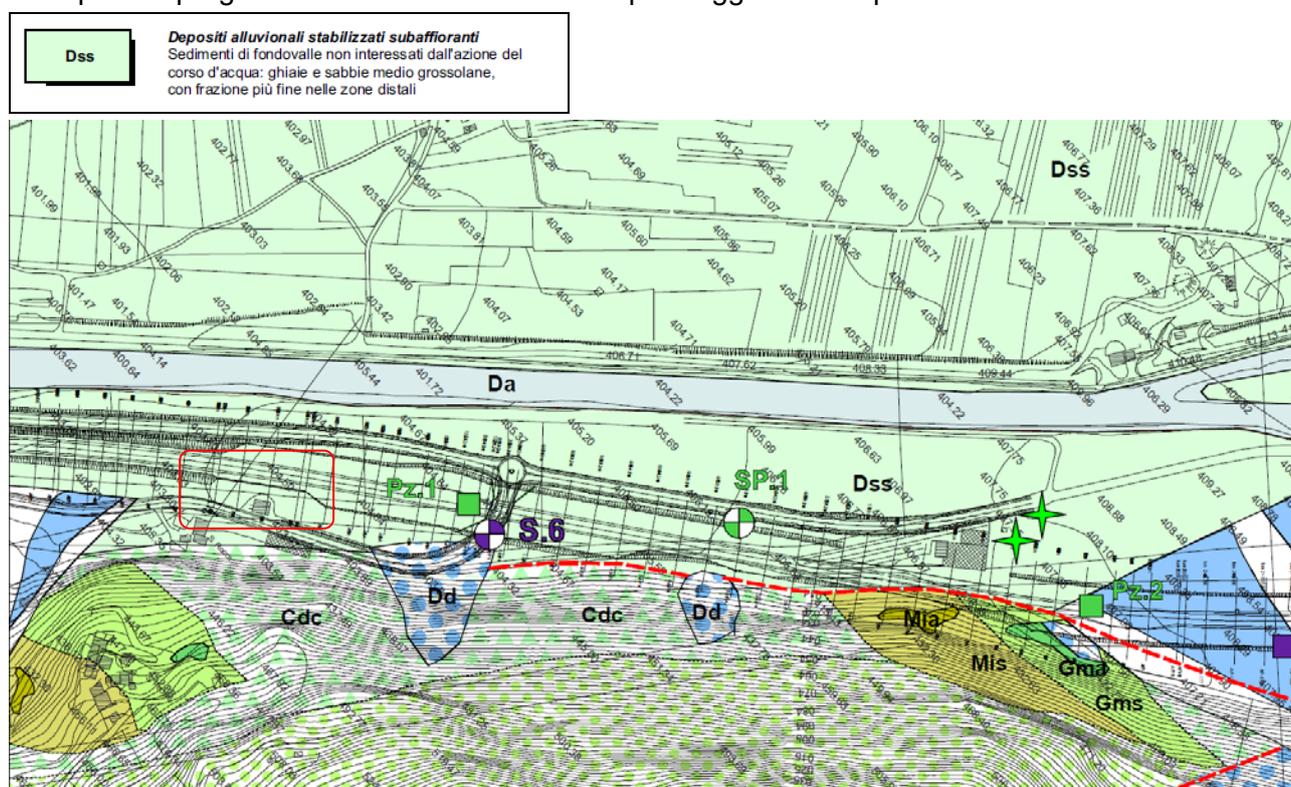


Figura 4: stralcio della carta geomorfologica con ubicazione dei sondaggi nel tratto di interesse e

Nella seguente tabella, estratta dalla Tabella 5.12 della relazione geotecnica, sono riportati per i **Depositi Alluvionali** i parametri geotecnici (Angolo di attrito φ , densità relativa DR, Modulo Elastico E, Modulo Edometrico E_d) ottenuti dalle prove SPT effettuate in foro. In particolare, per il sondaggio S.6 si ha:

- Angolo di attrito medio $\varphi = 33,42^\circ$
- Densità relativa media DR = 50,61%
- Modulo Elastico medio E = 274,58 daN/cm²
- Modulo Edometrico medio $E_d = 123,51 \text{ daN/cm}^2$

Tabella 5.12 – Alluvioni - Parametri geotecnici da prove SPT

Sondaggio	N'(60)	N(60)	Angolo di Attrito (°) φ	Valore medio per sondaggio	Densità Relativa DR (%)	Valore medio per sondaggio	Modulo Elastico E (Kg/cm ²)	Valore medio per sondaggio	Modulo edometrico Ed (Kg/cm ²)	Valore medio per sondaggio
N°	Valori Nspst Normalizzati	Valori Nspst 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 φ .

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°	φ' (°)	φ' (°)	φ'_c (°)	φ'_{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
Media valori				36,28	31,84

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 $\varphi = 28^\circ$.

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:

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

$$\Phi = 28^\circ$$

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

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

8.1 VITA NOMINALE

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

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

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

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

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

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

8.2 CLASSE D'USO

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

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

8.3 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

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

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

9 METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

⁽¹⁾ 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 γ_{G1}

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

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_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}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	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
γ_R	1,1

Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali γ_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

β_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: 46,197944

longitudine: 10,142395

Classe: 3

Vita nominale: 100

Siti di riferimento

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

Parametri sismici

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

Operatività (SLO):

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

Danno (SLD):

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

Salvaguardia della vita (SLV):

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

Prevenzione dal collasso (SLC):

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

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2018

SLD:

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

Amax: 0,634
 Beta: 0,470
SLV:
 Ss: 1,200
 Cc: 1,410
 St: 1,000
 Kh: 0,054
 Kv: 0,027
 Amax: 1,399
 Beta: 0,380

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

10 ANALISI DEI CARICHI

10.1 CARICHI PERMANENTI G₁

10.1.1 PESO PROPRIO MURO DI SOSTEGNO

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

In particolare, il peso di volume del c.a. è stato assunto pari a 25 kN/m³

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/m³ = 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 G₂

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/m³.

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/m³. Essendo lo spessore complessivo pari a 65 cm, è stato applicato un carico uniformemente distribuito sul rilevato pari a:

Peso sovrastruttura = 22 kN/m³ x 0,65 m = 14,3 kN/m².

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 kN/m³. Essendo il rivestimento del muro alto 440 cm, il carico lineare corrispondente è pari a:

Peso rivestimento = 20 kN/m³ x 0,30 m x 4,40 m = 26,4 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° e un angolo di attrito tra terreno e paramento pari a $2/3 \varphi$ ossia 23,3°.

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 kN/m² a tergo dei muri. In fase sismica tale sovraccarico è stato considerato al 20%, ossia 8 kN/m².

Il sovraccarico stradale è applicato a 3,00 m dal filo interno del paramento inclinato del muro.

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: 00DMB-06LJK-0RIRT-74UKK

Stato attivazione: 24/05/2018

11.1 VALIDAZIONI DEL CALCOLO E CASI PROVA

MDC 2018/SLOPE 2018

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

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

11.2 ANALISI DELL'OPERA DI SOSTEGNO

11.3 CALCOLO DELLA SPINTA ATTIVA CON COULOMB

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

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

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

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

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

Avendo indicato con:

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

Valori limite di K_a :

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

γ_t = Peso unità di volume del terreno;

β = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

φ = Angolo di resistenza al taglio del terreno;

δ = Angolo di attrito terra-muro;

ε = inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

H = Altezza della parete.

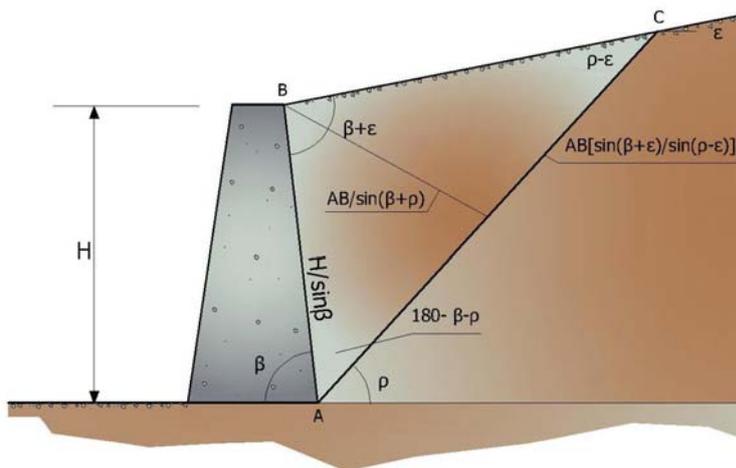


Fig. 5 Cuneo di rottura usato per la derivazione dell'equazione di Coulomb relativa alla pressione attiva.

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 ε di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo β di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità ϑ 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

β_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 β_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;

γ = 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 ϑ 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.

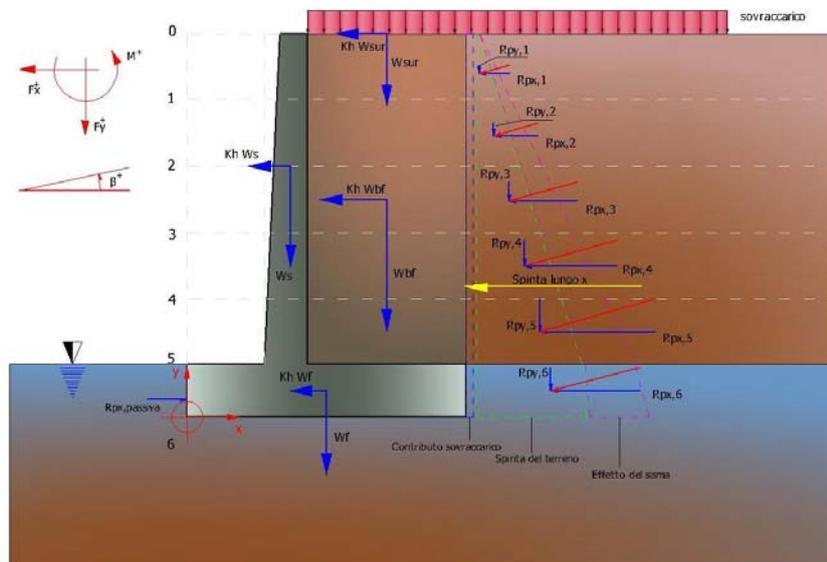


Fig. 6 Schema delle forze agenti su un muro e convenzioni sui segni

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

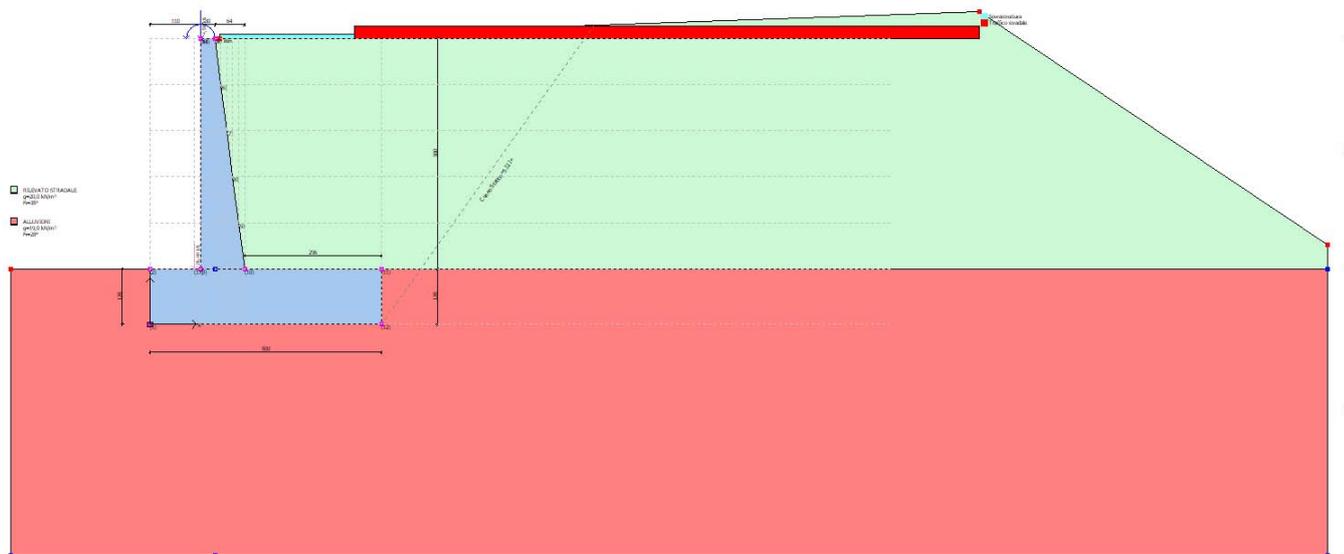


Fig. 7 Modello di calcolo

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	500,0 cm
Spessore testa muro	30,0 cm
Risega muro lato valle	0,0 cm
Risega muro lato monte	64,0 cm
Sporgenza mensola a valle	110,0 cm
Sporgenza mensola a monte	296,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	120,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	120,0 cm

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

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

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	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 ²]	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 dello strato. (°)	Peso unità di volume (KN/m ³)	Angolo di resistenza a taglio (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito terra muro (°)	Presenza di falda (Si/No)	Litologia	Descrizione
1	500	0	20,00	35	0,00	0	No		RILEVATO STRADALE
2	620	0	19,00	28	0,00	0	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	120,0	0,0	26,4	0,0
Peso cordolo	110,0	620,0	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	0,20
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	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

	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 ³);
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
620,0	520,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
520,0	420,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
420,0	320,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
320,0	220,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
220,0	120,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	

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
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	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	620,0	520,0	29,7	3,65	567,63	567,63
2	520,0	420,0	38,14	4,68	468,16	468,16
3	420,0	320,0	46,57	5,72	368,49	368,49
4	320,0	220,0	55,0	6,75	268,72	268,72
5	220,0	120,0	63,43	7,79	168,89	168,89

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
520,0	0,0	8,92	128,4	567,1
420,0	0,0	20,99	132,0	510,0
320,0	0,0	36,19	135,8	450,5

220,0	0,0	54,52	139,8	389,3
120,0	0,0	76,0	143,8	327,0

Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
520,0	29,7	16,17	15,17	42,8
420,0	67,84	32,92	63,41	55,6
320,0	114,41	53,83	154,28	68,4
220,0	169,41	78,93	296,25	81,2
120,0	232,84	108,19	497,87	94,0

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)	5Ø22 (19,01)	16,56	259,76	S	197,05	0,0	6,51
5Ø20 (15,71)	5Ø22 (19,01)	33,47	357,56	S	227,74	0,0	3,29
5Ø20 (15,71)	5Ø22 (19,01)	55,07	458,86	S	256,32	0,0	2,2
5Ø20 (15,71)	5Ø22 (19,01)	80,59	564,13	S	283,57	0,0	1,64
5Ø20 (15,71)	5Ø22 (19,01)	110,2	674,06	S	309,96	0,0	1,31

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (500,0/0,0)
 Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (500,0/632,6)
 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
632,6	620,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
620,0	520,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
520,0	420,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
420,0	320,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
320,0	220,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
220,0	120,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	0,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
---	----	----	----	-----	-----	-----	-----

35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
0,0	0,36	0,0	0,0	0,36	0,0	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	632,6	620,0	2,12	1,48	626,26	626,26
2	620,0	520,0	19,85	13,9	567,72	567,72
3	520,0	420,0	25,29	17,71	468,21	468,21
4	420,0	320,0	30,73	21,52	368,52	368,52
5	320,0	220,0	36,18	25,33	268,75	268,75
6	220,0	120,0	41,62	29,14	168,91	168,91
7	120,0	0,0	73,94	23,44	58,26	60,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

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

Sollecitazioni total i

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

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	229,73	132,52	-94,36
Carichi esterni	0,0	24,72	-23,48
Peso muro	0,0	76,0	-109,29
Peso fondazione	0,0	147,1	-367,75
Sovraccarico	0,0	282,92	-905,36
Terr. fondazione	0,0	266,03	-894,13
	229,73	929,3	-2394,37

Momento stabilizzante -2963,15 kNm
 Momento ribaltante 568,78 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	229,73 kN
Sommatoria forze verticali	929,3 kN
Coefficiente di attrito	0,53
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	929,3 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	229,73 kN
Resistenza terreno	494,12 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	1,96

Traslazione verificata Csd>1

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-2963,15 kNm
Momento ribaltante	568,78 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	4,53

Muro verificato a ribaltamento C_{sv}>1

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	229,73 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	929,3 kN
Somma momenti	-2394,37 kNm
Larghezza fondazione	500,0 cm
Lunghezza	6000,0 cm
Eccentricità su B	7,65 cm
Peso unità di volume	19,0 KN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	28,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	120,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m ³
Nq	14,72
Nc	25,8
Ng	16,72
Fattori di forma	
sq	1,04
sc	1,05
sg	0,97
Inclinazione carichi	
iq	0,58
ic	0,55
ig	0,44
Fattori di profondità	
dq	1,07
dc	1,1
dg	1,0
Carico limite verticale (Q _{lim})	2683,6 kN
Fattore sicurezza (C_{sq}=Q_{lim}/Fy)	2,06

Carico limite verificato C_{sq}>1

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	257,65 cm
Larghezza della fondazione	500,0 cm
x = 0,0 cm	168,79 kPa
x = 500,0 cm	202,93 kPa

MENSOLA A VALLE

X _{progr.}	Ascissa progressiva (cm);
F _x	Forza in direzione x (kN);
F _y	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

X _{progr.}	F _x	F _y	M	H
95,0	0,0	-135,48	-63,86	120,0
110,0	0,0	-136,32	-82,66	120,0

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

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

A _{fi}	A _{fs}	N _u	M _u	Ver.	V _{rd}	V _{wd}	Sic. VT
5Ø26 (26,55)	5Ø26 (26,55)	0,08	1142,77	S	375,52	0,0	2,72
5Ø26 (26,55)	5Ø26 (26,55)	0,08	1142,77	S	375,52	0,0	2,7

MENSOLA A MONTE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
204,0	73,94	181,85	-453,22	120,0

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

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

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
5Ø26 (26,55)	5Ø26 (26,55)	75,52	1180,07	S	386,01	0,0	2,08

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
620,0	520,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
520,0	420,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
420,0	320,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
320,0	220,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
220,0	120,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	

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
7,0	0,33	0,36	0,04	0,32	0,04	0,04	0,01
7,0	0,33	0,36	0,04	0,32	0,04	0,04	0,01
7,0	0,33	0,36	0,04	0,32	0,04	0,04	0,01
7,0	0,33	0,36	0,04	0,32	0,04	0,04	0,01
7,0	0,33	0,36	0,04	0,32	0,04	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	620,0	520,0	10,48	1,29	564,84	564,84
2	520,0	420,0	16,96	2,08	466,81	466,81
3	420,0	320,0	23,45	2,88	367,69	367,69
4	320,0	220,0	29,93	3,68	268,19	268,19
5	220,0	120,0	36,42	4,47	168,52	168,52

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
520,0	0,49	8,92	128,4	567,1
420,0	1,14	20,99	132,0	510,0
320,0	1,97	36,19	135,8	450,5
220,0	2,97	54,52	139,8	389,3
120,0	4,13	76,0	143,8	327,0

Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
520,0	10,96	14,71	6,63	42,8
420,0	28,58	28,86	26,63	55,6
320,0	52,85	46,93	68,1	68,4
220,0	83,79	68,95	137,73	81,2
120,0	121,37	94,9	242,37	94,0

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)	5Ø22 (19,01)	15,03	259,51	S	196,85	0,0	17,61
5Ø20 (15,71)	5Ø22 (19,01)	29,28	356,66	S	227,18	0,0	7,8
5Ø20 (15,71)	5Ø22 (19,01)	48,08	456,97	S	255,34	0,0	4,74
5Ø20 (15,71)	5Ø22 (19,01)	70,16	560,72	S	282,14	0,0	3,3
5Ø20 (15,71)	5Ø22 (19,01)	96,53	668,84	S	309,71	0,0	2,5

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (500,0/0,0)
 Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (500,0/632,6)
 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
632,6	620,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
620,0	520,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
520,0	420,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
420,0	320,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
320,0	220,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
220,0	120,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	0,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
35,0	0,26	0,29	0,05	0,21	0,15	0,04	0,03
35,0	0,26	0,29	0,05	0,21	0,15	0,04	0,03
35,0	0,26	0,29	0,05	0,21	0,15	0,04	0,03
35,0	0,26	0,29	0,05	0,21	0,15	0,04	0,03
35,0	0,26	0,29	0,05	0,21	0,15	0,04	0,03
35,0	0,26	0,29	0,05	0,21	0,15	0,04	0,03
0,0	0,36	0,4	0,05	0,36	0,0	0,05	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	632,6	620,0	0,62	0,43	626,19	626,19
2	620,0	520,0	7,29	5,1	565,21	565,21
3	520,0	420,0	11,47	8,03	466,96	466,96
4	420,0	320,0	15,66	10,96	367,77	367,77
5	320,0	220,0	19,84	13,89	268,24	268,24
6	220,0	120,0	24,03	16,82	168,55	168,55
7	120,0	0,0	40,35	18,03	57,55	60,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

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

Sollecitazioni total i

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

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	119,25	73,28	-93,22
Carichi esterni	0,0	30,9	-29,35
Peso muro	0,0	76,0	-109,29
Peso fondazione	0,0	147,1	-367,75
Sovraccarico	0,0	80,28	-256,9
Terr. fondazione	0,0	332,54	-1117,67
	119,25	740,1	-1974,17

Momento stabilizzante -2248,03 kNm

Momento ribaltante 273,86 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	119,25 kN
Sommatoria forze verticali	740,1 kN
Coefficiente di attrito	0,53
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	740,1 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	119,25 kN
Resistenza terreno	393,52 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	3,3
Traslazione verificata Csd>1	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-2248,03 kNm
Momento ribaltante	273,86 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	8,21
Muro verificato a ribaltamento Csv>1	

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	119,25 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	740,1 kN
Somma momenti	-1974,17 kNm
Larghezza fondazione	500,0 cm
Lunghezza 6000,0	cm
Eccentricità su B	16,74 cm
Peso unità di volume	19,0 KN/m³
Angolo di resistenza al taglio	28,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	120,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m³
Nq	14,72
Nc	25,8
Ng	16,72
Fattori di forma	
sq	1,04
sc	1,04
sg	0,97
Inclinazione carichi	
iq	0,71
ic	0,69
ig	0,6
Fattori di profondità	
dq	1,08
dc	1,1
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	3319,29 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	3,74

Carico limite verificato Csq>1

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	266,74 cm
Larghezza della fondazione	500,0 cm
x = 0,0 cm	118,28 kPa
x = 500,0 cm	177,76 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	-89,79	-41,83	120,0

110,0 0,0 -78,55 -52,47 120,0

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

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

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
5Ø26 (26,55)	5Ø26 (26,55)	0,08	1142,77	S	375,52	0,0	4,1
5Ø26 (26,55)	5Ø26 (26,55)	0,08	1142,77	S	375,52	0,0	4,69

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
204,0	40,35	52,69	-163,32	120,0

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

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

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
5Ø26 (26,55)	5Ø26 (26,55)	40,97	1163,02	S	381,08	0,0	7,09

A_unitari+M1+RSLV+Beta (+50%) [GEO]

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

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
620,0	520,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
520,0	420,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
420,0	320,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
320,0	220,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
220,0	120,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	

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
7,0	0,33	0,42	0,11	0,32	0,04	0,11	0,01
7,0	0,33	0,42	0,11	0,32	0,04	0,11	0,01
7,0	0,33	0,42	0,11	0,32	0,04	0,11	0,01
7,0	0,33	0,42	0,11	0,32	0,04	0,11	0,01
7,0	0,33	0,42	0,11	0,32	0,04	0,11	0,01

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	620,0	520,0	22,34	2,74	568,37	568,37
2	520,0	420,0	26,71	3,28	468,64	468,64
3	420,0	320,0	31,09	3,82	368,83	368,83
4	320,0	220,0	35,46	4,35	268,97	268,97
5	220,0	120,0	39,83	4,89	169,09	169,09

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
520,0	1,09	8,92	128,4	567,1
420,0	2,55	20,99	132,0	510,0
320,0	4,4	36,19	135,8	450,5
220,0	6,63	54,52	139,8	389,3
120,0	9,25	76,0	143,8	327,0

Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
520,0	23,43	16,17	12,81	42,8
420,0	51,61	31,51	50,46	55,6
320,0	84,54	50,53	119,18	68,4
220,0	122,23	73,22	223,82	81,2
120,0	164,68	99,59	369,32	94,0

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per $(x_{r1}, y_{r1}) = (500,0/0,0)$
 Piano di rottura passante per $(x_{r2}, y_{r2}) = (500,0/632,6)$
 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
632,6	620,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
620,0	520,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
520,0	420,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
420,0	320,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
320,0	220,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
220,0	120,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	0,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
35,0	0,26	0,36	0,12	0,21	0,15	0,1	0,07
35,0	0,26	0,36	0,12	0,21	0,15	0,1	0,07
35,0	0,26	0,36	0,12	0,21	0,15	0,1	0,07
35,0	0,26	0,36	0,12	0,21	0,15	0,1	0,07
35,0	0,26	0,36	0,12	0,21	0,15	0,1	0,07
35,0	0,26	0,36	0,12	0,21	0,15	0,1	0,07
0,0	0,36	0,45	0,12	0,36	0,0	0,12	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	632,6	620,0	2,49	1,51	626,29	626,28
2	620,0	520,0	20,98	12,83	569,12	568,99
3	520,0	420,0	23,2	14,39	469,2	469,1
4	420,0	320,0	25,41	15,94	369,27	369,19
5	320,0	220,0	27,63	17,49	269,33	269,26
6	220,0	120,0	29,85	19,05	169,38	169,32
7	120,0	0,0	45,05	18,03	58,51	60,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

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

Sollecitazioni total i

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

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	174,61	99,23	-7,18
Carichi esterni	0,0	30,9	-29,35
Peso muro	9,25	76,0	-79,06
Peso fondazione	17,89	147,1	-357,01
Sovraccarico	9,77	80,28	-194,64
Terr. fondazione	40,45	332,54	-963,34
	251,96	766,05	-1630,58

Momento stabilizzante -2377,79 kNm
 Momento ribaltante 747,21 kNm

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante -2377,79 kNm
 Momento ribaltante 747,21 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento C_{sv}
3,18

Muro verificato a ribaltamento C_{sv}>1

MENSOLA A VALLE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
95,0	0,0	-170,16	-82,8	120,0
110,0	0,0	-168,37	-106,21	120,0

MENSOLA A MONTE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
204,0	45,05	181,69	-476,92	120,0

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

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
 Qf Quota finale strato
 G Peso unità di volume (KN/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
620,0	520,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
520,0	420,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
420,0	320,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
320,0	220,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
220,0	120,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	

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
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0

7,0 0,33 0,0 0,0 0,32 0,04 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	620,0	520,0	30,63	3,76	567,71	567,71
2	520,0	420,0	39,06	4,8	468,2	468,2
3	420,0	320,0	47,5	5,83	368,52	368,52
4	320,0	220,0	55,93	6,87	268,74	268,74
5	220,0	120,0	64,36	7,9	168,91	168,91

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
520,0	0,0	11,6	128,4	567,1
420,0	0,0	27,28	132,0	510,0
320,0	0,0	47,04	135,8	450,5
220,0	0,0	70,88	139,8	389,3
120,0	0,0	98,8	143,8	327,0

Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
520,0	30,63	21,21	16,52	42,8
420,0	69,7	41,69	66,56	55,6
320,0	117,19	67,28	160,41	68,4
220,0	173,12	97,99	306,57	81,2
120,0	237,48	133,81	513,72	94,0

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)	5Ø22 (19,01)	21,9	260,61	S	197,73	0,0	6,33
5Ø20 (15,71)	5Ø22 (19,01)	42,31	359,46	S	228,97	0,0	3,22
5Ø20 (15,71)	5Ø22 (19,01)	68,68	462,54	S	258,23	0,0	2,16
5Ø20 (15,71)	5Ø22 (19,01)	99,64	570,35	S	286,31	0,0	1,62
5Ø20 (15,71)	5Ø22 (19,01)	136,29	684,02	S	313,68	0,0	1,3

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (500,0/0,0)
 Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (500,0/632,6)
 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
632,6	620,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
620,0	520,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
520,0	420,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
420,0	320,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
320,0	220,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
220,0	120,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	0,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
0,0	0,36	0,0	0,0	0,36	0,0	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	632,6	620,0	2,19	1,53	626,26	626,26
2	620,0	520,0	20,45	14,32	567,78	567,78
3	520,0	420,0	25,89	18,13	468,25	468,25
4	420,0	320,0	31,33	21,94	368,55	368,55
5	320,0	220,0	36,77	25,75	268,77	268,77
6	220,0	120,0	42,22	29,56	168,93	168,93
7	120,0	0,0	75,18	23,44	58,29	60,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

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

Sollecitazioni total i

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

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	234,03	134,67	-92,81

Carichi esterni	0,0	40,17	-38,15
Peso muro	0,0	98,8	-142,08
Peso fondazione	0,0	191,23	-478,07
Sovraccarico	0,0	293,22	-938,3
Terr. fondazione	0,0	432,3	-1452,97
	234,03	1190,39	-3142,39

Momento stabilizzante	-3723,8 kNm
Momento ribaltante	581,41 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	234,03 kN
Sommatoria forze verticali	1190,39 kN
Coefficiente di attrito	0,53
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	1190,39 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	234,03 kN
Resistenza terreno	632,94 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	2,46
Traslazione verificata Csd>1	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-3723,8 kNm
Momento ribaltante	581,41 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	5,57
Muro verificato a ribaltamento Csv>1	

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	234,03 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	1190,39 kN
Somma momenti	-3142,39 kNm
Larghezza fondazione	500,0 cm
Lunghezza 6000,0	cm
Eccentricità su B	13,98 cm
Peso unità di volume	19,0 KN/m³
Angolo di resistenza al taglio	28,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	120,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m³
Nq	14,72
Nc	25,8
Ng	16,72
Fattori di forma	
sq	1,04
sc	1,04
sg	0,97
Inclinazione carichi	
iq	0,66
ic	0,63
ig	0,53
Fattori di profondità	
dq	1,08
dc	1,1
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	3031,96 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	1,82

Carico limite verificato Csq>1

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	263,98 cm
Larghezza della fondazione	500,0 cm
x = 0,0 cm	198,14 kPa
x = 500,0 cm	278,02 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	-159,11	-74,41	120,0
110,0	0,0	-151,23	-95,11	120,0

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

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

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
5Ø26 (26,55)	5Ø26 (26,55)	0,08	1142,77	S	375,52	0,0	2,31
5Ø26 (26,55)	5Ø26 (26,55)	0,08	1142,77	S	375,52	0,0	2,44

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
204,0	75,18	36,4	-221,33	120,0

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

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

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
5Ø26 (26,55)	5Ø26 (26,55)	76,87	1180,73	S	386,19	0,0	10,4

Ribaltamento A1+M1+R3 [GEO]

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
620,0	520,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
520,0	420,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
420,0	320,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	

320,0	220,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0
220,0	120,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0

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
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	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	620,0	520,0	29,7	3,65	567,63	567,63
2	520,0	420,0	38,14	4,68	468,16	468,16
3	420,0	320,0	46,57	5,72	368,49	368,49
4	320,0	220,0	55,0	6,75	268,72	268,72
5	220,0	120,0	63,43	7,79	168,89	168,89

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
520,0	0,0	8,92	128,4	567,1
420,0	0,0	20,99	132,0	510,0
320,0	0,0	36,19	135,8	450,5
220,0	0,0	54,52	139,8	389,3
120,0	0,0	76,0	143,8	327,0

Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
520,0	29,7	18,42	15,99	42,8
420,0	67,84	35,17	64,38	55,6
320,0	114,41	56,08	155,39	68,4
220,0	169,41	81,18	297,5	81,2
120,0	232,84	110,44	499,27	94,0

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per $(xr1, yr1) = (500,0/0,0)$
 Piano di rottura passante per $(xr2, yr2) = (500,0/632,6)$
 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 ³);
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
632,6	620,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
620,0	520,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
520,0	420,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
420,0	320,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
320,0	220,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
220,0	120,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	0,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
0,0	0,36	0,0	0,0	0,36	0,0	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	632,6	620,0	2,12	1,48	626,26	626,26
2	620,0	520,0	19,85	13,9	567,72	567,72
3	520,0	420,0	25,29	17,71	468,21	468,21
4	420,0	320,0	30,73	21,52	368,52	368,52
5	320,0	220,0	36,18	25,33	268,75	268,75
6	220,0	120,0	41,62	29,14	168,91	168,91
7	120,0	0,0	73,94	23,44	58,26	60,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

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

Sollecitazioni total i

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

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	229,73	132,52	-94,36
Carichi esterni	0,0	26,97	-25,62

Peso muro	0,0	76,0	-109,29
Peso fondazione	0,0	147,1	-367,75
Sovraccarico	0,0	282,92	-905,36
Terr. fondazione	0,0	266,03	-894,13
	229,73	931,55	-2396,5

Momento stabilizzante	-2965,63 kNm
Momento ribaltante	569,12 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	229,73 kN
Sommatoria forze verticali	931,55 kN
Coefficiente di attrito	0,53
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	931,55 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	229,73 kN
Resistenza terreno	495,31 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	1,96

Traslazione verificata Csd>1

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-2965,63 kNm
Momento ribaltante	569,12 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	4,53

Muro verificato a ribaltamento Csv>1

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	229,73 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	931,55 kN
Somma momenti	-2396,5 kNm
Larghezza fondazione	500,0 cm
Lunghezza	6000,0 cm
Eccentricità su B	7,26 cm
Peso unità di volume	19,0 KN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	28,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	120,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m ³
Nq	14,72
Nc	25,8
Ng	16,72
Fattori di forma	
sq	1,04
sc	1,05
sg	0,97
Inclinazione carichi	
iq	0,58
ic	0,55
ig	0,44
Fattori di profondità	
dq	1,07
dc	1,1
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	2695,82 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	2,07

Carico limite verificato Csq>1

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	257,26 cm
Larghezza della fondazione	500,0 cm
x = 0,0 cm	170,08 kPa
x = 500,0 cm	202,54 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	-136,56	-64,37	120,0
110,0	0,0	-137,53	-83,34	120,0

MENSOLA A MONTE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
204,0	73,94	181,52	-453,28	120,0

Eccezionale [GEO]

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
620,0	520,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
520,0	420,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
420,0	320,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
320,0	220,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	
220,0	120,0	20,0	2,0	35,0	0,0	0,0	7,0	

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
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	0,0	0,0
7,0	0,33	0,0	0,0	0,32	0,04	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	620,0	520,0	10,48	1,29	564,84	564,84
2	520,0	420,0	16,96	2,08	466,81	466,81

3	420,0	320,0	23,45	2,88	367,69	367,69
4	320,0	220,0	29,93	3,68	268,19	268,19
5	220,0	120,0	36,42	4,47	168,52	168,52

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
520,0	0,0	8,92	128,4	567,1
420,0	0,0	20,99	132,0	510,0
320,0	0,0	36,19	135,8	450,5
220,0	0,0	54,52	139,8	389,3
120,0	0,0	76,0	143,8	327,0

Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
520,0	10,48	14,71	6,41	42,8
420,0	27,44	28,86	25,61	55,6
320,0	50,89	46,93	65,53	68,4
220,0	80,82	68,95	132,71	81,2
120,0	117,24	94,9	233,81	94,0

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per $(x_{r1}, y_{r1}) = (500,0/0,0)$
 Piano di rottura passante per $(x_{r2}, y_{r2}) = (500,0/632,6)$
 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
632,6	620,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
620,0	520,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
520,0	420,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
420,0	320,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
320,0	220,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
220,0	120,0	20,0	2,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
120,0	0,0	19,0	0,0	28,0	0,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0

35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
35,0	0,26	0,0	0,0	0,21	0,15	0,0	0,0
0,0	0,36	0,0	0,0	0,36	0,0	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	632,6	620,0	0,62	0,43	626,19	626,19
2	620,0	520,0	7,29	5,1	565,21	565,21
3	520,0	420,0	11,47	8,03	466,96	466,96
4	420,0	320,0	15,66	10,96	367,77	367,77
5	320,0	220,0	19,84	13,89	268,24	268,24
6	220,0	120,0	24,03	16,82	168,55	168,55
7	120,0	0,0	40,35	18,03	57,55	60,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

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

Sollecitazioni total i

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

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	119,25	73,28	-93,22
Carichi esterni	0,0	30,9	-29,35
Peso muro	0,0	76,0	-109,29
Peso fondazione	0,0	147,1	-367,75
Sovraccarico	0,0	80,28	-256,9
Terr. fondazione	0,0	332,54	-1117,67
	119,25	740,1	-1974,17

Momento stabilizzante -2248,03 kNm
 Momento ribaltante 273,86 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	119,25 kN
Sommatoria forze verticali	740,1 kN
Coefficiente di attrito	0,53
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	740,1 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	119,25 kN
Resistenza terreno	393,52 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	3,0
Traslazione verificata Csd>1	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-2248,03 kNm
Momento ribaltante	273,86 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	7,14
Muro verificato a ribaltamento Csv>1	

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	119,25 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	740,1 kN
Somma momenti	-1974,17 kNm
Larghezza fondazione	500,0 cm
Lunghezza	6000,0 cm
Eccentricità su B	16,74 cm
Peso unità di volume	19,0 KN/m³
Angolo di resistenza al taglio	28,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	120,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	20,0 KN/m³
Nq	14,72
Nc	25,8
Ng	16,72
Fattori di forma	
sq	1,04
sc	1,04
sg	0,97
Inclinazione carichi	
iq	0,71
ic	0,69
ig	0,6
Fattori di profondità	
dq	1,08
dc	1,1
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	3319,29 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	3,2

Carico limite verificato Csq>1

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	266,74 cm
Larghezza della fondazione	500,0 cm
x = 0,0 cm	118,28 kPa
x = 500,0 cm	177,76 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	-89,79	-41,83	120,0
110,0	0,0	-78,55	-52,47	120,0

MENSOLA A MONTE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
204,0	40,35	52,69	-163,32	120,0

Verifica fessurazione

SLE 5 [Rara]

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm²	Sigma C(+compr.) daN/cm²	SigmaC Lim daN/cm²	SigmaF Max daN/cm²
Si	0,013	--	324,685	976	Si	5,23	183,55	140,87

Si	0,051	--	378,567	1250	Si	12,98	183,55	456,27
Si	0,100	--	378,567	1250	Si	21,91	183,55	898,42
Si	0,161	--	378,567	1250	Si	31,50	183,55	1445,02
Si	0,233	--	378,567	1250	Si	41,60	183,55	2087,65

Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm ²	Sigma C(+compr.) daN/cm ²	SigmaC Lim daN/cm ²	SigmaF Max daN/cm ²
Si	0,019	--	333,926	1250	Si	3,39	183,55	192,95
Si	0,024	--	333,926	1250	Si	4,31	183,55	245,88

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm ²	Sigma C(+compr.) daN/cm ²	SigmaC Lim daN/cm ²	SigmaF Max daN/cm ²
Si	0,079	--	333,926	1250	Si	16,13	183,55	800,03

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 ²	Sigma C(+compr.) daN/cm ²	SigmaC Lim daN/cm ²	SigmaF Max daN/cm ²
Si	0,013	0,300	324,685	976	Si	5,23	183,55	140,87
Si	0,051	0,300	378,567	1250	Si	12,98	183,55	456,27
Si	0,100	0,300	378,567	1250	Si	21,91	183,55	898,42
Si	0,161	0,300	378,567	1250	Si	31,50	183,55	1445,02
Si	0,233	0,300	378,567	1250	Si	41,60	183,55	2087,65

Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm ²	Sigma C(+compr.) daN/cm ²	SigmaC Lim daN/cm ²	SigmaF Max daN/cm ²
Si	0,019	0,300	333,926	1250	Si	3,39	183,55	192,95
Si	0,024	0,300	333,926	1250	Si	4,31	183,55	245,88

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm ²	Sigma C(+compr.) daN/cm ²	SigmaC Lim daN/cm ²	SigmaF Max daN/cm ²
Si	0,079	0,300	333,926	1250	Si	16,13	183,55	800,03

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 ²	Sigma C(+compr.) daN/cm ²	SigmaC Lim daN/cm ²	SigmaF Max daN/cm ²
Si	0,009	0,200	319,213	948	Si	3,82	137,66	93,74
Si	0,035	0,200	378,567	1250	Si	9,46	137,66	313,08
Si	0,071	0,200	378,567	1250	Si	16,37	137,66	641,30
Si	0,119	0,200	378,567	1250	Si	24,11	137,66	1065,65
Si	0,176	0,200	378,567	1250	Si	32,53	137,66	1581,47

Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm ²	Sigma C(+compr.) daN/cm ²	SigmaC Lim daN/cm ²	SigmaF Max daN/cm ²
Si	0,016	0,200	333,926	1250	Si	2,90	137,66	165,45
Si	0,021	0,200	333,926	1250	Si	3,67	137,66	209,04

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm ²	Sigma C(+compr.) daN/cm ²	SigmaC Lim daN/cm ²	SigmaF Max daN/cm ²
Si	0,061	0,200	333,926	1250	Si	12,65	137,66	620,63

SLD [Frequente]

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm ²	Sigma C(+compr.) daN/cm ²	SigmaC Lim daN/cm ²	SigmaF Max daN/cm ²
Si	0,008	0,300	318,013	942	Si	3,61	183,55	86,64
Si	0,032	0,300	378,567	1250	Si	8,85	183,55	288,69
Si	0,066	0,300	378,567	1250	Si	15,31	183,55	592,79
Si	0,110	0,300	378,567	1250	Si	22,56	183,55	987,18
Si	0,163	0,300	378,567	1250	Si	30,47	183,55	1467,62

Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm ²	Sigma C(+compr.) daN/cm ²	SigmaC Lim daN/cm ²	SigmaF Max daN/cm ²
Si	0,018	0,300	333,926	1250	Si	3,22	183,55	183,47
Si	0,023	0,300	333,926	1250	Si	4,07	183,55	232,08

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm ²	Sigma C(+compr.) daN/cm ²	SigmaC Lim daN/cm ²	SigmaF Max daN/cm ²
Si	0,075	0,300	333,926	1250	Si	15,07	183,55	767,29

12.1 ANALISI DI STABILITA'

Definizione

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

Introduzione all'analisi di stabilità

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

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

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

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la

resistenza disponibile (τ_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.

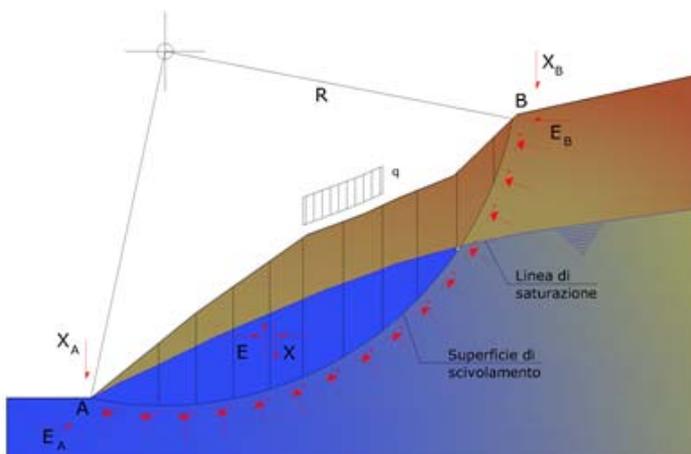


Fig. 8 Metodo equilibri limite

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.

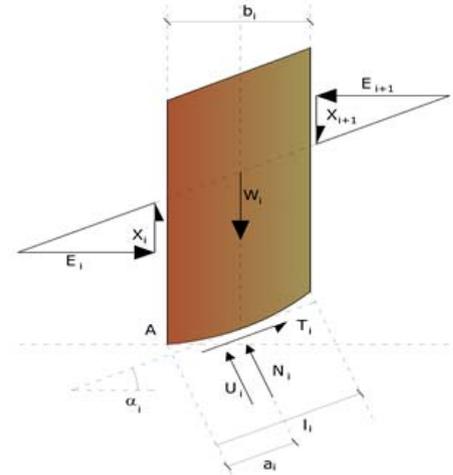
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le (n-2) indeterminazioni.

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:

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

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



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

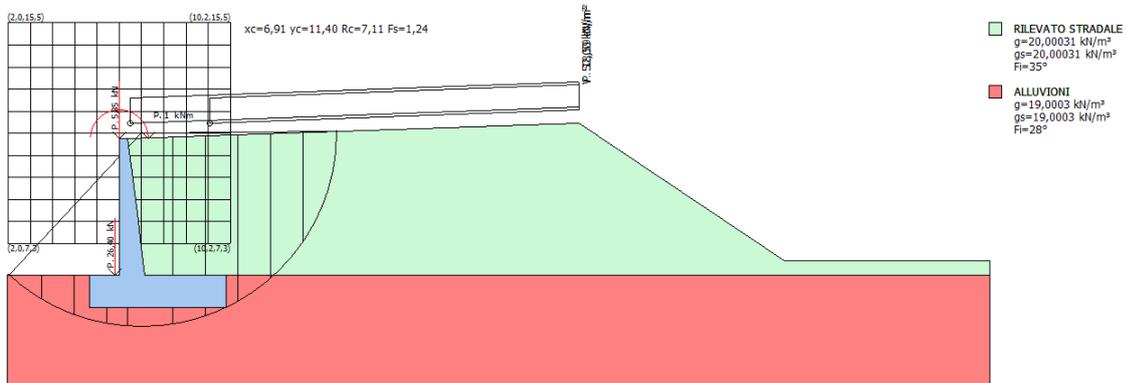


Fig. 9 Modello di calcolo in condizioni statiche

Analisi di stabilità in condizioni statiche dei pendii con: BISHOP (1955)

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

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2,04 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	7,34 m
Ascissa vertice destro superiore xs	10,16 m
Ordinata vertice destro superiore ys	15,46 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	6,2
2	5,0	6,2
3	6,1	6,2
4	6,4	11,2
5	6,4	11,2
6	22,9	11,78
7	30,4	6,72
8	37,9	6,72

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	2,0	6,2
2	6,4	6,2
3	37,9	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 ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m ³)	Peso saturo (kN/m ³)	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	6,2	0	26,40042	0
2	6,1	11,2	0	5,850093	0,884014

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m ²)
----	--------	--------	--------	--------	-------------------------------------

1	9,4	11,78	22,9	12,25143	52,00083
2	6,5	11,78	22,9	12,3527	18,59029

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1,24
Ascissa centro superficie	6,91 m
Ordinata centro superficie	11,4 m
Raggio superficie	7,11 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 = 6,911 yc = 11,40 Rc = 7,111 Fs=1,238

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m ²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1,2	-37,0	1,5	11,35	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	19,2	6,6
2	1,2	-25,6	1,33	27,74	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	36,8	12,6
3	1,2	-15,2	1,24	37,8	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	43,2	14,8
4	0,75	-7,2	0,76	58,71	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	61,9	21,3
5	1,64	2,5	1,64	253,08	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	249,6	85,7
6	1,2	14,1	1,23	182,26	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	173,0	59,4
7	1,2	24,4	1,31	227,55	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	216,2	74,3
8	1,2	35,6	1,47	221,41	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	218,6	75,1
9	1,2	48,9	1,82	197,46	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	197,8	89,5
10	1,2	73,4	4,19	146,73	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	204,0	92,3

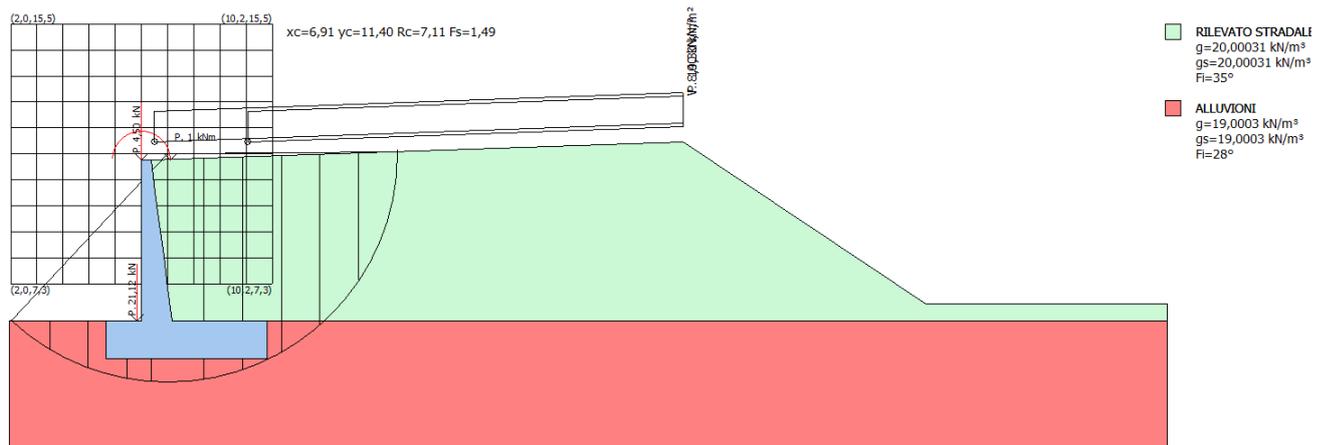


Fig. 10 Modello di calcolo in condizioni sismiche

Analisi di stabilità in condizioni sismiche dei pendii con: BISHOP (1955)

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

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

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2,04 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	7,34 m
Ascissa vertice destro superiore xs	10,16 m
Ordinata vertice destro superiore ys	15,46 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	6,2
2	5,0	6,2
3	6,1	6,2
4	6,4	11,2
5	6,4	11,2
6	22,9	11,78
7	30,4	6,72
8	37,9	6,72

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	2,0	6,2
2	6,4	6,2
3	37,9	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 ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio	Peso unità di volume (kN/m ³)	Peso saturo (kN/m ³)	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	6,2	0	21,12034	0
2	6,1	11,2	0	4,500072	0,6800108

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m²)
1	9,4	11,78	22,9	12,25143	8
2	6,5	11,78	22,9	12,3527	14,30023

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1,49
Ascissa centro superficie	6,91 m
Ordinata centro superficie	11,4 m
Raggio superficie	7,11 m

xc = 6,911 yc = 11,40 Rc = 7,111 Fs=1,487

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1,2	-37,0	1,5	11,35	0,61	0,31	0,0	28,0	0,0	19,4	6,9
2	1,2	-25,6	1,33	27,74	1,5	0,75	0,0	28,0	0,0	37,1	13,3
3	1,2	-15,2	1,24	37,8	2,04	1,02	0,0	28,0	0,0	43,4	15,5
4	0,75	-7,2	0,76	52,08	2,81	1,41	0,0	28,0	0,0	55,0	19,6
5	1,64	2,5	1,64	246,47	13,31	6,65	0,0	28,0	0,0	242,9	86,8
6	1,2	14,1	1,23	177,13	9,56	4,78	0,0	28,0	0,0	167,6	59,9
7	1,2	24,4	1,31	176,95	9,56	4,78	0,0	28,0	0,0	167,2	59,8
8	1,2	35,6	1,47	163,65	8,84	4,42	0,0	28,0	0,0	160,3	57,3
9	1,2	48,9	1,82	139,7	7,54	3,77	0,0	35,0	0,0	138,1	65,0
10	1,2	73,4	4,19	93,81	5,07	2,53	0,0	35,0	0,0	127,3	59,9