

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: <b>GA&amp;M</b>  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
--	--	--	---

<p>IP01</p>	<p><b>I - PROGETTO STRUTTURALE - OPERE D'ARTE MINORI</b> <b>IO - MURO TIRANO-TIRANO CENTRO</b> RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</p>
-------------	---

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG. MI324      E      1801	IP01 - P00OS04STRRE01_B.dwg		
	CODICE ELAB.      P00OS04STRRE01	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	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	2
3	DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	3
4	UBICAZIONE DELL'OPERA.....	5
5	UNITA' DI MISURA .....	6
6	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	6
6.1	Calcestruzzo.....	6
6.1.1	Calcestruzzo per opere di sottofondazione .....	6
6.1.2	Calcestruzzo per STRUTTURE IN C.A. ....	6
6.1.3	Caratteristiche del calcestruzzo ai fini della durabilità .....	7
6.1.4	Verifiche allo stato limite di apertura delle fessure .....	7
6.1.5	Copriferro .....	8
6.2	Acciaio.....	8
6.2.1	Acciaio per barre di armatura lenta .....	8
6.2.2	Acciaio da carpenteria per profilati tubolari (micropali) S355 H.....	9
7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	9
8	VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO.....	12
8.1	Vita nominale.....	12
8.2	Classe d'uso .....	12
8.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	12
8.4	Metodo di analisi in condizioni sismiche .....	12
9	ANALISI DEI CARICHI.....	14
9.1	Carichi Permanenti g1 .....	14
9.1.1	Peso proprio muro di sostegno .....	15
9.2	Carichi Permanenti non strutturali G2 .....	15
9.2.1	Peso del rilevato stradale .....	15
9.2.2	Spinta del terreno in condizioni statiche.....	15
9.3	Azioni Variabili Q .....	15
9.3.1	Azioni variabili da traffico stradale.....	15
10	VERIFICHE DI STABILITÀ DEI TRATTI CON TERRAMESH .....	15
11	PROGRAMMI PER L'ANALISI DELLA FONDAZIONE.....	28
11.1	VALIDAZIONI DEL CALCOLO E CASI PROVA .....	29
12	ANALISI DELL'OPERA DI SOSTEGNO .....	29
12.1	Calcolo della spinta attiva con Coulomb .....	29
12.2	Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe .....	30
12.3	Carico uniforme sul terrapieno.....	31
12.4	Spinta attiva in condizioni sismiche .....	31
12.5	Carico limite di fondazioni superficiali su terreni .....	32
13	RISULTATI DELLE VERIFICHE .....	34
14	ANALISI DI STABILITA' DELLA FONDAZIONE .....	57
15	ANALISI DI STABILITA' DURANTE LE FASI DI SCAVO .....	71

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione è inserita nell'ambito del Progetto Esecutivo 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).

In particolare, nel presente documento si affrontano le problematiche progettuali connesse al dimensionamento ed alla verifica delle opere in terra rinforzata comprese fra le progressive km 3+745.35 e km 4+212.78 dell'asse principale, applicate per una lunghezza di 470.00 metri circa.

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

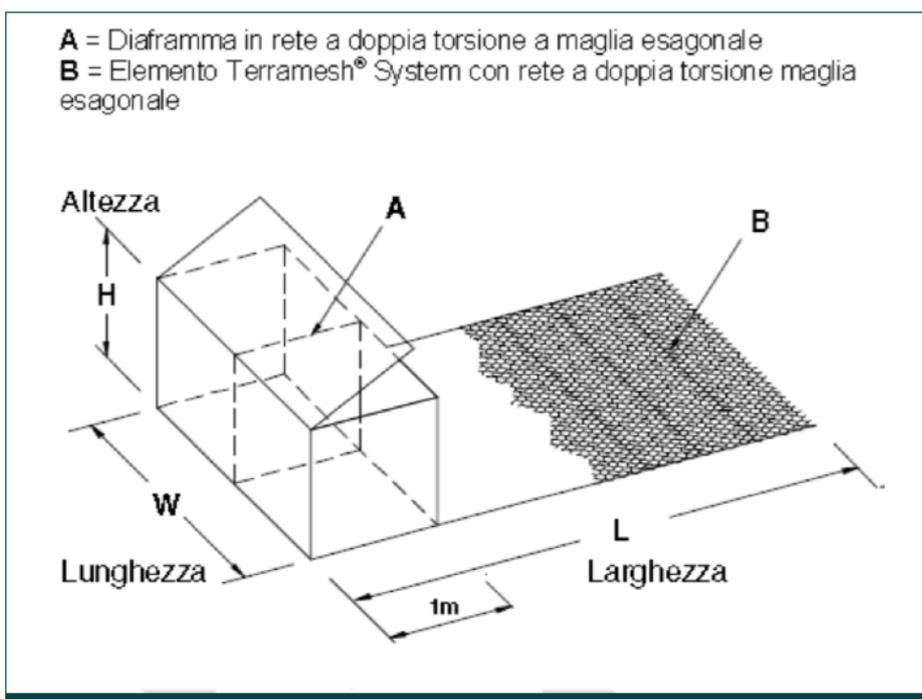
- **Legge 05/01/1971 n.1086** → Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- **Legge 02/02/1974 n. 64** → Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- **DM 17/01/2018** → Nuove Norme Tecniche 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**
- **Decreto Ministeriale LL.PP. 11/03/1988** – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- **Circolare LL.PP. 24/09/1988 n.30483 – L.2.2.1974, n.64 - art.1** – Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/03/1988.

### 3 DESCRIZIONE DELLE OPERE

La realizzazione delle terre rinforzate, a sostegno del rilevato stradale, è prevista nel tratto compreso tra le Progressive 3+745.35 e km 4+212.78.

Poiché in questo tratto la strada si sviluppa a mezzacosta, a ridosso di un pendio molto acclive, risulta necessario prevedere la realizzazione di terre rinforzate per le quali, nel caso particolare, si ricorre al Terramesh System, che è da decenni ampiamente impiegato e collaudato.

Il Terramesh System è un sistema modulare utilizzato per le applicazioni in terra rinforzata come stabilizzatore meccanico di muri e pendii; esso è fabbricato in rete metallica a doppia torsione, a maglia esagonale protetto in lega eutettica di zinco-alluminio con ulteriore rivestimento in PVC. La parte a vista dell'elemento è formata dalla connessione del pannello di rete e dei 2 diaframmi, posti ad interasse di 1m, con l'unità principale. Questo crea delle celle utilizzate per il confinamento delle pietre di riempimento. Gli elementi sono forniti già a misura senza richiedere ulteriori tagli in cantiere.



Il filo deve avere le seguenti caratteristiche:

- *Resistenza a trazione:* i fili utilizzati per la produzione della maglia e del filo di legatura, dovranno avere una resistenza a trazione di 350-550 N/mm<sup>2</sup>, in conformità a quanto previsto dalla UNI-EN 10223-3:2013. Le tolleranze sul filo sono in accordo alla UNI-EN 10218 (Classe T1).
- *Allungamento:* L'allungamento non deve essere inferiore al 10% conformemente alle UNI-EN 10223-3:2013. I test devono essere effettuati su di un campione lungo almeno 25 cm. 3.

- *Rivestimento Galmac*: le quantità minime di Galmac soddisfano le disposizioni della UNI-EN 10244-2 (Classe A).
- *Aderenza del Galmac*: l'aderenza del rivestimento Galmac dovrà essere tale che, quando il filo è attorcigliato sei volte attorno ad un mandrino avente il diametro di 4 volte maggiore, non si crepi o non si sfaldi sfregandolo con le dita, in accordo a UNI EN 10244.
- *Resistenza alla prova di invecchiamento* accelerato in ambiente a condensazione generale di umidità, contenente anidride solforosa (28 cicli) secondo UNI EN ISO 6988 (senza mostrare segni di ruggine rossa).

Nel caso in esame si adotta il seguente schema, visualizzato nelle figure seguenti:

SEZIONE 245  
 SCALA 1:100

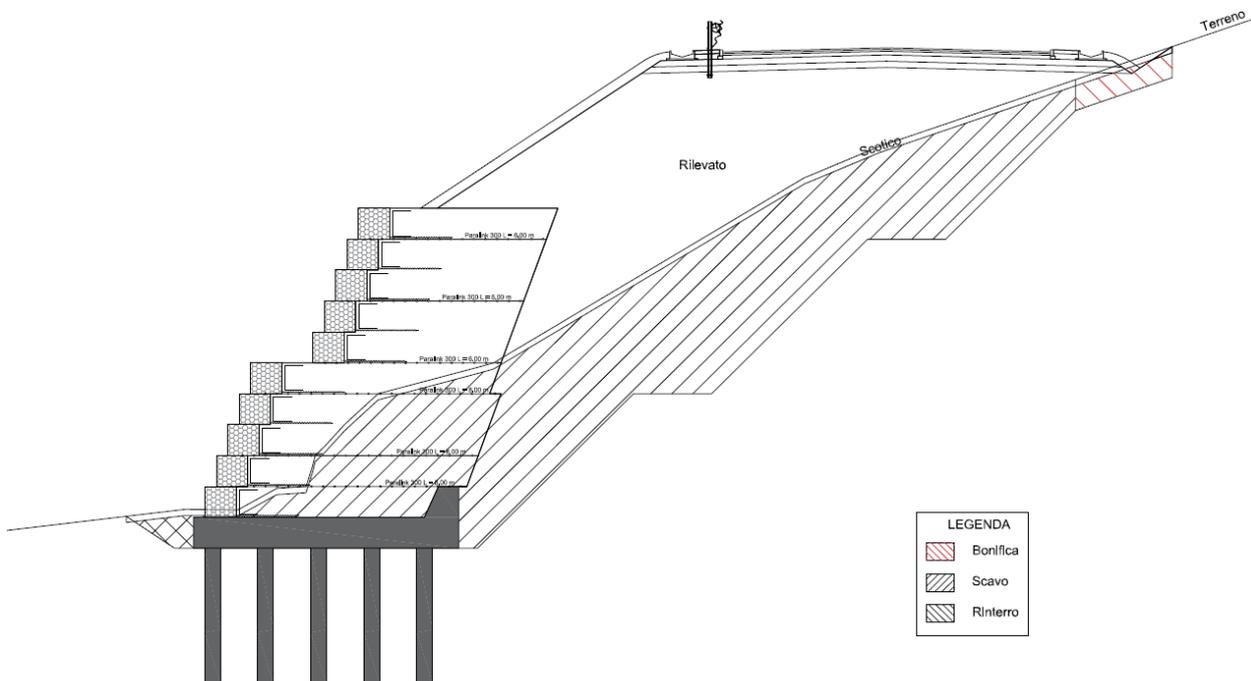


Fig. 1 Sezione tipo terra rinforzata

- realizzazione di una platea di fondazione ("BASE") dello spessore di 100 cm e della larghezza di 850 cm poggiate su micropali trivellati di diametro  $\varnothing=250$  mm, armati con profilati in acciaio S 355 H di diametro  $\varnothing=159$  mm e spessore  $s=10$  mm, posti a interasse trasversale di 1,70 m e a interasse longitudinale variabile fino ad un massimo di 1,70 m. La lunghezza dei micropali è pari a 7,00 m; i tubi sono valvolati con interasse delle valvole pari a 50 cm e con lunghezza della parte valvolata pari a 5,50 m. A vantaggio di sicurezza si considera la presenza dei micropali solo nelle verifiche di stabilità dell'opera.

- realizzazione del primo strato di blocchi di Terramesch di altezza complessiva pari a 1,00 m costituito da n. 2 blocchi di altezza cadauno 0,50 m o n. 1 blocco standard di altezza 1,00 m;
- posa in opera di teli di geogriglia tipo Paralink 300 della lunghezza di 6/8 metri, con resistenza a trazione non inferiore a 309 kN/m tra il primo strato ed il secondo strato di blocchi di Terramesch. Le geogriglie Paralink sono strutture piane realizzate da un sistema monoassiale di nastri. I nastri risultano costituiti da un nucleo di filamenti in poliestere ad alta tenacità, perfettamente allineati ed inguainati in un rivestimento protettivo in polietilene. L'allineamento dei nastri viene quindi realizzato collegandoli tra di loro mediante delle strisce in polietilene, aventi esclusivamente una funzione di assemblaggio e non caratterizzati da alcuna specifica resistenza meccanica nella direzione trasversale. Si riporta la tabella con le principali proprietà della geogriglia Paralink 300.

PARALINK		200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1600
<b>Proprietà meccaniche</b>														
UTS - Resistenza a trazione longitudinale *	kN/m	206	309	412	515	612	721	826	927	1038	1133	1236	1339	1648
Tolleranza *		-5	-8	-10	-13	-9	-17	-22	-22	-25	-27	-30	-32	-40
Resistenza a trazione su singolo nastro longitudinale (valore nominale)	kN	36	54	72	90	108	126	120	112.5	126	110	120	130	160
Deformazione a rottura - longitudinale *	%	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	9.5
<b>Proprietà fisiche</b>														
Polimero della componente strutturale dei nastri		PET	PET	PET	PET	PET	PET							
Polimero del rivestimento protettivo		PE	PE	PE	PE	PE	PE							
Spessore singolo nastro	mm	1.4	1.8	2.4	3.0	3.8	4.2	3.8	3.8	4.2	3.8	3.8	4.3	4.5
Larghezza dei nastri longitudinali	mm	85	88	90	90	90	91	91	91	91	91	91	91	91
Dimensione della maglia	cm	100x18	100x18	100x18	100x18	100x18	100x18	100x15	100x12.5	100x12.5	100x10	100x10	100x10	100x10
Lunghezza del rotolo	m	200	200	150	130	100	50	50	50	50	50	50	50	50
Ampiezza del rotolo	m	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Daimetro del rotolo (valore nominale)	m	0.70	0.70	0.75	0.75	0.70	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.52	0.55
Peso del rotolo (valore nominale)	kg	590	770	750	780	750	480	550	600	660	710	790	860	980

- realizzazione dei successivi strati con blocchi di Terramesh, previa posa dei teli di geogriglia della lunghezza di 6/8 m tra i vari strati; tutti i blocchi hanno altezza standard pari a 0,50 e/o 1,00 m;
- Contemporaneamente alla costruzione dei blocchi si realizzerà il rilevato stradale, dopo aver asportato la copertura detritica nel tratto interessato ed effettuato un rivestimento del fronte scavo mediante geocomposito drenante.

#### 4 UBICAZIONE DELL'OPERA

Le terre armate fra le progressive km 3+745,35 e km 4+212,78 dell'asse principale sono ubicate planimetricamente come mostrato nell'immagine successiva:

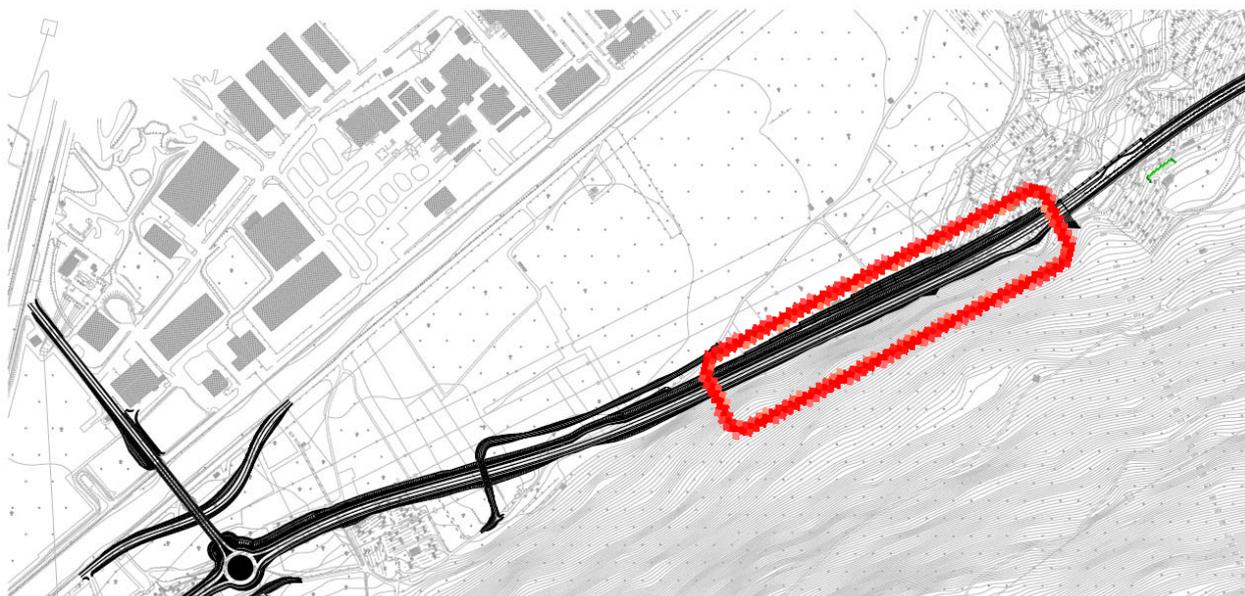


Fig. 2 Ubicazione dell'opera

## 5 UNITA' DI MISURA

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

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

## 6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 6.1 CALCESTRUZZO

#### 6.1.1 CALCESTRUZZO PER OPERE DI SOTTOFONDAZIONE

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

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

#### 6.1.2 CALCESTRUZZO PER STRUTTURE IN C.A.

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

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

### 6.1.3 CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO AI FINI DELLA DURABILITÀ

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

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

#### Calcestruzzo fondazioni e elevazioni:

- Classe di esposizione           XF3
- Classe di resistenza caratteristica a compressione: C30/37
- Dimensione max aggregati: 32 mm
- Classe minima di consistenza: S4
- Copriferro minimo: 50 mm

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

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

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

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

Per le opere della presente relazione si adotta la CLASSE DI ESPOSIZIONE XF3.

Pertanto, nel caso in esame si ha:

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

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

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

### 6.1.5 COPRIFERRO

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

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

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

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

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

## 6.2 ACCIAIO

### 6.2.1 ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA LENTA

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

- $f_{t,k}$  = 540,00 MPa (resistenza caratteristica a rottura)
- $f_{y,k}$  = 450,00 MPa (tensione caratteristica di snervamento)

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

## 6.2.2 ACCIAIO DA CARPENTERIA PER PROFILATI TUBOLARI (MICROPALI) S355 H

- tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$
- tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$
- modulo di elasticità:  $E = 210000 \text{ MPa}$
- coefficiente di Poisson:  $\nu = 0.30$
- Resistenza di calcolo acciaio:  $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$
- con:  $\gamma_s = 1.05$  per SLU
- $\gamma_s = 1.0$  per SLE

*Stati limite:*

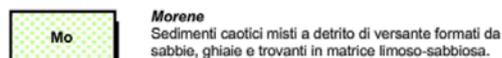
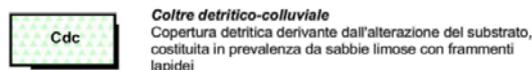
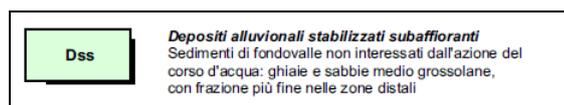
resistenza caratteristica di calcolo SLU:  $f_{yd} = 338.10 \text{ MPa}$

resistenza caratteristica di calcolo SLE:  $f_{yd} = 450.00 \text{ MPa}$

## 7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

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





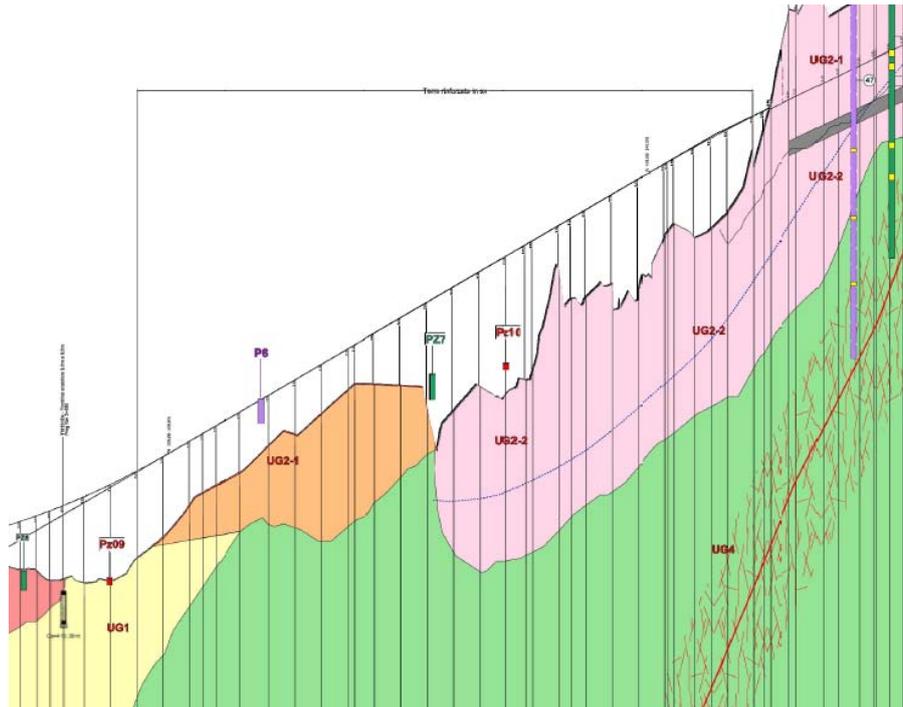


Figura 4b: stralcio del profilo geotecnico

LEGENDA																										
UG1		<p><b>Depositi alluvionali recenti (a) e stabilizzati (b)</b>            Sedimenti di fondovalle non interessati dalla azione del corso d'acqua: ghiaie e sabbie medio-grossolane, con frazione fine nelle zone distali  <i>Permeabilità medio-alta</i> (Primaria per porosità)</p>																								
		<p>Peso di volume <math>\gamma = 19 \text{ kN/m}^3</math>            Angolo di attrito <math>\phi' = 36^\circ</math>            Coesione <math>C' = 0 \text{ kN/m}^2</math>            Densità relativa <math>D_r = 66 \%</math>            Modulo elastico <math>E = 431 \text{ MPa}</math></p>																								
UG2-1		<p><b>Deposito gravitativo di versante</b>            Sedimenti caotici formati da ghiaie e sabbie medio-grossolane in matrice limoso-sabbiosa  <i>Permeabilità medio-alta</i> (Primaria per porosità)</p>																								
		<p><b>Copertura detritico-colluviale</b>            Copertura detritica derivante dall'alterazione del substrato, costituita in prevalenza da sabbie limose con frammenti lapidei  <i>Permeabilità media</i> (Primaria per porosità)</p>																								
		<p><b>Conoide di diluvazione</b>            Depositi detritici mediamente addensati a granulometria prevalentemente grossolana ghiaioso-sabbiosa in scarsa matrice limosa  <i>Permeabilità primaria (per porosità) medio-alta</i></p>																								
UG2-2		<p><b>Morene</b>            Sedimenti caotici misti a detrito di versante formati da sabbie, ghiaie e trovanti in matrice limoso-sabbiosa.  <i>Permeabilità media</i> (Primaria per porosità)</p>																								
		<p>Peso di volume <math>\gamma = 20 \text{ kN/m}^3</math>            Angolo di attrito <math>\phi' = 33^\circ</math>            Coesione <math>C' = 0 \text{ kN/m}^2</math>            Densità relativa <math>D_r = 48 \%</math>            Modulo elastico <math>E = 214 \text{ MPa}</math></p>																								
UG4		<p><b>Gneiss di Monte Tonale</b>            Gneiss e biotite e sillimanite localmente graniferi, scissosità media, con giunti generalmente chiusi e superficiali poco alterate. <i>Permeabilità secondaria. Medio-bassa</i> (zone integre meno fratturate) <i>Medio-alta</i> (zone più fratturate)</p>																								
		<p><b>Pegmatiti</b>            Inclusioni nell'ambito dei Gneiss di M. Tonale di filoni quarzifici e gneiss pegmatitici generalmente molto fratturati <i>Permeabilità secondaria. Medio-bassa</i> (zone integre meno fratturate) <i>Medio-alta</i> (zone più intensamente fratturate)</p>																								
		<p><b>Micasisti della Cima Rovale</b>            Filled e micasisti muscovitici nodulari, mediamente fratturati ed alterati. <i>Permeabilità secondaria (per fratturazione.) Medio-bassa</i> (zone integre meno fratturate) <i>Medio-alta</i> (zone più intensamente fratturate)</p>																								
		<p><b>Parametri dell'ammasso roccioso</b></p> <table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>Classe III</b></td> </tr> <tr> <td>Peso di volume</td> <td><math>\gamma = 27,7 \text{ kN/m}^3</math></td> </tr> <tr> <td>Angolo di attrito</td> <td><math>\phi' = 64^\circ + 67^\circ</math></td> </tr> <tr> <td>Coesione</td> <td><math>C' = 0,89 + 1,5 \text{ MPa}</math></td> </tr> <tr> <td>Modulo elastico</td> <td><math>E = 23743 + 32647 \text{ MPa}</math></td> </tr> <tr> <td>UCS</td> <td><math>\sigma' = 60 + 110 \text{ MPa}</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Classe IV</b></td> </tr> <tr> <td>Peso di volume</td> <td><math>\gamma = 27,7 \text{ kN/m}^3</math></td> </tr> <tr> <td>Angolo di attrito</td> <td><math>\phi' = 62^\circ + 64,6^\circ</math></td> </tr> <tr> <td>Coesione</td> <td><math>C' = 0,337 + 0,432 \text{ MPa}</math></td> </tr> <tr> <td>Modulo elastico</td> <td><math>E = 5390 + 8775 \text{ MPa}</math></td> </tr> <tr> <td>UCS</td> <td><math>\sigma' = 43 + 70 \text{ MPa}</math></td> </tr> </table>	<b>Classe III</b>		Peso di volume	$\gamma = 27,7 \text{ kN/m}^3$	Angolo di attrito	$\phi' = 64^\circ + 67^\circ$	Coesione	$C' = 0,89 + 1,5 \text{ MPa}$	Modulo elastico	$E = 23743 + 32647 \text{ MPa}$	UCS	$\sigma' = 60 + 110 \text{ MPa}$	<b>Classe IV</b>		Peso di volume	$\gamma = 27,7 \text{ kN/m}^3$	Angolo di attrito	$\phi' = 62^\circ + 64,6^\circ$	Coesione	$C' = 0,337 + 0,432 \text{ MPa}$	Modulo elastico	$E = 5390 + 8775 \text{ MPa}$	UCS	$\sigma' = 43 + 70 \text{ MPa}$
<b>Classe III</b>																										
Peso di volume	$\gamma = 27,7 \text{ kN/m}^3$																									
Angolo di attrito	$\phi' = 64^\circ + 67^\circ$																									
Coesione	$C' = 0,89 + 1,5 \text{ MPa}$																									
Modulo elastico	$E = 23743 + 32647 \text{ MPa}$																									
UCS	$\sigma' = 60 + 110 \text{ MPa}$																									
<b>Classe IV</b>																										
Peso di volume	$\gamma = 27,7 \text{ kN/m}^3$																									
Angolo di attrito	$\phi' = 62^\circ + 64,6^\circ$																									
Coesione	$C' = 0,337 + 0,432 \text{ MPa}$																									
Modulo elastico	$E = 5390 + 8775 \text{ MPa}$																									
UCS	$\sigma' = 43 + 70 \text{ MPa}$																									

Figura 4c: caratteristiche geotecniche dei litotipi interessati dalle terre rinforzate

## 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.

### 8.4 METODO DI ANALISI IN CONDIZIONI SISMICHE

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

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

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

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

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

dove

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

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

$\gamma$  = accelerazione di gravità.

L'accelerazione massima è stata valutata con la relazione

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

dove

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

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

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

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

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

Nel caso in questione si ha:

Sito in esame.

latitudine: 46,200204

longitudine: 10,146724

Classe: 3

Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 9166 Lat: 46,1879 Lon: 10,1019 Distanza: 3709,373

Sito 2 ID: 9167 Lat: 46,1899 Lon: 10,1739 Distanza: 2386,714

Sito 3 ID: 8945 Lat: 46,2398 Lon: 10,1711 Distanza: 4788,401

Sito 4 ID: 8944 Lat: 46,2379 Lon: 10,0990 Distanza: 5569,498

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 150 anni

Coefficiente  $c_u$ : 1,5

**Operatività (SLO):**

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 90 [anni]

ag: 0,043 g

Fo: 2,543

Tc\*: 0,227 [s]

### Danno (SLD):

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

### Salvaguardia della vita (SLV):

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

### Prevenzione dal collasso (SLC):

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

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2018

#### SLD:

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

#### SLV:

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

## 9 ANALISI DEI CARICHI

### 9.1 CARICHI PERMANENTI G1

### 9.1.1 PESO PROPRIO MURO DI SOSTEGNO

Il peso proprio è calcolato in automatico dal software in funzione dei pesi di volume inseriti nel database e alla reale geometria degli elementi. In particolare, il peso di volume del c.a. è stato assunto pari a 25 kN/m<sup>3</sup>

## 9.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI G2

### 9.2.1 PESO DEL RILEVATO STRADALE

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

In particolare, il peso di volume del materiale costituente il rilevato è stato assunto pari a 20 kN/m<sup>3</sup>.

### 9.2.2 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 tra terreno e paramento pari a  $2/3 \varphi$  ossia  $24^\circ$ .

## 9.3 AZIONI VARIABILI Q

### 9.3.1 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO STRADALE

Nel calcolo si è considerato per le condizioni statiche un sovraccarico accidentale stradale pari a 20 kN/m<sup>2</sup> a tergo dei muri. In fase sismica tale sovraccarico è stato considerato al 20%, ossia 4 kN/m<sup>2</sup>.

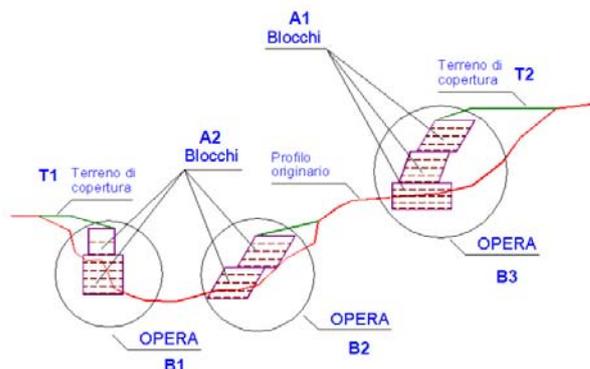
## 10 VERIFICHE DI STABILITÀ DEI TRATTI CON TERRAMESH

Per le verifiche di stabilità dei tratti con Terramesch è stato impiegato il programma dedicato MacStar W4.

Il *Programma Mac Stars W 4* consente la verifica della stabilità di opere in terra rinforzata, cioè di strutture atte al contenimento o alla stabilizzazione di scarpate, mediante la presenza di elementi di rinforzo capaci di assorbire sforzi di trazione. Peraltro è possibile eseguire verifiche di stabilità in assenza di rinforzi secondo i metodi classici dell'equilibrio limite.

*Pendio originale*: profilo del terreno originario, prima del progetto dei rinforzi.

*Opera di rinforzo*: sequenza continua di strutture di rinforzo chiamate blocchi; un pendio può comprendere quindi più opere (opere A1 e A2); l'opera può prevedere superiormente un terreno di copertura.



**Terreno di copertura:** profilo del terreno posto al di sopra dell'opera per raccordare l'opera con un'opera sovrastante oppure per raccordare l'opera con il pendio originale (T1 e T2)

**Blocco:** struttura singola di rinforzo costituita dal rilevato strutturale, dagli elementi di rinforzo, dal terreno di riempimento a tergo, dalla presenza o meno dei gabbioni sul paramento (B1, B2, B3)

**Rilevato strutturale:** terreno che costituisce i blocchi, deposto a strati tra i rinforzi, compattato meccanicamente per migliorarne le proprietà meccaniche e di resistenza.

**Riempimento a tergo:** eventuale terreno posto a riempimento dello spazio tra il blocco ed il pendio originale (se presente)

**Rinforzo:** elemento resistente a trazione in virtù dell'attrito con il terreno, disposto lungo piani di posa orizzontali; può essere principale ed in tal caso è dotato di risvolto sul lato di valle oppure secondario posto tra il risvolto del principale sottostante ed il principale sovrastante; il secondario è sempre più lungo del primario

**Paramento:** lato libero del blocco posto sul lato di valle

**Gabbioni:** struttura in pietrame che costituisce il paramento utilizzato con funzione di drenaggio o antierosione, oppure per dare al paramento stesso maggiore rigidità qualora si voglia ottenere una parete prossima alla verticale

**Risvolto:** parte del rinforzo principale rientrante superiormente nel rilevato per una lunghezza che può essere 50-100 cm

**Ancoraggio:** lunghezza del rinforzo esterna alla superficie di rottura

**Sfilamento:** raggiungimento delle condizioni di massima aderenza del rinforzo nel tratto ancorato o nel tratto interno alla porzione di terreno instabile.

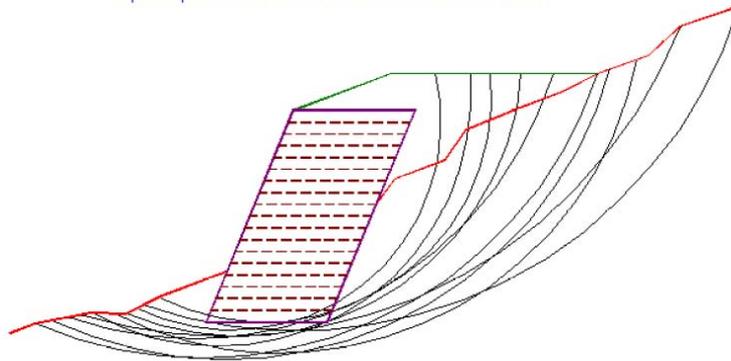
MacSTARS W 4 consente le seguenti tipologie di verifica:

- verifica di stabilità globale
- verifica di stabilità interna
- verifica dell'opera come muro di sostegno
- verifica di scorrimento
- verifica dei cedimenti
- verifica di stabilità superficie assegnata (stabilità globale)

La verifica di *stabilità globale*, o stabilità di base, è da intendersi come la verifica di stabilità con i metodi all'equilibrio limite di un pendio, rinforzato o meno. Può quindi essere utilizzato per valutare la stabilità del pendio in assenza di rinforzi, prima delle ipotesi di progetto di rinforzo. A seguito del progetto, tale verifica è da utilizzare per valutare la stabilità dell'opera nei confronti di meccanismi di potenziale scivolamento profondi e quindi eventualmente esterni ai rinforzi stessi

### STABILITA' GLOBALE

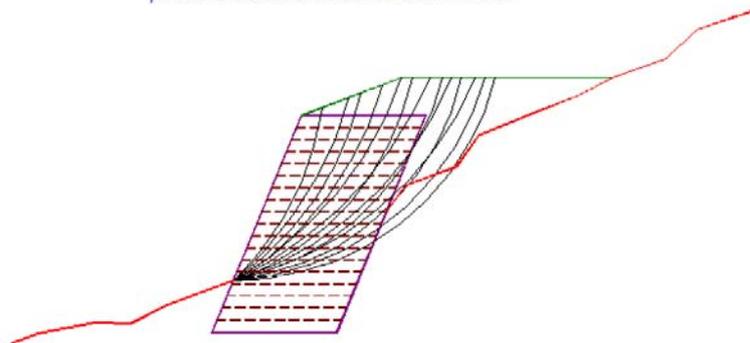
Analisi di stabilità generale del pendio secondo superfici prevalentemente esterne all'ammasso rinforzato



La verifica di stabilità interna (o stabilità di pendio) è quella verifica che consente di valutare il dimensionamento dell'opera, intesa come definizione dei rinforzi (tipologia, spaziatura, lunghezza, ecc.). In tale tipo di verifica le superfici di potenziale scivolamento partono dal piede di valle dell'opera di rinforzo e terminano nella parte superiore del pendio dopo aver attraversato l'opera progettata

### STABILITA' INTERNA

Analisi di stabilità del pendio secondo superfici prevalentemente interne all'ammasso rinforzato

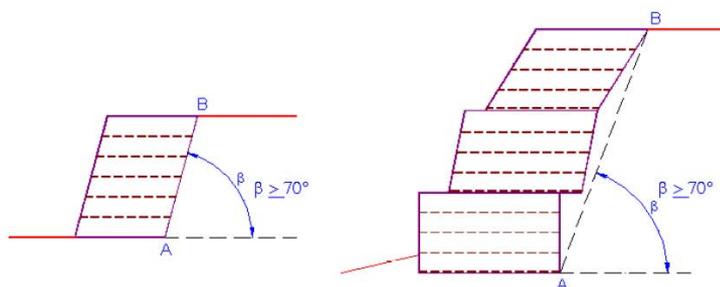


In tale verifica l'opera, intera o una sua parte, viene considerata come un muro monolitico, formato da blocchi che compongono l'opera stessa, che sostiene le spinte del terreno che si trova a monte.

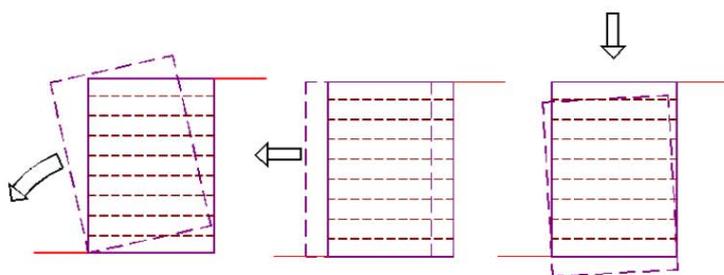
A costituire il muro possono concorrere tutti i blocchi (intesi come rilevati strutturali) che costituiscono l'opera oppure tutti i blocchi a partire dal blocco di verifica, cioè tutti i blocchi di una opera che si trovano sopra un blocco scelto per tale verifica.

Affinché la sequenza di blocchi prescelta possa essere considerata un muro monolitico deve essere soddisfatta una condizione geometrica di pendenza media dei blocchi che deve essere superiore od uguale a 70°.

VERIFICA COME MURO DI SOSTEGNO



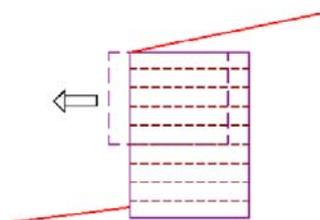
La valutazione della pendenza media viene effettuata dal programma considerando la retta congiungente lo spigolo inferiore destro del primo blocco (punti A) con lo spigolo superiore destro dell'ultimo blocco di verifica (punti B). La verifica dell'opera come muro di sostegno si articola a sua volta nelle tre verifiche classiche dei muri di sostegno: verifica al ribaltamento (A), verifica allo scorrimento (B), verifica per capacità portante (C). Per quest'ultima verifica il valore della pressione di rottura del terreno alla base del muro può essere fornita dall'utente oppure può essere calcolata automaticamente dal programma come meglio di seguito descritto.



5A: Verifica al ribaltamento 5B: Verifica allo scorrimento 5C: Verifica allo schiacciamento

In tale tipo di verifica si accerta la stabilità di un'opera (intera o di una sua porzione) allo scorrimento lungo un piano orizzontale scelto dall'utente, con parametri di verifica (coesione e angolo di attrito sulla superficie di scorrimento) scelti pure dall'utente in funzione del tipo di contatto alla base.

VERIFICA DI SCORRIMENTO INTERNAMENTE AD UNA STRUTTURA



I rinforzi sono elementi strutturali il cui comportamento può essere così descritto:

- sono elementi resistenti a trazione
- la trazione nei rinforzi può svilupparsi per l'aderenza tra il rinforzo stesso ed i materiali (terreno o altri rinforzi) che si trovano sopra e sotto
- i rinforzi forniscono una forza stabilizzante nella zona in cui intercettano una superficie di scorrimento, cioè la zona in cui si manifesta la deformazione di taglio nel pendio che provoca una deformazione di estensione nel rinforzo stesso

□ all'aumentare della deformazione, la forza fornita dal rinforzo stesso aumenta sino al raggiungimento di un valore massimo che in funzione della geometria del caso può essere: forza di rottura del rinforzo, forza di sfilamento del rinforzo nel tratto di ancoraggio, forza di sfilamento all'interno della porzione di terreno instabile.

In relazione ai metodi usualmente utilizzati per tenere in conto l'effetto dei rinforzi ed in relazione al reale comportamento dei rinforzi, sono stati implementati nelle analisi di stabilità due differenti modelli di comportamento così definiti:

- modello rigido
- modello de formativo

Il programma calcola la resistenza allo sfilamento esterno ed interno.

*Sfilamento esterno* (tratto di ancoraggio) La zona di ancoraggio viene suddivisa in tratti e per ciascun tratto si calcola il valore della tensione tangenziale ultima ( $u$ ) dalla seguente relazione:

$$\tau u = f \cdot \sigma_v$$

dove:

$f$  = coefficiente di attrito totale del rinforzo sui materiali sopra e sotto nel tratto interessato, potendo essere rinforzo su rinforzo ( $f_{rr}$ ) o rinforzo su terreno ( $f_{tr}$ )

$\sigma_v$  = tensione verticale efficace sul tratto considerato, ottenuta dalla relazione:

$$\sigma_v = (W + P_v - U) / dx$$

$W$  = peso totale della colonna di terreno sovrastante

$P_v$  = componente verticale del carico distribuito uniforme agente in sommità

$U$  = pressione neutra

$Dx$  = larghezza del tratto considerato

*Sfilamento interno.* Nel caso di rinforzi secondari il procedimento di calcolo è identico al precedente

Tutte le verifiche sono state effettuate secondo la Normativa NTC 2018.

Nelle verifiche agli stati limite ultimi per il dimensionamento geotecnico (GEO) si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno.

L'analisi sarà condotta con riferimento alla Combinazione 2 (A2+M2+R2), nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo M2, i coefficienti parziali  $\gamma_R$  sulla resistenza globale (R2) sono unitari e le sole azioni variabili sono amplificate con i coefficienti del gruppo A2. I parametri di resistenza di progetto sono perciò inferiori a quelli caratteristici e di conseguenza i valori di progetto delle spinte sull'opera di sostegno sono maggiori e le resistenze in fondazione sono minori dei rispettivi valori

La vita nominale  $V_N$  viene assunta pari a  $V_N = 100$  anni.

Si considera una classe d'uso III, a cui è associato un coefficiente d'uso  $CU = 1.5$ .

Il periodo di riferimento  $V_R$  per l'azione sismica sarà dunque pari a  $V_R = V_N \cdot CU = 150$  anni.

Si riporta la verifica condotta alla sezione n. 199 progressiva 3+980.



Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00  
 Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole  
 Peso specifico sopra falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 27.00  
 Peso specifico in falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 27.00

Modulo elastico.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00  
 Coefficiente di Poisson.....: 0.30

**Terreno : RIL** Descrizione : rilevato  
 Classe coesione.....: Coeff. Parziale - Coesione efficace  
 Coesione.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00  
 Classe d'attrito.....: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza al taglio  
 Angolo d'attrito.....[°].....: 35.00  
 Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00  
 Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole  
 Peso specifico sopra falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 18.00  
 Peso specifico in falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 20.00

Modulo elastico.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00  
 Coefficiente di Poisson.....: 0.30

**PROFILI STRATIGRAFICI**

**Strato: AL** Descrizione:  
 Terreno : AL  

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	20.00	26.30	20.00	29.30	20.30		

**Strato: DT** Descrizione:  
 Terreno : DT  

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]							
27.70	18.60	29.30	20.30	36.30	22.20	46.10	31.60
60.80	42.20	83.50	67.70				

**Strato: FA** Descrizione:  
 Terreno : FA  

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]							
22.00	16.50	27.70	18.60	36.50	21.10	47.20	31.30
61.40	41.20	83.50	66.00				

**Strato: GS** Descrizione:  
 Terreno : GS  

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]							
0.00	12.40	22.00	16.50	30.20	17.40	36.40	19.30
46.90	29.30	61.60	39.50	83.50	64.20		

**Strato: RIL** Descrizione:  
 Terreno : RIL  

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]							
26.30	20.00	34.60	36.00	42.00	40.40	56.40	40.40
57.50	39.80						

### BLOCCHI RINFORZATI

#### Blocco : TMS1

Dati principali [m] : Larghezza = 7.00 Altezza = 2.00  
 Coordinate Origine [m] : Ascissa = 20.70 Ordinata = 20.00  
 Inclinazione paramento [°] : 20.00

Terreno riempimento gabbioni : GAB  
 Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia  
 Rilevato strutturale : RIL  
 Terreno di riempimento a tergo : RIL  
 Terreno di copertura : RIL  
 Terreno di fondazione : RIL

Parametri per il calcolo della capacità portante con Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof

Affondamento fondazione [m] : 0.00  
 Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

#### Rinforzi :

Maccaferri - Terramesh System - 8/2.7P - 0,5x1.0

Lunghezza [m] = 3.00  
 Gabbione [m] : Altezza = 0.50 Larghezza = 1.00

Linear Composites - ParaLink - 300\_Seismic

Lunghezza [m] = 7.00  
 Interasse verticale [m] = 1.00  
 Offset [m] = 0.00

#### Blocco : TMS2

Dati principali [m] : Larghezza = 12.00 Altezza = 4.00  
 Arretramento [m] = 2.00 da TMS1  
 Inclinazione paramento [°] : 20.00

Terreno riempimento gabbioni : GAB  
 Rilevato strutturale - materiale tipo : Ghiaia  
 Rilevato strutturale : RIL  
 Terreno di riempimento a tergo : RIL  
 Terreno di copertura : RIL  
 Terreno di fondazione : RIL

Parametri per il calcolo della capacità portante con Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof

Affondamento fondazione [m] : 0.00  
 Inclinazione pendio a valle [°] : 0.00

#### Rinforzi :

Maccaferri - Terramesh System - 8/2.7P - 0,5x1.0

Lunghezza [m] = 3.00  
 Gabbione [m] : Altezza = 0.50 Larghezza = 1.00

Linear Composites - ParaLink - 300\_Seismic

Lunghezza [m] = 12.00  
 Interasse verticale [m] = 1.00  
 Offset [m] = 0.00

#### Blocco : TMS3

Dati principali [m] : Larghezza = 8.00 Altezza = 5.00  
 Arretramento [m] = 2.00 da TMS2  
 Inclinazione paramento [°] : 20.00

Terreno riempimento gabbioni .....: GAB  
 Rilevato strutturale - materiale tipo.....: Ghiaia  
 Rilevato strutturale.....: RIL  
 Terreno di riempimento a tergo.....: RIL  
 Terreno di copertura.....: RIL  
 Terreno di fondazione.....: RIL

Parametri per il calcolo della capacità portante con Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof

Affondamento fondazione.....[m] : 0.00  
 Inclinazione pendio a valle.....[°] : 0.00

**Rinforzi :**

Maccaferri - Terramesh System - 8/2.7P - 1.0x1.0

Lunghezza.....[m] = 3.00  
 Gabbione.....[m] : Altezza..... = 1.00      Larghezza..... = 1.00

Linear Composites - ParaLink - 300\_Seismic

Lunghezza.....[m] = 8.00  
 Interasse verticale.....[m] = 2.00  
 Offset.....[m] = 0.00

**Blocco : TMS4**

Dati principali.....[m] : Larghezza..... = 6.00      Altezza..... = 5.00  
 Arretramento.....[m] = 2.00 da TMS3  
 Inclinazione paramento.....[°] : 20.00

Terreno riempimento gabbioni .....: GAB  
 Rilevato strutturale - materiale tipo.....: Ghiaia  
 Rilevato strutturale.....: RIL  
 Terreno di riempimento a tergo.....: RIL  
 Terreno di copertura.....: RIL  
 Terreno di fondazione.....: RIL

Parametri per il calcolo della capacità portante con Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof

Affondamento fondazione.....[m] : 0.00  
 Inclinazione pendio a valle.....[°] : 0.00

**Rinforzi :**

Maccaferri - Terramesh System - 8/2.7P - 1.0x1.0

Lunghezza.....[m] = 3.00  
 Gabbione.....[m] : Altezza..... = 1.00      Larghezza..... = 1.00

Linear Composites - ParaLink - 300\_Seismic

Lunghezza.....[m] = 6.00  
 Interasse verticale.....[m] = 2.00  
 Offset.....[m] = 0.00

**CARICHI**

**Pressione : CS**

Descrizione :

Classe : Variabile - sfavorevole

Intensità.....[kN/m<sup>2</sup>] = 4.00      Inclinazione.....[°] = 0.00

Ascissa.....[m] : Da = 43.00 To = 55.40

**Sisma :**

Classe : Sisma

Accelerazione.....[m/s<sup>2</sup>] : Orizzontale..... = 0.39      Verticale..... = 0.20

**PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI**

**Linear Composites - ParaLink - 300\_Seismic**

Carico di rottura Nominale Tr .....	[kN/m].....	301.00
Rapporto di Scorrimento plastico.....		0.00
Coefficiente di Scorrimento elastico.....	[m³/kN].....	1.10e-04
Rigidità estensionale.....	[kN/m].....	3168.00
Lunghezza minima di ancoraggio.....	[m].....	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia).....		1.14
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....		1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia).....		1.10
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....		1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo).....		1.10
Coefficiente di sicurezza al Pull-out .....		1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla).....		1.10
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....		1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo		0.27
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia.....		0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia.....		0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo.....		0.70
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla.....		0.40

**Maccaferri - Terramesh System - 8/2.7P - 0,5x1.0**

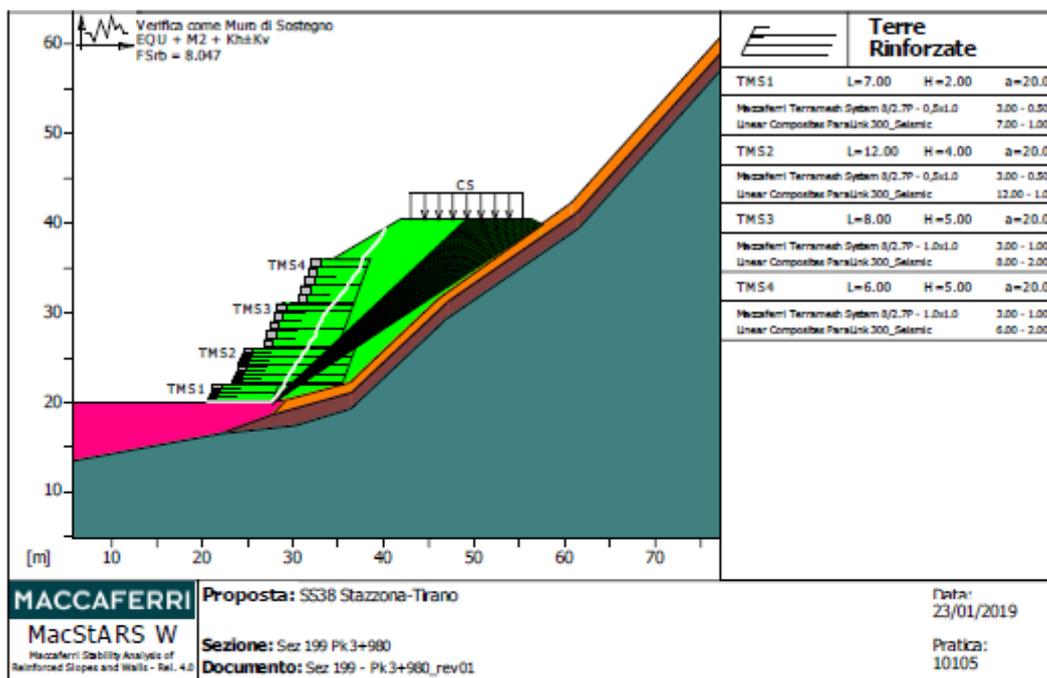
Carico di rottura Nominale Tr .....	[kN/m].....	50.00
Rapporto di Scorrimento plastico.....		2.00
Coefficiente di Scorrimento elastico.....	[m³/kN].....	1.10e-04
Rigidità estensionale.....	[kN/m].....	500.00
Lunghezza minima di ancoraggio.....	[m].....	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia).....		1.26
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....		1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia).....		1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....		1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo).....		1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out .....		1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla).....		1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....		1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo		0.30
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia.....		0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia.....		0.65
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo.....		0.50
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla.....		0.30

**Maccaferri - Terramesh System - 8/2.7P - 1.0x1.0**

Carico di rottura Nominale Tr .....	[kN/m].....	50.00
Rapporto di Scorrimento plastico.....		2.00
Coefficiente di Scorrimento elastico.....	[m³/kN].....	1.10e-04
Rigidità estensionale.....	[kN/m].....	500.00
Lunghezza minima di ancoraggio.....	[m].....	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia).....		1.26
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....		1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia).....		1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....		1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo).....		1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out .....		1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla).....		1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....		1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo		0.30
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia.....		0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia.....		0.65

Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo.....	0.50
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla.....	0.30

VERIFICHE



Verifica come muro di sostegno :

Combinazione di carico : EQU + M2 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : TMS1

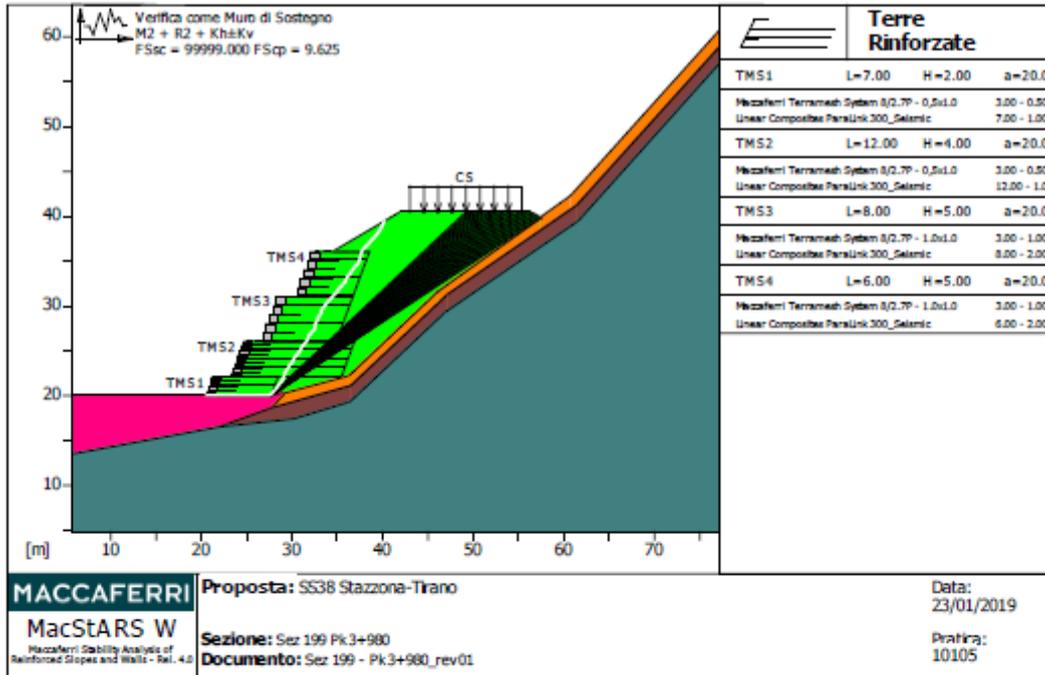
Momento Stabilizzante.....[kN\*m/m].....: 27619.00

Momento Instabilizzante.....[kN\*m/m].....: 3432.40

Classe momento.....: Coeff. Parziale R - Ribaltamento

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento.....: 8.047

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza al taglio
1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.00	Coeff. Parziale R - Ribaltamento



**Verifica come muro di sostegno :**

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : TMS1

Forza Stabilizzante.....[kN/m] : 1456.30

Forza Instabilizzante.....[kN/m] : -341.93

Classe scorrimento.....: Coeff. Parziale R - Scorrimento

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento.....:99999.000

Pressione ultima calcolata con metodo dell'equilibrio limite.

Pressione ultima.....[kN/m<sup>2</sup>] : 3477.10

Pressione media agente.....[kN/m<sup>2</sup>] : 361.26

Classe pressione.....: Coeff. Parziale R - Capacità portante

Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante.....: 9.625

Fondazione equivalente.....[m] : 7.00

Eccentricità forza normale.....[m] : -6.15

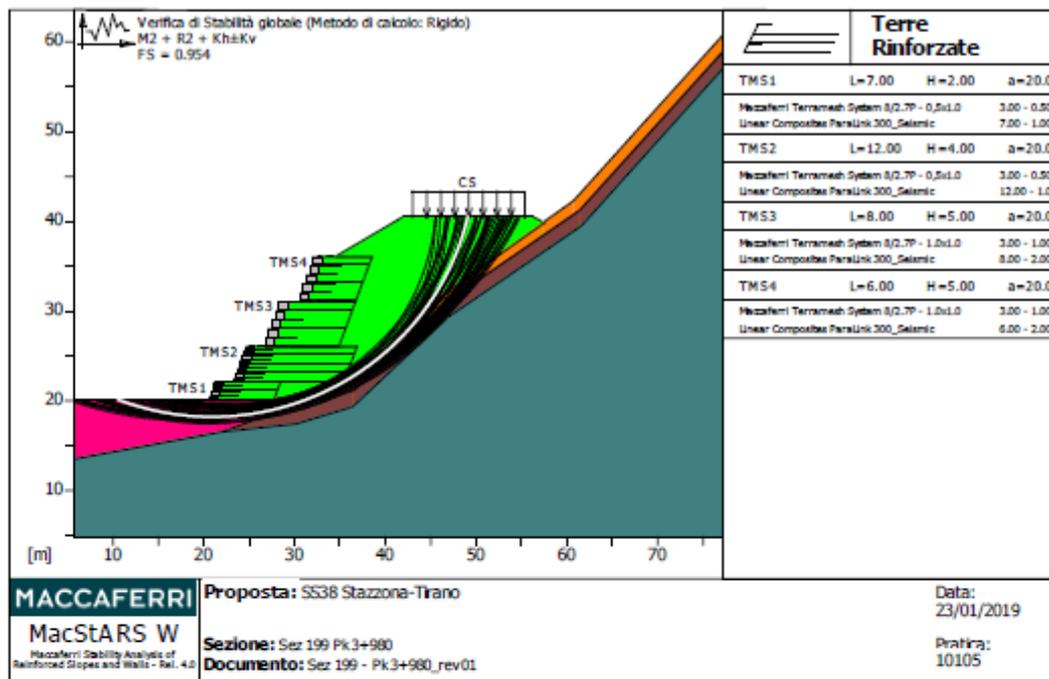
Braccio momento.....[m] : -10.04

Forza normale.....[kN] : 2505.60

Pressione estremo di valle.....[kN/m<sup>2</sup>] : -3757.83

Pressione estremo di monte.....[kN/m<sup>2</sup>] : 2813.39

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza al taglio
1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.00	Coeff. Parziale R - Scorrimento
1.00	Coeff. Parziale R - Capacità portante



**Verifica di stabilità globale :**

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

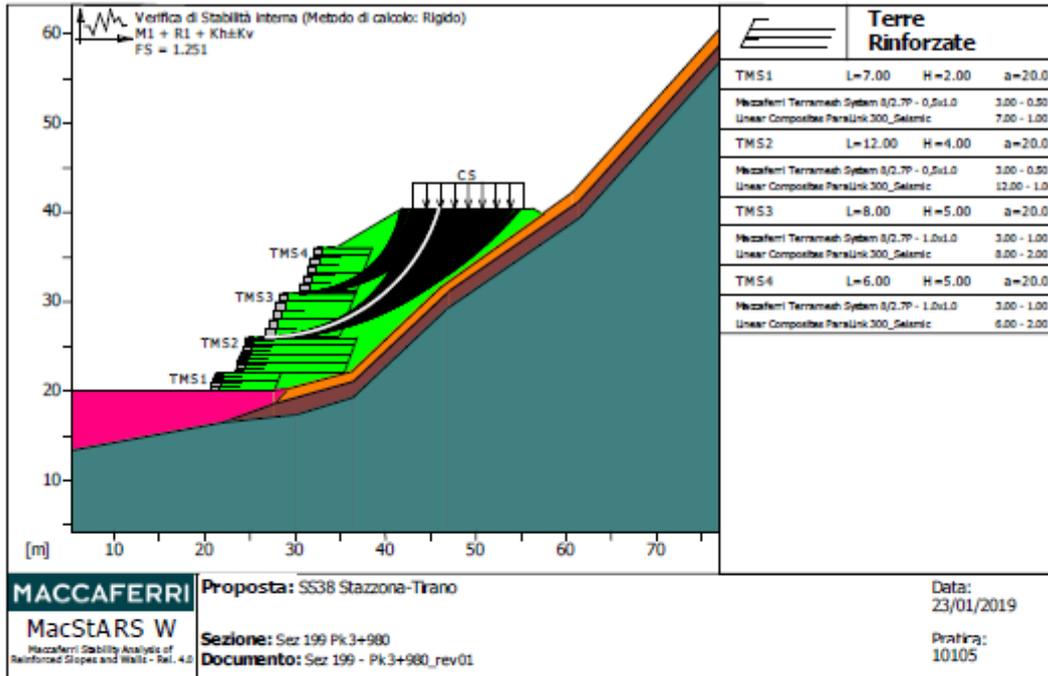
Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 0.954

Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]		Segmento di arrivo, ascisse [m]	
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
5.00	19.00	40.00	60.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:		50	
Numero totale superfici di prova.....:		500	
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:		0.50	
Angolo limite orario..... [°].....:		0.00	
Angolo limite antiorario..... [°].....:		0.00	

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza al taglio
1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. Parziale R - Stabilità



**MACCAFERRI** Proposta: SS38 Stazzona-Tirano Data: 23/01/2019  
 MacStARS W Sezione: Sez 199 Pk3+980 Pratica: 10105  
 Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls - Rel. 4.0 Documento: Sez 199 - Pk.3+980\_rev01

**Verifica di stabilità interna :**

Combinazione di carico : M1 + R1 + Kh±Kv  
 Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido  
 Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop  
 Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.251

Blocco	Intervallo di ricerca delle superfici	
	Primo punto	Secondo punto
TMS1	35.00	55.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:	1	
Numero totale superfici di prova.....:	500	
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:	0.50	
Angolo limite orario..... [°].....:	5.00	
Angolo limite antiorario..... [°].....:	0.00	

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.00	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza al taglio
1.00	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.00	Coeff. Parziale R - Stabilità

**11 PROGRAMMI PER L'ANALISI DELLA FONDAZIONE**

I software utilizzati sono:

- 1) **MDC/2018** della Geostru-software
- Versione: 2018.25.7.978
- autore:** ing. Filippo Catanzariti
- produttore:** Engsoft srl
- distributore:** Engsoft srl
- descrizione:** software per il calcolo di opere di sostegno

**Stato licenza:** Vero

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

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

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

**Versione:** 2018.29.6.1327

**autore:** ing. Filippo Catanzariti

**produttore:** Engsoft srl

**distributore:** Engsoft srl

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

Stato licenza: Vero

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

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

## 11.1 VALIDAZIONI DEL CALCOLO E CASI PROVA

### MDC 2018/SLOPE 2018

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

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

## 12 ANALISI DELL'OPERA DI SOSTEGNO

### 12.1 CALCOLO DELLA SPINTA ATTIVA CON COULOMB

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

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

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

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

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

Avendo indicato con:

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

Valori limite di  $K_a$ :

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

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

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

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

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

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

H = Altezza della parete.

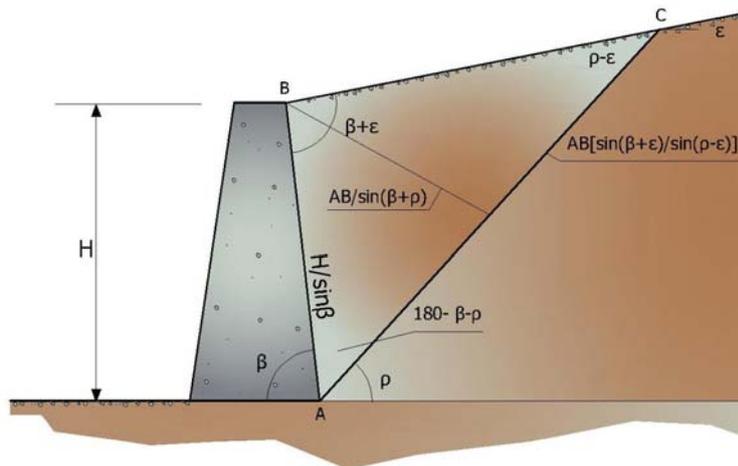


Fig. 5 Cuneo di rottura usato per la derivazione dell'equazione di Coulomb relativa alla pressione attiva.

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

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

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

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

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

## 12.2 CALCOLO DELLA SPINTA ATTIVA CON MONONOBE & OKABE

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

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

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

**Calcolo coefficienti sismici**

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

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

dove

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

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

$g$  = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove

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

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

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

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

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

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

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

### 12.3 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*.

### 12.4 SPINTA ATTIVA IN CONDIZIONI SISMICHE

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

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

Dove:

$H$  = Altezza muro;

$k_v$  = Coefficiente sismico verticale;

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

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

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

$E_{wd}$ = Spinta idrodinamica.

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

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

## 12.5 CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI SU TERRENI

### VESIC - Analisi a breve termine

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

$$V_d \leq R_d$$

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

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

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

Dove:

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

$c_u$ = Coesione non drenata;

$q$ = Pressione litostatica totale sul piano di posa;

$s_c$ = Fattore di forma;

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

$d_c$ = Fattore di profondità;

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

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

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

$A_f$ = Area efficace della fondazione;

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

### VESIC - Analisi a lungo termine

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

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

Dove:

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

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

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

### Fattori di forma

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

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

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

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

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

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

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

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

### Fattori di profondità

$$d_c = 1 + 0.4K$$

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

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

$$d_\gamma = 1$$

### 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.

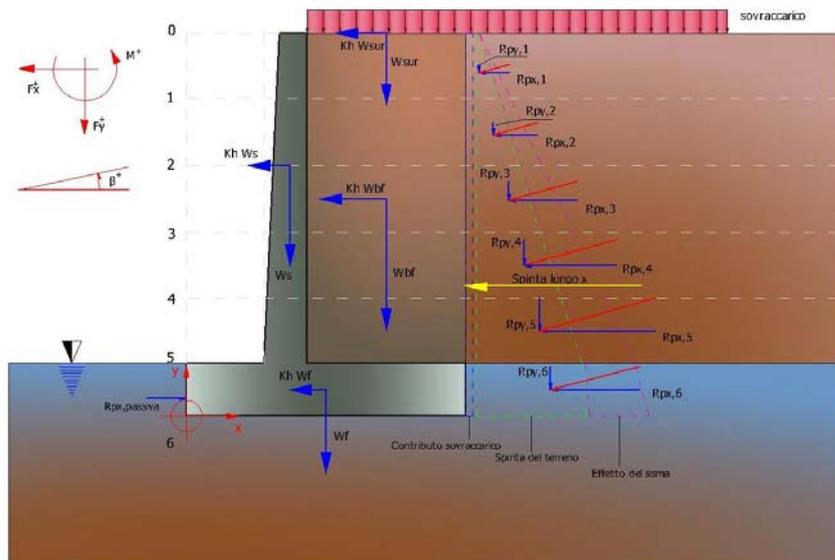


Fig. 6 Schema delle forze agenti su un muro e convenzioni sui segni

## 13 RISULTATI DELLE VERIFICHE

### Dati generali

Lat./Long. [WGS84]	46,200661786372/10,1491432650582
Normativa GEO	NTC 2018
Normativa STR	NTC 2018
Spinta	Mononobe & Okabe [M.O. 1929]

### Dati generali muro

Altezza muro	100,0 cm
Spessore testa muro	65,0 cm
Risega muro lato valle	45,0 cm
Risega muro lato monte	0,0 cm
Sporgenza mensola a valle	740,0 cm
Sporgenza mensola a monte	1,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	100,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	100,0 cm

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

#### Dati generali

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

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	90,0	0,41	2,57	0,23
S.L.D.	151,0	0,5	2,56	0,24
S.L.V.	1424,0	1,09	2,61	0,29
S.L.C.	2475,0	1,28	2,64	0,3

### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe III
--------	------------

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,492	1,0	0,0502	0,0251
S.L.D.	0,6	0,47	0,0288	0,0144
S.L.V.	1,308	0,38	0,0507	0,0253
S.L.C.	1,536	1,0	0,1566	0,0783

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

#### Conglomerati

Nr.	Classe Calcestruzzo	fck,cubi [Mpa]	Ec [Mpa]	fck [Mpa]	fed [Mpa]	fctd [Mpa]	fctm [Mpa]
1	C20/25	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 <sup>3</sup> )	Angolo di resistenza a taglio (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito terra muro (°)	Presenza di falda (Si/No)	Litologia	Descrizione
1	100	12	20,00	35	0,00	23	No		strato 1
2	1100	30	19,00	33	0,00	20	No		strato 2

#### Carichi distribuiti

Descrizione	Ascissa iniziale (cm)	Ascissa finale (cm)	Valore iniziale (kPa)	Valore finale (kPa)	Profondità (cm)
Traffico stradale	1600,0	3100,0	20,0	20,0	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

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

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

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

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

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

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

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

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

Carico limite A1+M1+R3

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

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

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

Ribaltamento A1+M1+R3

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

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

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

Scorrimento A1+M1+R3 [GEO+STR]

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/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
200,0	180,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
180,0	160,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
160,0	140,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
140,0	120,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
120,0	100,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	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	200,0	180,0	4,29	1,82	189,73	189,73
2	180,0	160,0	4,97	2,11	169,77	169,77

3	160,0	140,0	5,66	2,4	149,8	149,8
4	140,0	120,0	6,34	2,69	129,82	129,82
5	120,0	100,0	7,03	2,98	109,84	109,84

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
180,0	0,0	3,41	815,2	189,8
160,0	0,0	7,26	812,8	179,2
140,0	0,0	11,55	810,4	168,3
120,0	0,0	16,28	807,8	157,1
100,0	0,0	21,45	805,3	145,7

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
180,0	4,29	5,23	-0,33	74,0
160,0	9,26	11,19	-0,1	83,0
140,0	14,92	17,88	0,77	92,0
120,0	21,26	25,3	2,41	101,0
100,0	28,28	33,46	4,85	110,0

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
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	5,18	576,55	S	275,43	0,0	62,98
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	11,44	657,32	S	293,49	0,0	31,08
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	18,48	738,98	S	310,9	0,0	20,44
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	25,83	821,41	S	327,78	0,0	15,12
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	34,4	905,07	S	350,42	0,0	12,15

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(xr1, yr1) = (851,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(xr2, yr2) = (851,0/201,1)$   
 Centro di rotazione  $(xro, yro) = (0,0/0,0)$

Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
201,1	200,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
200,0	180,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	

180,0	160,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0
160,0	140,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0
140,0	120,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0
120,0	100,6	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0
100,6	100,0	19,0	30,0	33,0	20,0	0,0	0,0
100,0	0,0	19,0	30,0	33,0	20,0	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
20,0	0,5	0,0	0,0	0,47	0,17	0,0	0,0
20,0	0,5	0,0	0,0	0,47	0,17	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	201,1	200,0	0,22	0,09	200,55	200,55
2	200,0	180,0	4,33	1,84	189,74	189,74
3	180,0	160,0	5,01	2,13	169,77	169,77
4	160,0	140,0	5,69	2,42	149,8	149,8
5	140,0	120,0	6,38	2,71	129,82	129,82
6	120,0	100,6	6,84	2,9	110,15	110,15
7	100,6	100,0	0,19	0,07	100,3	100,3
8	100,0	0,0	37,05	14,53	47,4	47,59

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	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Sollecitazioni totali

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

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	65,71	26,69	-167,84
Peso muro	0,0	21,45	-172,75
Peso fondazione	0,0	208,64	-887,75
Sovraccarico	0,0	0,3	-2,55
Terr. fondazione	0,0	0,16	-1,36
	<b>65,71</b>	<b>257,23</b>	<b>-1232,26</b>

Momento stabilizzante -1291,51 kNm  
 Momento ribaltante 59,25 kNm

**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
740,0	0,0	-31,24	-25,01	100,0

**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
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	-0,16	801,87	S	324,04	0,0	10,17

**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
850,0	37,05	27,02	-1,23	100,0

**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
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	37,81	817,47	S	327,76	0,0	11,9

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

Coefficiente sismico orizzontale Kh 0,0507  
 Coefficiente sismico verticale Kv 0,0253

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

200,0	180,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0
180,0	160,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0
160,0	140,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0
140,0	120,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0
120,0	100,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0

**Coefficienti di spinta ed inclinazioni**

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

$\mu$	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,71	0,79	0,09	0,66	0,28	0,08	0,04
23,0	0,71	0,79	0,09	0,66	0,28	0,08	0,04
23,0	0,71	0,79	0,09	0,66	0,28	0,08	0,04
23,0	0,71	0,79	0,09	0,66	0,28	0,08	0,04
23,0	0,71	0,79	0,09	0,66	0,28	0,08	0,04

**Spinte risultanti e punto di applicazione**

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	200,0	180,0	0,79	0,34	188,89	188,89
2	180,0	160,0	1,32	0,56	169,33	169,33
3	160,0	140,0	1,84	0,78	149,52	149,52
4	140,0	120,0	2,37	1,01	129,63	129,63
5	120,0	100,0	2,89	1,23	109,7	109,7

**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
180,0	0,17	3,41	815,2	189,8
160,0	0,37	7,26	812,8	179,2
140,0	0,59	11,55	810,4	168,3
120,0	0,83	16,28	807,8	157,1
100,0	1,09	21,45	805,3	145,7

**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
180,0	0,96	3,74	-0,11	74,0
160,0	2,47	8,15	-0,25	83,0
140,0	4,53	13,22	-0,34	92,0
120,0	7,14	18,96	-0,3	101,0
100,0	10,3	25,36	-0,1	110,0

**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
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	3,95	576,19	S	275,22	0,0	280,52
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	8,14	656,21	S	293,05	0,0	116,22
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	13,55	737,13	S	310,22	0,0	67,13
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	19,45	818,76	S	326,92	0,0	44,9
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	25,65	901,09	S	350,3	0,0	33,36

#### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(xr1, yr1) = (851,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(xr2, yr2) = (851,0/201,1)$   
 Centro di rotazione  $(xro, yro) = (0,0/0,0)$

#### Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
201,1	200,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
200,0	180,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
180,0	160,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
160,0	140,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
140,0	120,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
120,0	100,6	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
100,6	100,0	19,0	30,0	33,0	20,0	0,0	0,0	
100,0	0,0	19,0	30,0	33,0	20,0	0,0	0,0	

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,71	0,79	0,09	0,66	0,28	0,08	0,04
23,0	0,71	0,79	0,09	0,66	0,28	0,08	0,04
23,0	0,71	0,79	0,09	0,66	0,28	0,08	0,04
23,0	0,71	0,79	0,09	0,66	0,28	0,08	0,04
23,0	0,71	0,79	0,09	0,66	0,28	0,08	0,04
23,0	0,71	0,79	0,09	0,66	0,28	0,08	0,04
20,0	0,5	0,79	0,31	0,47	0,17	0,29	0,1
20,0	0,5	0,79	0,31	0,47	0,17	0,29	0,1

#### 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	201,1	200,0	0,03	0,01	200,55	200,55
2	200,0	180,0	0,82	0,35	188,93	188,93
3	180,0	160,0	1,34	0,57	169,35	169,35

4	160,0	140,0	1,87	0,79	149,53	149,53
5	140,0	120,0	2,4	1,02	129,63	129,63
6	120,0	100,6	2,83	1,2	110,02	110,02
7	100,6	100,0	0,09	0,04	100,3	100,3
8	100,0	0,0	19,59	7,93	46,22	46,6

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	100,0	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	28,96	11,91	-79,3
Peso muro	0,0	21,45	-172,75
Peso fondazione	0,0	208,64	-887,75
Sovraccarico	0,0	0,04	-0,34
Terr. fondazione	0,0	0,2	-1,7
	<b>28,96</b>	<b>242,24</b>	<b>-1141,85</b>

Momento stabilizzante -1163,89 kNm  
 Momento ribaltante 22,04 kNm

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
740,0	0,0	-20,36	-2,28	100,0

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
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	-0,16	801,87	S	324,04	0,0	15,61

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
850,0	19,59	12,02	-0,86	100,0

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
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	19,9	810,12	S	325,22	0,0	26,53

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

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0,0752
Coefficiente sismico verticale Kv	0,0371

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
200,0	180,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
180,0	160,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
160,0	140,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
140,0	120,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
120,0	100,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,71	0,89	0,22	0,66	0,28	0,2	0,09
23,0	0,71	0,89	0,22	0,66	0,28	0,2	0,09
23,0	0,71	0,89	0,22	0,66	0,28	0,2	0,09
23,0	0,71	0,89	0,22	0,66	0,28	0,2	0,09
23,0	0,71	0,89	0,22	0,66	0,28	0,2	0,09

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	200,0	180,0	1,67	0,71	189,64	189,64
2	180,0	160,0	2,04	0,87	169,7	169,7
3	160,0	140,0	2,41	1,02	149,75	149,75
4	140,0	120,0	2,77	1,18	129,78	129,78
5	120,0	100,0	3,14	1,33	109,81	109,81

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
180,0	0,38	3,41	815,2	189,8
160,0	0,82	7,26	812,8	179,2
140,0	1,3	11,55	810,4	168,3
120,0	1,84	16,28	807,8	157,1
100,0	2,42	21,45	805,3	145,7

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
180,0	2,06	4,12	-0,14	74,0
160,0	4,53	8,83	-0,08	83,0
140,0	7,42	14,14	0,21	92,0
120,0	10,73	20,05	0,81	101,0
100,0	14,45	26,56	1,73	110,0

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

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

Afv	Afrm	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	3,95	576,19	S	275,27	0,0	131,11
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	8,79	656,43	S	293,15	0,0	63,42
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	14,26	737,39	S	310,36	0,0	41,01
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	20,19	819,07	S	327,02	0,0	29,9
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	27,24	901,82	S	350,32	0,0	23,78

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(xr1, yr1) = (851,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(xr2, yr2) = (851,0/201,1)$   
 Centro di rotazione  $(xro, yro) = (0,0/0,0)$

Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
201,1	200,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
200,0	180,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
180,0	160,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
160,0	140,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
140,0	120,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
120,0	100,6	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	

100,6	100,0	19,0	30,0	33,0	20,0	0,0	0,0
100,0	0,0	19,0	30,0	33,0	20,0	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

$\mu$	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,71	0,89	0,22	0,66	0,28	0,2	0,09
23,0	0,71	0,89	0,22	0,66	0,28	0,2	0,09
23,0	0,71	0,89	0,22	0,66	0,28	0,2	0,09
23,0	0,71	0,89	0,22	0,66	0,28	0,2	0,09
23,0	0,71	0,89	0,22	0,66	0,28	0,2	0,09
23,0	0,71	0,89	0,22	0,66	0,28	0,2	0,09
20,0	0,5	0,9	0,44	0,47	0,17	0,42	0,15
20,0	0,5	0,9	0,44	0,47	0,17	0,42	0,15

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	201,1	200,0	0,17	0,07	200,55	200,55
2	200,0	180,0	3,29	1,3	189,81	189,8
3	180,0	160,0	3,65	1,46	169,83	169,82
4	160,0	140,0	4,02	1,61	149,85	149,84
5	140,0	120,0	4,39	1,77	129,86	129,85
6	120,0	100,6	4,6	1,86	110,18	110,17
7	100,6	100,0	0,15	0,06	100,3	100,3
8	100,0	0,0	25,2	9,97	49,68	49,7

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	100,0	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	45,47	18,09	-111,69
Peso muro	2,42	21,45	-169,23
Peso fondazione	23,53	208,64	-875,98
Sovraccarico	0,0	0,04	-0,31
Terr. fondazione	0,02	0,2	-1,67
	<b>71,46</b>	<b>248,42</b>	<b>-1158,88</b>

Momento stabilizzante	-1216,49 kNm
Momento ribaltante	57,61 kNm

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
740,0	0,0	-26,45	-30,92	100,0

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
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	-0,16	801,87	S	324,04	0,0	12,01

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
850,0	25,2	18,2	-0,26	100,0

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
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	25,86	812,56	S	326,04	0,0	17,57

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
200,0	180,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
180,0	160,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
160,0	140,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
140,0	120,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
120,0	100,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	

**Coefficienti di spinta ed inclinazioni**

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

$\mu$	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	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	200,0	180,0	4,29	1,82	189,73	189,73
2	180,0	160,0	4,97	2,11	169,77	169,77
3	160,0	140,0	5,66	2,4	149,8	149,8
4	140,0	120,0	6,34	2,69	129,82	129,82
5	120,0	100,0	7,03	2,98	109,84	109,84

**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
	180,0	0,0	4,43	815,2	189,8
	160,0	0,0	9,43	812,8	179,2
	140,0	0,0	15,01	810,4	168,3
	120,0	0,0	21,16	807,8	157,1
	100,0	0,0	27,89	805,3	145,7

**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
180,0	4,29	6,25	-0,35	74,0
160,0	9,26	13,37	-0,19	83,0
140,0	14,92	21,34	0,55	92,0
120,0	21,26	30,19	2,0	101,0
100,0	28,28	39,89	4,19	110,0

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

5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	6,4	576,91	S	275,58	0,0	63,01
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	13,43	657,99	S	293,8	0,0	31,11
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	22,0	740,3	S	311,4	0,0	20,47
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	30,73	823,44	S	328,49	0,0	15,15
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	40,76	907,96	S	350,51	0,0	12,15

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(x_{r1}, y_{r1}) = (851,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(x_{r2}, y_{r2}) = (851,0/201,1)$   
 Centro di rotazione  $(x_{ro}, y_{ro}) = (0,0/0,0)$

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/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
201,1	200,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
200,0	180,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
180,0	160,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
160,0	140,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
140,0	120,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
120,0	100,6	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
100,6	100,0	19,0	30,0	33,0	20,0	0,0	0,0	
100,0	0,0	19,0	30,0	33,0	20,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
20,0	0,5	0,0	0,0	0,47	0,17	0,0	0,0
20,0	0,5	0,0	0,0	0,47	0,17	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	201,1	200,0	0,22	0,09	200,55	200,55
2	200,0	180,0	4,33	1,84	189,74	189,74
3	180,0	160,0	5,01	2,13	169,77	169,77
4	160,0	140,0	5,69	2,42	149,8	149,8
5	140,0	120,0	6,38	2,71	129,82	129,82
6	120,0	100,6	6,84	2,9	110,15	110,15
7	100,6	100,0	0,19	0,07	100,3	100,3
8	100,0	0,0	37,05	14,53	47,4	47,59

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	100,0	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	65,71	26,69	-167,84
Peso muro	0,0	27,89	-224,58
Peso fondazione	0,0	271,23	-1154,07
Sovraccarico	0,0	0,3	-2,55
Terr. fondazione	0,0	0,26	-2,21
	<b>65,71</b>	<b>326,36</b>	<b>-1551,26</b>

Momento stabilizzante -1610,51 kNm  
 Momento ribaltante 59,25 kNm

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
740,0	0,0	-34,94	-22,32	100,0

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
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	-0,16	801,87	S	324,04	0,0	9,09

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
850,0	37,05	26,98	-1,23	100,0

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
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	37,81	817,47	S	327,76	0,0	11,91

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

**CALCOLO SPINTE**

**Discretizzazione terreno**

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
200,0	180,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
180,0	160,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
160,0	140,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
140,0	120,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
120,0	100,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	

**Coefficienti di spinta ed inclinazioni**

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	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	200,0	180,0	4,29	1,82	189,73	189,73
2	180,0	160,0	4,97	2,11	169,77	169,77
3	160,0	140,0	5,66	2,4	149,8	149,8
4	140,0	120,0	6,34	2,69	129,82	129,82
5	120,0	100,0	7,03	2,98	109,84	109,84

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

180,0	0,0	3,41	815,2	189,8
160,0	0,0	7,26	812,8	179,2
140,0	0,0	11,55	810,4	168,3
120,0	0,0	16,28	807,8	157,1
100,0	0,0	21,45	805,3	145,7

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
180,0	4,29	5,23	-0,33	74,0
160,0	9,26	11,19	-0,1	83,0
140,0	14,92	17,88	0,77	92,0
120,0	21,26	25,3	2,41	101,0
100,0	28,28	33,46	4,85	110,0

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
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	5,18	576,55	S	275,43	0,0	62,98
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	11,44	657,32	S	293,49	0,0	31,08
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	18,48	738,98	S	310,9	0,0	20,44
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	25,83	821,41	S	327,78	0,0	15,12
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	34,4	905,07	S	350,42	0,0	12,15

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(xr1, yr1) = (851,0/0,0)$   
 Piano di rottura passante per  $(xr2, yr2) = (851,0/201,1)$   
 Centro di rotazione  $(xro, yro) = (0,0/0,0)$

Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
201,1	200,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
200,0	180,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
180,0	160,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
160,0	140,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
140,0	120,0	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
120,0	100,6	20,0	47,18	35,0	23,0	0,0	0,0	
100,6	100,0	19,0	30,0	33,0	20,0	0,0	0,0	
100,0	0,0	19,0	30,0	33,0	20,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

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

$\mu$	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
23,0	0,71	0,0	0,0	0,66	0,28	0,0	0,0
20,0	0,5	0,0	0,0	0,47	0,17	0,0	0,0
20,0	0,5	0,0	0,0	0,47	0,17	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	201,1	200,0	0,22	0,09	200,55	200,55
2	200,0	180,0	4,33	1,84	189,74	189,74
3	180,0	160,0	5,01	2,13	169,77	169,77
4	160,0	140,0	5,69	2,42	149,8	149,8
5	140,0	120,0	6,38	2,71	129,82	129,82
6	120,0	100,6	6,84	2,9	110,15	110,15
7	100,6	100,0	0,19	0,07	100,3	100,3
8	100,0	0,0	37,05	14,53	47,4	47,59

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	100,0	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	65,71	26,69	-167,84
Peso muro	0,0	21,45	-172,75
Peso fondazione	0,0	208,64	-887,75
Sovraccarico	0,0	0,3	-2,55
Terr. fondazione	0,0	0,16	-1,36
	<b>65,71</b>	<b>257,23</b>	<b>-1232,26</b>

Momento stabilizzante -1291,51 kNm  
 Momento ribaltante 59,25 kNm

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
740,0	0,0	-31,24	-25,01	100,0

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
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	-0,16	801,87	S	324,04	0,0	10,17

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
850,0	37,05	27,02	-1,23	100,0

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
5Ø24 (22,62)	5Ø24 (22,62)	37,81	817,47	S	327,76	0,0	11,9

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	--	--	--	--	Si	0,83	183,55	-8,70
Si	--	--	--	--	Si	1,58	183,55	-21,31
Si	--	--	--	--	Si	2,50	183,55	-34,34
Si	--	--	--	--	Si	3,82	183,55	-44,87
Si	--	--	--	--	Si	5,34	183,55	-55,48

Fondazione valle

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	0,008	--	354,670	1250	Si	1,34	183,55	74,99

Fondazione monte

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	--	--	--	--	Si	4,41	183,55	-56,33

SLE 6 [Frequente]

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure	Apertura fessure Limite	Distanza fessure	Area Cls efficace	Verifica tensioni	Sigma C(+compr.)	SigmaC Lim	SigmaF Max

	mm	mm	mm	cm2	Normali daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>		
Si	--	0,300	--	--	Si	0,83	183,55	-8,70
Si	--	0,300	--	--	Si	1,58	183,55	-21,31
Si	--	0,300	--	--	Si	2,50	183,55	-34,34
Si	--	0,300	--	--	Si	3,82	183,55	-44,87
Si	--	0,300	--	--	Si	5,34	183,55	-55,48

Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,008	0,300	354,670	1250	Si	1,34	183,55	74,99

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	--	0,300	--	--	Si	4,41	183,55	-56,33

**SLE 7 [Quasi perm.]**

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	--	0,200	--	--	Si	0,71	137,66	-7,97
Si	--	0,200	--	--	Si	1,45	137,66	-18,25
Si	--	0,200	--	--	Si	2,23	137,66	-30,89
Si	--	0,200	--	--	Si	3,08	137,66	-45,42
Si	--	0,200	--	--	Si	4,26	137,66	-58,22

Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,004	0,200	354,670	1250	Si	0,62	137,66	34,67

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	--	0,200	--	--	Si	3,69	137,66	-46,03

**SLD [Frequente]**

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	--	0,300	--	--	Si	0,65	183,55	-7,71
Si	--	0,300	--	--	Si	1,37	183,55	-17,12
Si	--	0,300	--	--	Si	2,16	183,55	-28,44
Si	--	0,300	--	--	Si	2,98	183,55	-41,97
Si	--	0,300	--	--	Si	3,86	183,55	-57,60

Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,005	0,300	354,670	1250	Si	0,84	183,55	46,95

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	--	0,300	--	--	Si	3,41	183,55	-43,50

## 14 ANALISI DI STABILITA' DELLA FONDAZIONE

### 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 ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

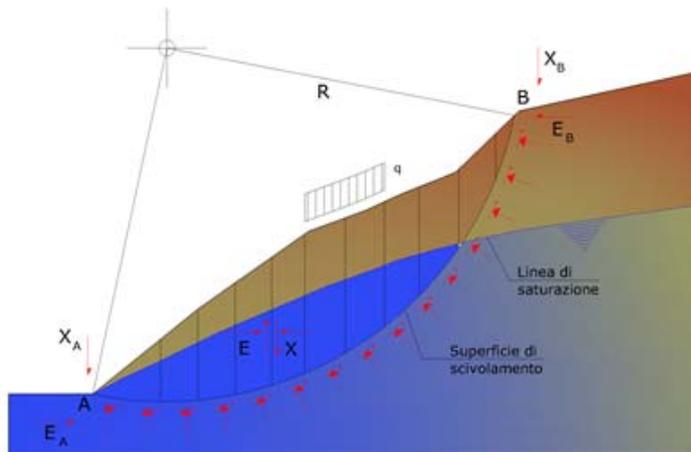
### Metodo equilibrio limite (LEM)

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

$$F = \tau_f / \tau$$

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

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



### Metodo dei conci

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

- $n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;
- $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$ ;
- $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;

- (n-1) forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;
- (n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F.

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 Fellenius (1927)

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

- n valori delle forze normali  $N_i$ ;
- n valori delle forze da taglio  $T_i$ ;
- 1 fattore di sicurezza.

Incognite (2n+1).

Le equazioni a disposizione sono:

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

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \varphi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

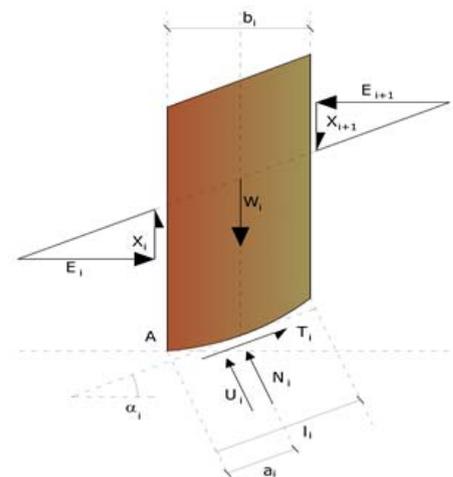
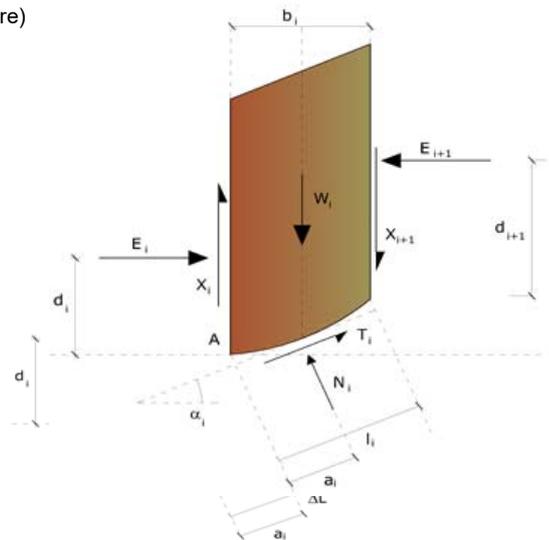
#### Metodo di Bishop (1955)

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

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

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

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



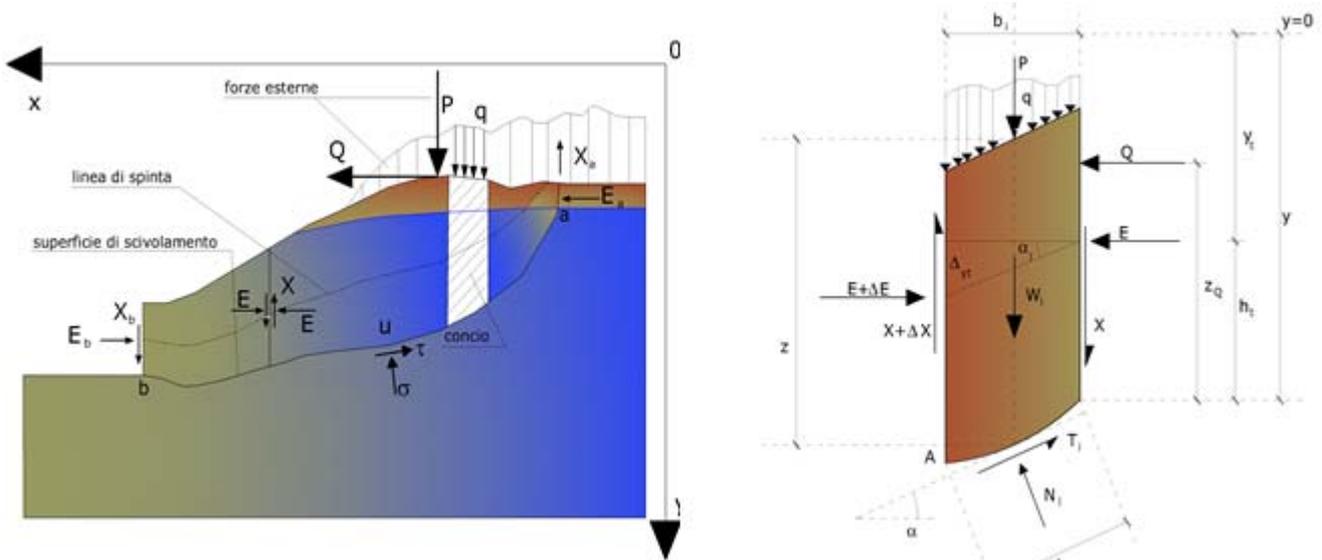
iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

**Metodo di Janbu (1967)**

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

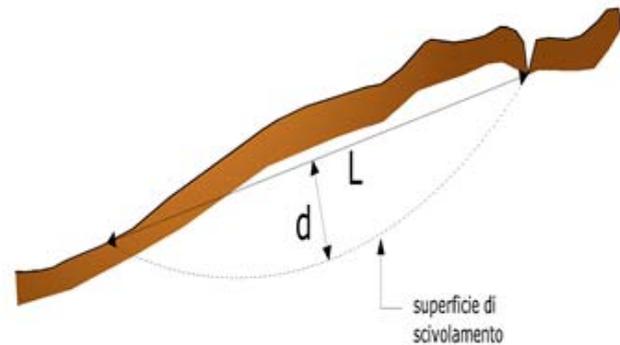
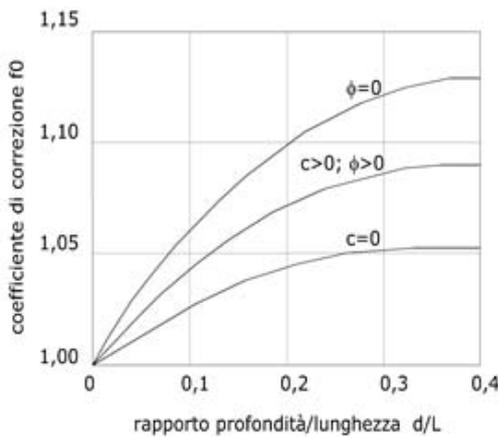


Azioni sul concio *i*-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



### Metodo di Bell (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno,  $W$ , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali  $K_x W$  e  $K_z W$ , le forze orizzontali e verticali  $X$  e  $Z$  applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio  $\sigma$  e  $\tau$  agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori  $u$  che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' $i$ -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \Phi_i}{F}$$

in cui:

$F$  = il fattore di sicurezza;

$c_i$  = la coesione efficace (o totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$\phi_i$  = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$L_i$  = la lunghezza della base dell' $i$ -esimo concio;

$u_{ci}$  = la pressione dei pori al centro della base dell' $i$ -esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[ C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$$W_i \cos \alpha_i / L_i = \text{valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci}$$

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left( \frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

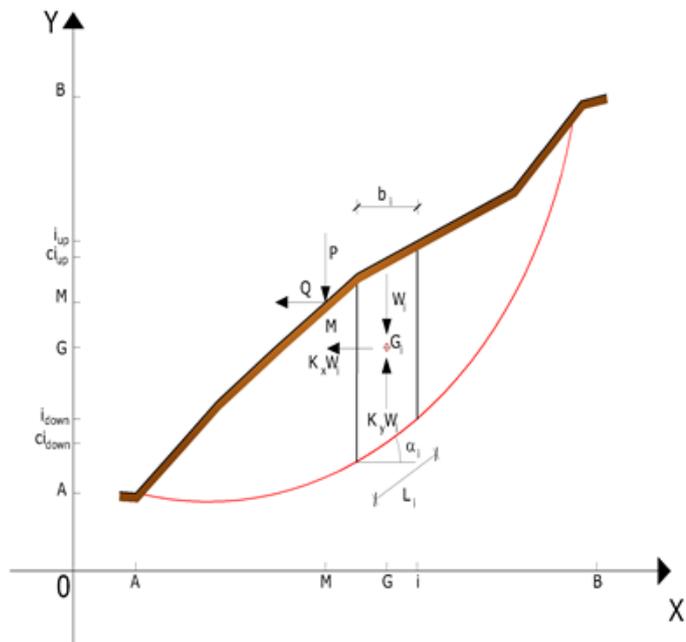
dove  $x_0$  ed  $x_n$  sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre  $x_{ci}$  rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio  $i$ -esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno  $K_z g$  può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore  $(1 - K_z)$ .

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza  $F$ , sostituendo l'espressione di  $N_i$  e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario  $C_3$ . Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.



Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

**Metodo di Sarma (1973)**

Il metodo di Sarma è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica  $K_C$ ) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in  $n$  strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale  $N_i$  agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i - \Delta X_i$$

$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = K W_i + \Delta E_i$$

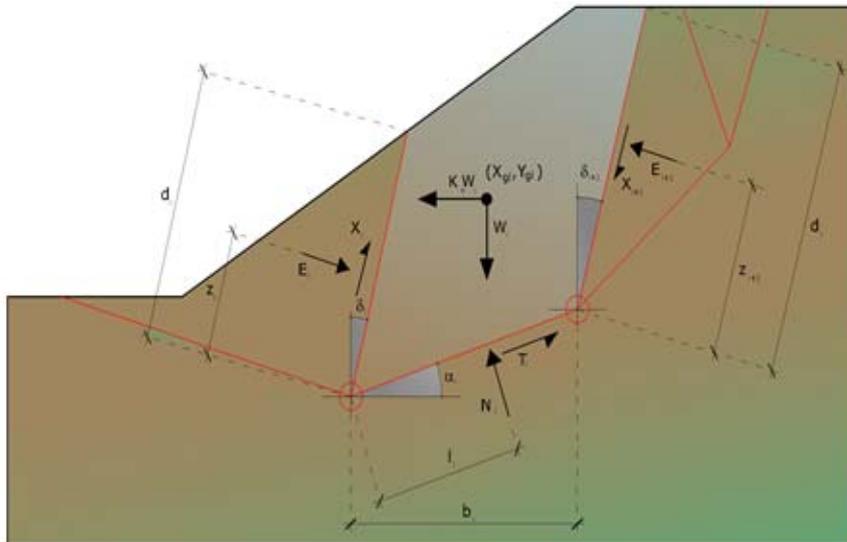
Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\sum \Delta E_i = 0$$

$$\sum \Delta X_i = 0$$

dove  $E_i$  e  $X_i$  rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia  $i$ -esima del concio generico  $i$ .

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel **metodo di Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:



Azioni sull'iesimo concio, metodo di Sarma

$$\sum \Delta X_i \cdot \text{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$\sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \text{tg}(\psi'_i - \alpha') + (x'_i - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di **K** (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione **K** corrispondente al fattore di sicurezza **F = 1**, ossia l'accelerazione critica.  
 Si ha pertanto:

$$K=K_c \quad \text{Accelerazione critica se } F=1$$

$$F=F_s \quad \text{Fattore di sicurezza in condizioni statiche se } K=0$$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne  $X_i$  ed  $E_i$  tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.  
 E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze  $X_i$ :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove  $Q_i$  è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla  $i$ -esima faccia del concio  $i$ , e  $\lambda$  rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di  $K_c$ ,  $\lambda$  e  $F$ , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

### Metodo di Spencer (1967)

Il metodo è basato sull'assunzione:

1. le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo  $\theta$ ;
2. tutti i momenti sono nulli  $M_i = 0$  con  $i=1 \dots n$ .

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione  $f(x) = 1$ . Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$1) \quad \sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{\text{tg} \alpha}{F_s} - W \text{sen} \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[ \frac{F_s + \text{tg} \phi \text{tg}(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

**R** = raggio dell'arco di cerchio;

**$\theta$**  = angolo d'inclinazione della forza  $Q_i$  rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0$$

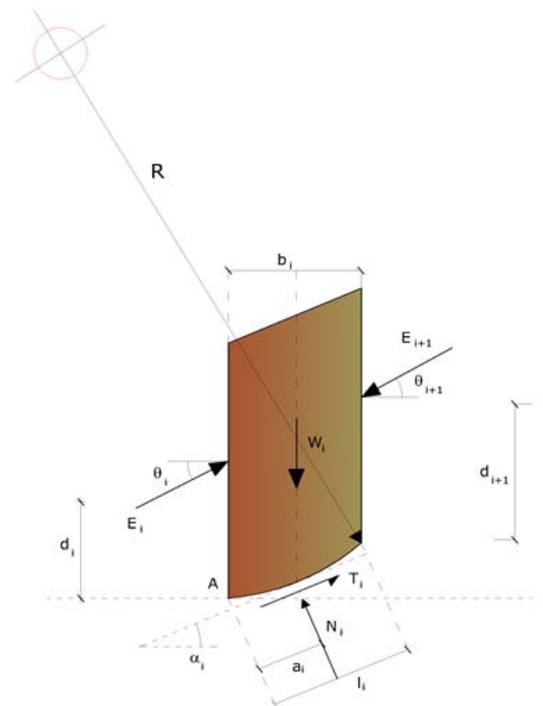
$$\sum (Q_i \text{sen} \theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze  $Q_i$  parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$2) \quad \sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo ( $F_{sm}$ ) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo ( $F_{sf}$ ) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo  $\theta$ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia:

$$F_{sm} = F_{sf}$$



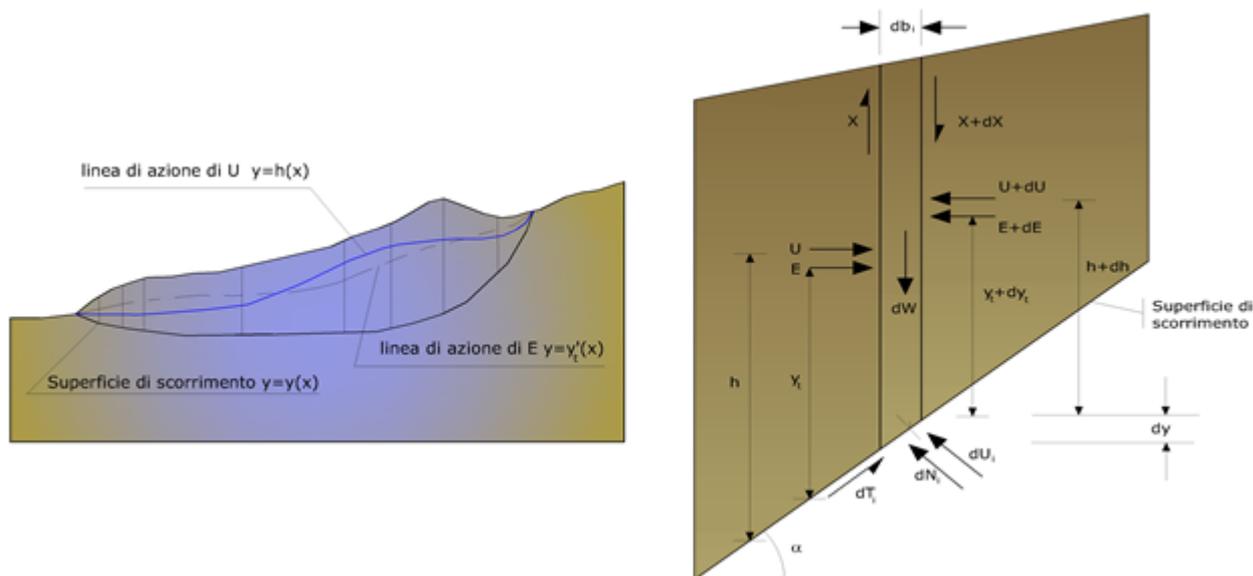
### Metodo di Morgenstern e Price (1965)

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  è un fattore di scala e  $f(x)$ , funzione della posizione di  $E$  e di  $X$ , definisce una relazione tra la variazione della forza  $X$  e della forza  $E$  all'interno della massa scivolante. La funzione  $f(x)$  è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite  $E$ ,  $X$ , il coefficiente di sicurezza  $F_s$ , il peso della striscia infinitesima  $dW$  e la risultante delle pressioni neutra alla base  $dU$ .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \varphi' \left( \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) = \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left( \frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$



Azioni sul concio  $i$ -esimo secondo le ipotesi di Morgenster e Price e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

$$X = \frac{d(E \cdot \gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

### Metodo di Zeng e Liang (2002)

Zeng e Liang hanno effettuato una serie di analisi parametriche su un modello bidimensionale sviluppato con codice agli elementi finiti, che riproduce il caso di pali immersi in un terreno in movimento (drilled shafts). Il modello bidimensionale riproduce un striscia di terreno di spessore unitario e ipotizza che il fenomeno avvenga in condizioni di deformazione piana nella direzione parallela all'asse dei pali. Il modello è stato utilizzato per indagare l'influenza sulla formazione dell'effetto arco di alcuni parametri come l'interasse fra i pali, il diametro e la forma dei pali, e le proprietà meccaniche del terreno. Gli autori individuano nel rapporto tra l'interasse e il diametro dei i pali ( $s/d$ ) il parametro adimensionale determinante per la formazione dell'effetto arco. Il problema risulta essere staticamente indeterminato, con grado di indeterminatezza pari a  $(8n-4)$ , ma nonostante ciò è possibile ottenere una soluzione riducendo il numero delle incognite e assumendo quindi delle ipotesi semplificative, in modo da rendere determinato il problema.

Le assunzioni che rendono il problema determinato sono:

- Ky sono assunte orizzontali per ridurre il numero totale delle incognite da (n-1) a (7n-3);
- Le forze normali alla base della striscia agiscono nel punto medio, riducendo le incognite da n a (6n-3);
- La posizione delle spinte laterali è ad un terzo dell'altezza media dell'inter-striscia e riduce le incognite da (n-1) a (5n-2);
- Le forze (Pi-1) e Pi si assumono parallele all'inclinazione della base della striscia (αi), riducendo il numero di incognite da (n-1) a (4n-1);
- Si assume un'unica costante di snervamento per tutte le strisce, riducendo le incognite da (n) a (3n-1);

Il numero totale di incognite quindi è ridotto a (3n), da calcolare utilizzando il fattore di trasferimento di carico. Inoltre si deve tener presente che la forza di stabilizzazione trasmessa sul terreno a valle dei pali risulta ridotta di una quantità R, chiamato fattore di riduzione, calcolabile come:

$$R = \frac{1}{s/d} + \left(1 - \frac{1}{s/d}\right) \cdot R_p$$

Il fattore R dipende quindi dal rapporto fra l'interasse presente fra i pali e il diametro dei pali stessi e dal fattore  $R_p$  che tiene conto dell'effetto arco.

### Valutazione dell'azione sismica

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- $F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- $W$  peso concio;
- $K_x$  coefficiente sismico orizzontale;
- $K_y$  coefficiente sismico verticale.

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

### Stabilizzazione di pendii con l'utilizzo di pali

La realizzazione di una cortina di pali, su pendio, serve a fare aumentare la resistenza al taglio su determinate superfici di scorrimento. L'intervento può essere conseguente ad una stabilità già accertata, per la quale si conosce la superficie di scorrimento oppure, agendo preventivamente, viene progettato in relazione alle ipotetiche superfici di rottura che responsabilmente possono essere assunte come quelle più probabili. In ogni caso si opera considerando una massa di terreno in movimento su un ammasso stabile sul quale attestare, per una certa lunghezza, l'allineamento di pali.

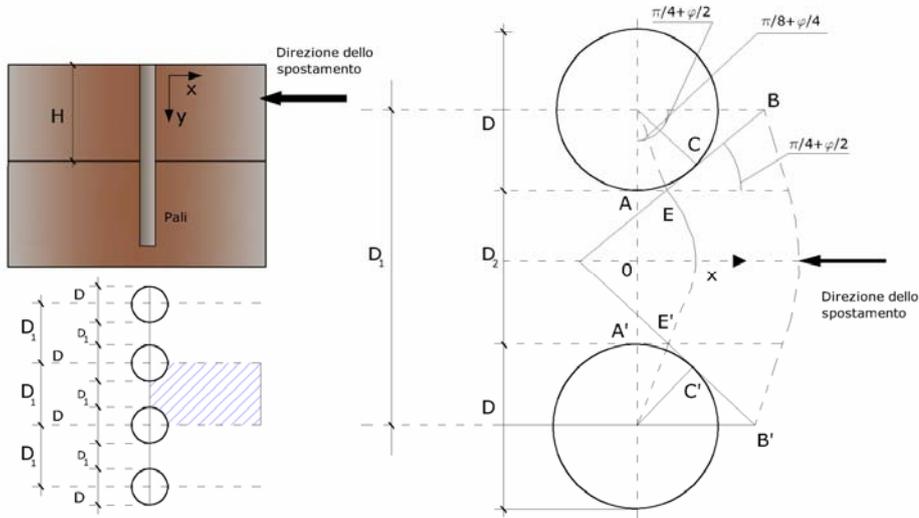
Il terreno, nelle due zone, ha una influenza diversa sull'elemento monoassiale (palo): di tipo sollecitativi nella parte superiore (palo passivo – terreno attivo) e di tipo resistivo nella zona sottostante (palo attivo – terreno passivo). Da questa interferenza, fra "sbarramento" e massa in movimento, scaturiscono le azioni stabilizzanti che devono perseguire le seguenti finalità:

1. conferire al pendio un coefficiente di sicurezza maggiore di quello posseduto;
2. essere assorbite dal manufatto garantendone l'integrità (le tensioni interne, derivanti dalle sollecitazioni massime trasmesse sulle varie sezioni del singolo palo, devono risultare inferiori a quelle ammissibili del materiale) e risultare inferiori al carico limite sopportabile dal terreno, calcolato, lateralmente considerando l'interazione (palo-terreno).

### Carico limite relativo all'interazione fra i pali ed il terreno laterale

Nei vari tipi di terreno che non hanno un comportamento omogeneo, le deformazioni in corrispondenza della zona di contatto non sono legate fra di loro. Quindi, non potendo associare al materiale un modello di comportamento perfettamente elastico (ipotesi che potrebbe essere assunta per i materiali lapidei poco fratturati), generalmente si procede imponendo che il movimento di massa sia nello stato iniziale e che il terreno in adiacenza ai pali sia nella fase massima consentita di plasticizzazione, oltre la quale si

potrebbe verificare l'effetto indesiderato che il materiale possa defluire, attraverso la cortina di pali, nello spazio intercorrente fra un elemento e l'altro.



Imponendo inoltre che il carico assorbito dal terreno sia uguale a quello associato alla condizione limite ipotizzata e che fra due pali consecutivi, a seguito della spinta attiva, si instauri una sorta di effetto arco, gli autori T. Ito e T. Matsui (1975) hanno ricavato la relazione che permette di determinare il carico limite. A questa si è pervenuto facendo riferimento allo schema statico, disegnato nella figura precedente e alle ipotesi anzidette, che schematicamente si ribadiscono.

- Sotto l'azione della spinte attiva del terreno si formano due superfici di scorrimento localizzate in corrispondenza delle linee AEB ed A'E'B';
- Le direzioni EB ed E'B' formano con l'asse x rispettivamente angoli  $+(45 + \varphi/2)$  e  $-(45 + \varphi/2)$ ;
- Il volume di terreno, compreso nella zona delimitata dai vertici AEBB'E'A' ha un comportamento plastico, e quindi è consentita l'applicazione del criterio di rottura di Mohr-coulomb;
- La pressione attiva del terreno agisce sul piano A-A';
- I pali sono dotati di elevata rigidità a flessione e taglio.

Detta espressione, riferita alla generica profondità Z, relativamente ad un spessore di terreno unitario, è la seguente:

$$P(Z) = C \cdot D_1 (D_1/D_2)^{k_1} \left[ 1 / \left( N_\varphi \cdot \text{tag} \varphi \left( e^{k_2} - 2(N_\varphi)^{1/2} \text{tag} \varphi - 1 \right) + K_3 \right) - C \left[ D_1 \cdot K_3 - D_2 / (N_\varphi)^{1/2} \right] + \gamma Z / N_\varphi \left[ D_1 (D_1/D_2)^{k_1} \cdot e^{k_2} - D_2 \right] \right]$$

dove i simboli utilizzati assumono il significato che segue:

- C** = coesione terreno;
- $\varphi$**  = angolo di attrito terreno;
- $\gamma$**  = peso specifico terreno;
- $D_1$**  = interasse tra i pali;
- $D_2$**  = spazio libero fra due pali consecutivi;
- $N_\varphi$**  =  $\text{tag}^2(\pi/4 + \varphi/2)$

$$K_1 = (N_\varphi)^{1/2} \text{tag} \varphi + N_\varphi - 1$$

$$K_2 = (D_1 - D_2) / D_2 \cdot N_\varphi \text{tag}(\pi/8 + \varphi/4)$$

$$K_3 = \left[ 2 \text{tag} \varphi + 2(N_\varphi)^{1/2} + 1 / (N_\varphi)^{1/2} \right] / \left[ (N_\varphi)^{1/2} \text{tag} \varphi + N_\varphi - 1 \right]$$

La forza totale, relativamente ad uno strato di terreno in movimento di spessore H, è stata ottenuta integrando l'espressione precedente.

In presenza di terreni granulari (condizione drenata), nei quali si può assumere  $c = 0$ , l'espressione diventa:

$$P = 1/2 \gamma \cdot H^2 / N_{\phi} \left[ D_1 (D_1/D_2)^{k_1} \cdot e^{k_2} - D_2 \right]$$

Per terreni coesivi (condizioni non drenate), con  $\phi = 0$  e  $C \neq 0$ , si ha:

$$P(z) = C \left[ D_1 (3 \ln(D_1/D_2) + (D_1 - D_2)/D_2 \tan \pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + \gamma \cdot Z(D_1 - D_2)$$

$$P = \int_0^H P(Z) dZ$$

$$P = C \cdot H \left[ D_1 (3 \ln(D_1/D_2) + (D_1 - D_2)/D_2 \tan \pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + 1/2 \gamma H^2 (D_1 - D_2)$$

Il dimensionamento della cortina di pali, che come già detto deve conferire al pendio un incremento del coefficiente di sicurezza e garantire l'integrità del meccanismo palo-terreno, è abbastanza problematica. Infatti tenuto conto della complessità dell'espressione del carico P, influenzata da diversi fattori legati sia alle caratteristiche meccaniche del terreno sia alla geometria del manufatto, non è facile con una sola elaborazione pervenire alla soluzione ottimale. Per raggiungere lo scopo è necessario pertanto eseguire diversi tentativi finalizzati:

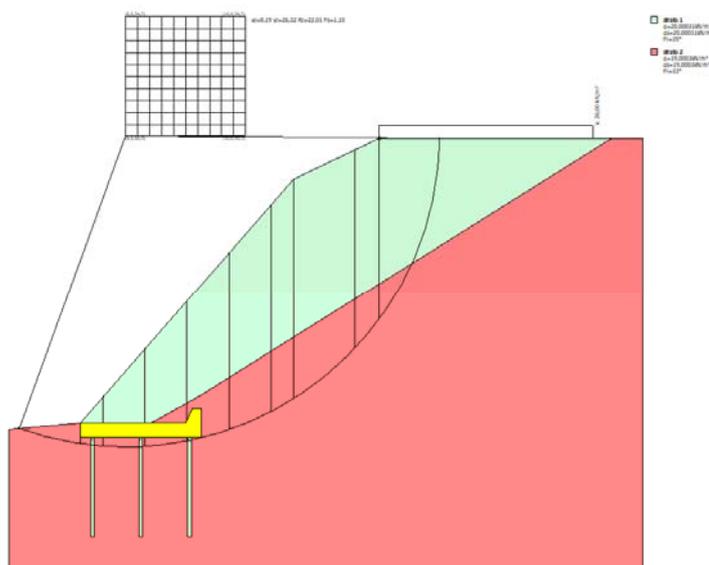
- A trovare, sul profilo topografico del pendio, la posizione che garantisca, a parità di altre condizioni, una distribuzione dei coefficienti di sicurezza più confortante;
- A determinare la disposizione planimetrica dei pali, caratterizzata dal rapporto fra interasse e distanza fra i pali ( $D_2/D_1$ ), che consenta di sfruttare al meglio la resistenza del complesso palo-terreno; sperimentalmente è stato riscontrato che, escludendo i casi limiti ( $D_2 = 0 \rightarrow P \rightarrow \infty$  e  $D_2 = D_1 \rightarrow P \rightarrow$  valore minimo), i valori più idonei allo scopo sono quelli per i quali tale rapporto risulta compreso fra 0,60 e 0,80;
- A valutare la possibilità di inserire più file di pali ed eventualmente, in caso affermativo, valutare, per le file successive, la posizione che dia più garanzie in termini di sicurezza e di spreco di materiali;
- Ad adottare il tipo di vincolo più idoneo che consente di ottenere una distribuzione più regolare delle sollecitazioni; sperimentalmente è stato constatato che quello che assolve, in maniera più soddisfacente, allo scopo è il vincolo che impedisce le rotazioni alla testa del palo.

#### Metodo del carico limite di Broms

Nel caso in cui il palo sia caricato ortogonalmente all'asse, configurazione di carico presente se un palo inibisce il movimento di una massa in frana, la resistenza può essere affidata al suo carico limite orizzontale.

Il problema di calcolo del carico limite orizzontale è stato affrontato da Broms sia per il mezzo puramente coesivo che per il mezzo incoerente, il metodo di calcolo seguito è basato su alcune ipotesi semplificative per quanto attiene alla reazione esercitata dal terreno per unità di lunghezza di palo in condizioni limite e porta in conto anche la resistenza a rottura del palo (*Momento di plasticizzazione*).

#### 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 8,19 m  
 Ordinata vertice sinistro inferiore yi 26,32 m  
 Ascissa vertice destro superiore xs 16,61 m  
 Ordinata vertice destro superiore ys 34,75 m  
 Passo di ricerca 10,0  
 Numero di celle lungo x 10,0  
 Numero di celle lungo y 10,0  
 =====

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	5,56
2	5,0	6,0
3	20,0	23,31
4	26,0	26,19
5	44,5	26,19

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

N	X (m)	y (m)
1	0,0	5,56
2	5,0	6,0
3	5,0	6,0

4	10,0	6,0
5	13,5	8,0
6	42,31	26,19
7	44,5	26,19

#### Coefficienti parziali azioni

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

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

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

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0		35	20,00031	20,00031	strato 1
2	0		33	19,0003	19,0003	strato 2

#### Pali...

N°	x (m)	y (m)	Diametro (m)	Lunghezza (m)	Inclinazione (°)	Interasse (m)	Resistenza al taglio (kN/m <sup>2</sup> )	Momento plasticizzazione (kN*m)	Metodo stabilizzazione
1	5,725	5	0,25	7	90	1,7	1961,361	--	Tensione tangenziale
2	9,125	5	0,25	7	90	1,7	1961,361	--	Tensione tangenziale
3	12,535	5	0,25	7	90	1,7	1961,361	--	Tensione tangenziale

#### Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m <sup>2</sup> )
1	26	26,19	41	26,19	26

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1,1
Ascissa centro superficie	8,19 m
Ordinata centro superficie	26,32 m
Raggio superficie	22,01 m

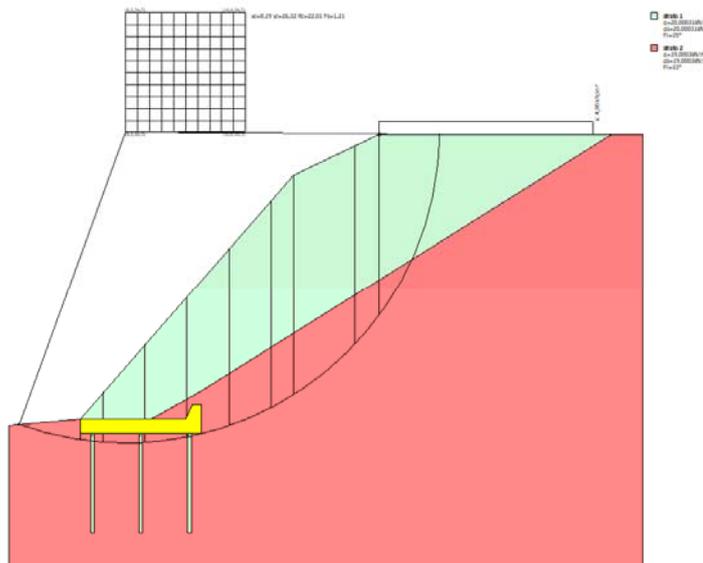
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento;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

**xc = 8,186 yc = 26,32 Rc = 22,009 Fs=1,106**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh*Wi (kN)	Kv*Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	4,3	-14,1	4,43	68,95	0,0	0,0	0,0	27,5	0,0	80,7	38,2
2	1,6	-6,2	1,61	76,82	0,0	0,0	0,0	27,5	0,0	81,5	38,6

3	2,95	-0,3	2,95	303,79	0,0	0,0	0,0	27,5	0,0	304,5	144,3
4	2,95	7,4	2,97	492,55	0,0	0,0	0,0	27,5	0,0	467,8	221,7
5	2,95	15,3	3,06	655,16	0,0	0,0	0,0	27,5	0,0	601,3	284,9
6	2,95	23,5	3,22	792,49	0,0	0,0	0,0	27,5	0,0	716,6	339,5
7	1,6	30,1	1,85	478,01	0,0	0,0	0,0	27,5	0,0	433,4	205,4
8	4,3	39,8	5,59	1273,64	0,0	0,0	0,0	27,5	0,0	1188,4	563,0
9	1,7	50,5	2,68	454,76	0,0	0,0	0,0	27,5	0,0	454,2	215,2
10	4,19	71,9	13,47	881,29	0,0	0,0	0,0	27,5	0,0	1157,1	548,2

**Analisi di stabilità IN CONDIZIONI SISMICHE 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	8,19 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	26,32 m
Ascissa vertice destro superiore xs	16,61 m
Ordinata vertice destro superiore ys	34,75 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0
=====	
Coefficiente azione sismica orizzontale	0,05
Coefficiente azione sismica verticale	0,025

**Vertici profilo**

Nr	X	y
----	---	---

	(m)	(m)
1	0,0	5,56
2	5,0	6,0
3	20,0	23,31
4	26,0	26,19
5	44,5	26,19

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

N	X (m)	y (m)
1	0,0	5,56
2	5,0	6,0
3	5,0	6,0
4	10,0	6,0
5	13,5	8,0
6	42,31	26,19
7	44,5	26,19

**Coefficienti parziali azioni**

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

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

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

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0		35	20,00031	20,00031	strato 1
2	0		33	19,0003	19,0003	strato 2

**Pali...**

N°	x (m)	y (m)	Diametro (m)	Lunghezza (m)	Inclinazione (°)	Interasse (m)	Resistenza al taglio (kN/m <sup>2</sup> )	Momento plasticizzazione (kN*m)	Metodo stabilizzazione
1	5,725	5	0,25	7	90	1,7	1961,361	--	Tensione tangenziale
2	9,125	5	0,25	7	90	1,7	1961,361	--	Tensione tangenziale
3	12,535	5	0,25	7	90	1,7	1961,361	--	Tensione tangenziale

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m <sup>2</sup> )
1	26	26,19	41	26,19	4

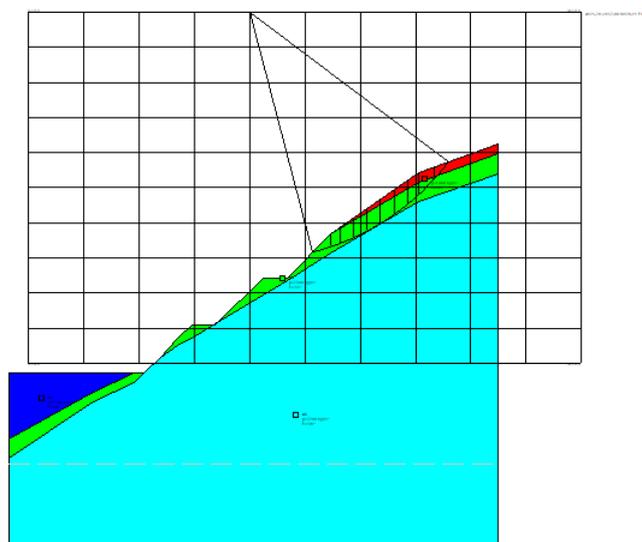
**Risultati analisi pendio [NTC 2018]**

Fs minimo individuato 1,21  
 Ascissa centro superficie 8,19 m  
 Ordinata centro superficie 26,32 m  
 Raggio superficie 22,01 m

$x_c = 8,186$   $y_c = 26,32$   $R_c = 22,009$   $F_s = 1,206$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	4,3	-14,1	4,43	68,95	3,45	1,72	0,0	33,0	0,0	82,2	44,3
2	1,6	-6,2	1,61	76,82	3,84	1,92	0,0	33,0	0,0	82,1	44,2
3	2,95	-0,3	2,95	303,79	15,19	7,59	0,0	33,0	0,0	304,6	164,0
4	2,95	7,4	2,97	492,55	24,63	12,31	0,0	33,0	0,0	464,2	249,9
5	2,95	15,3	3,06	655,16	32,76	16,38	0,0	33,0	0,0	592,1	318,8
6	2,95	23,5	3,22	792,49	39,62	19,81	0,0	33,0	0,0	700,3	377,0
7	1,6	30,1	1,85	478,01	23,9	11,95	0,0	33,0	0,0	421,1	226,7
8	4,3	39,8	5,59	1273,64	63,68	31,84	0,0	33,0	0,0	1144,3	616,0
9	1,7	50,5	2,68	454,76	22,74	11,37	0,0	33,0	0,0	432,6	232,9
10	4,19	71,9	13,47	791,22	39,56	19,78	0,0	33,0	0,0	961,4	517,6

## 15 ANALISI DI STABILITA' DURANTE LE FASI DI SCAVO



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

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	5,0
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	2,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	20,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	60,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	57,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0

Numero di celle lungo y

10,0

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	19,0
2	8,8	19,0
3	13,15	19,0
4	14,1	19,0
5	15,85	20,65
6	17,7	22,6
7	19,1	24,0
8	21,6	24,0
9	26,6	29,0
10	29,1	29,0
11	33,75	33,65
12	42,93	40,11
13	51,21	43,1

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

N	X (m)	y (m)
1	0,0	19,0
2	8,8	19,0
3	13,15	19,0
4	14,1	19,0
5	15,85	20,65
6	17,7	22,6
7	19,1	24,0
8	21,6	24,0
9	26,6	29,0
10	29,2	29,0
11	33,75	33,65
12	42,93	39,05
13	51,21	42,05

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	12,0
2	8,8	17,0
3	13,15	19,0
4	14,1	19,0
5	15,85	20,65
6	17,7	22,6
7	19,1	24,0
8	21,6	24,0
9	26,6	29,0
10	29,1	29,0
11	33,75	33,65
12	42,93	39,05
13	51,21	42,05

**Vertici strato .....3**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	10,0
2	8,8	16,0
3	13,15	18,0
4	14,1	19,0
5	15,85	20,65
6	17,7	21,9
7	19,1	22,65
8	21,6	24,15

9	26,6	27,2
10	29,1	28,7
11	33,75	31,65
12	42,93	37,0
13	51,21	40,0

**Vertici strato .....4**

N	X (m)	y (m)
---	----------	----------

**Coefficienti parziali azioni**

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

**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 (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0,1		33	1800		DT	
2	0		36	1900		AL	
3	0,2		35	2300		FA	
4	2,9		36	2700		GS	
5	0		35	1900		RIL	

**Risultati analisi pendio [NTC 2018]**

Fs minimo individuato	1,79
Ascissa centro superficie	25,2 m
Ordinata centro superficie	57,0 m
Raggio superficie	26,11 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 = 25,20 yc = 57,00 Rc = 26,114 Fs=1,79**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,9	16,9	1,99	2985,38	0,0	0,0	0,16	29,3	0,0	2354,8	2516,3
2	0,93	20,2	0,99	3146,59	0,0	0,0	0,16	29,3	0,0	2715,1	1733,3
3	1,42	23,0	1,54	5883,82	0,0	0,0	0,16	29,3	0,0	5127,7	2979,4
4	1,42	26,4	1,58	6895,77	0,0	0,0	0,16	29,3	0,0	6056,5	3308,2
5	1,42	29,9	1,63	7558,95	0,0	0,0	0,16	29,3	0,0	6678,2	3550,2
6	1,42	33,6	1,7	7837,02	0,0	0,0	0,16	29,3	0,0	6953,6	3695,2
7	1,42	37,4	1,78	7681,16	0,0	0,0	0,16	29,3	0,0	6819,3	3727,2
8	1,17	41,1	1,55	5868,89	0,0	0,0	0,16	29,3	0,0	5166,8	3003,7
9	1,66	45,4	2,37	5925,06	0,0	0,0	0,16	29,3	0,0	4777,3	3609,4
10	1,42	50,4	2,22	1624,25	0,0	0,0	0,08	27,5	0,0	998,0	1282,4