

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

COMUNE DI GRIGNO



MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI CADUTA MASSI E CONSOLIDAMENTO
DI ALCUNI TRATTI DELLA STRADA DEGLI ALTIPIANI

PROGETTO ESECUTIVO

B) RELAZIONE DI CALCOLO

ing. Stefano Filippi



STUDIO TECNICO ing. Stefano Filippi
INGEGNERIA CIVILE ED AMBIENTALE

Via Fornaci, 6 - 38068 Rovereto (TN)
Tel./Fax 0464-438535

P.IVA 02068150222



Rovereto, aprile 2018



INDICE

1. PREMESSA	2
2. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	2
3. INTERVENTO 2) – CONSOLIDAMENTO MOVIMENTO FRANOSO.....	3
VERIFICA STATO ATTUALE.....	3
VERIFICA STATO DI PROGETTO	10
VERIFICA SETTO MURARIO TIRANTATO.....	21
VERIFICA TIRANTI.....	49
4. INTERVENTO 4) – CONSOLIDAMENTO STRADA	52

1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto di mitigazione del rischio di caduta massi e consolidamento di alcuni tratti della Strada Degli Altipiani.

I dati geotecnici sono stati ricavati dalla relazione geologica-geotecnica a firma del geologo dott. Stefano Facchinelli che è parte integrante della progettazione, mentre alcuni parametri sono stati desunti dalla letteratura in base a considerazioni fatte a seguito di sopralluoghi e comunque concordate con il geologo.

La relazione è strutturata in capitoli tematici nei quali vengono esaminati e calcolati i singoli interventi che compongono il progetto completo.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

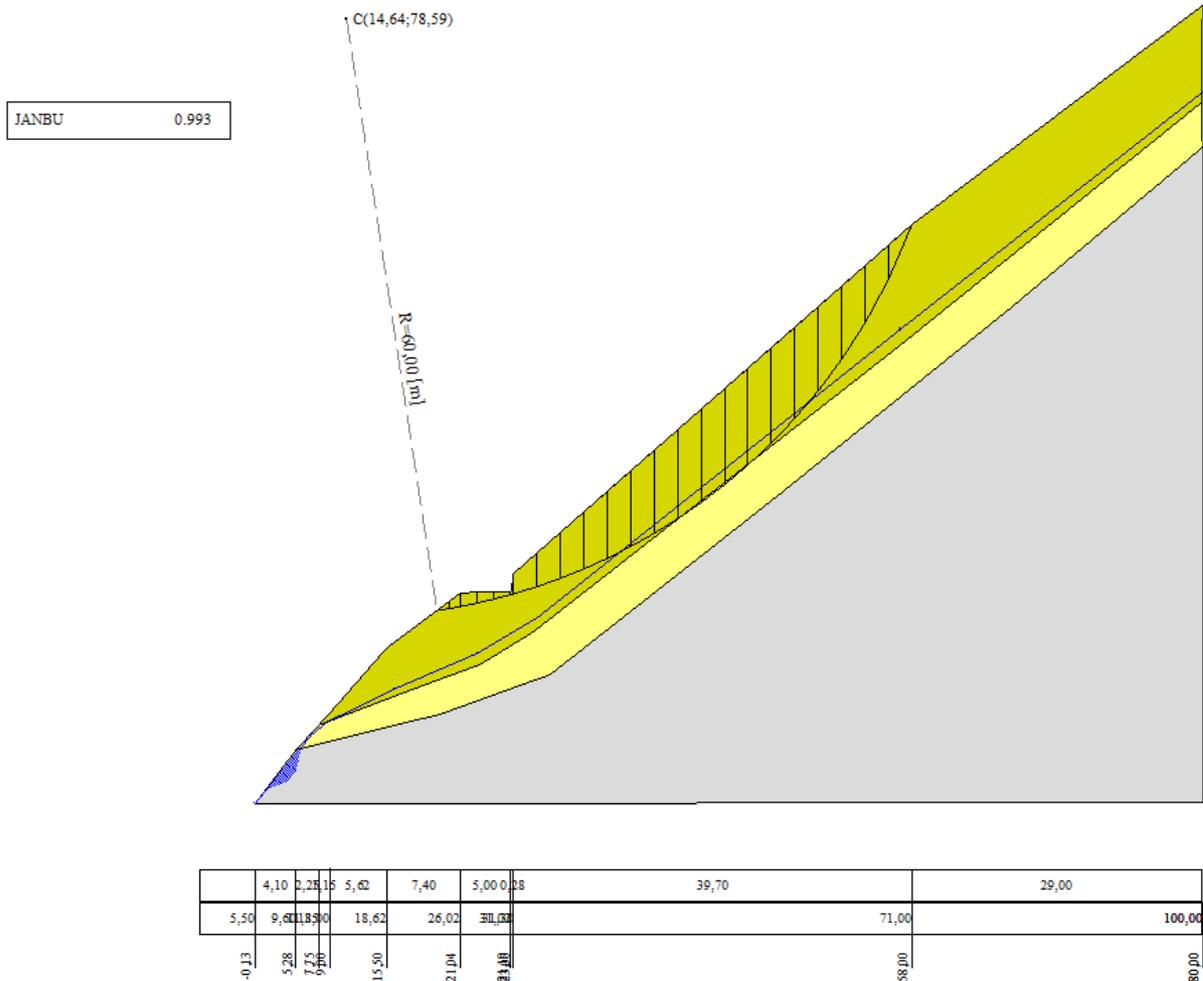
- **L.P. 10 settembre 1993**, n° 26 e s.m.
- **Regolamento di attuazione della L.P. 10 settembre 1993, n° 26** approvato con D.P.G.P. n° 12 – 10/LEG., dd. 30 settembre 1994.
- **Decreto ministeriale (infrastrutture e trasporti) 17 gennaio 2018** “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni (G.U. n. 42 - Suppl. Ord. n. 8 del 20 febbraio 2018)
- **Linea guida ETAG 027 “Falling Rock Protection Kits”**, certificazione barriere paramassi
- **Norma UNI 11211-1:2007**: “Opere di difesa dalla caduta massi - Parte 1: Termini e definizioni”
- **Norma UNI 11211-2:2007**: “Opere di difesa dalla caduta massi - Parte 2: Programma preliminare di intervento”
- **Norma UNI 11211-3:2010**: “Opere di difesa dalla caduta massi - Parte 3: Progetto preliminare”
- **Norma UNI 11211-4:2012**: “Opere di difesa dalla caduta massi - Parte 4: Progetto definitivo ed esecutivo”
- **Norma UNI EN 1537:2002**: “Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Tiranti di ancoraggio”
- **Raccomandazioni AICAP**: Ancoraggi nei terreni e nelle rocce.
- **Norma UNI EN 1537:2002**: “Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Tiranti di ancoraggio”

3. INTERVENTO 2) – CONSOLIDAMENTO MOVIMENTO FRANOSO

VERIFICA STATO ATTUALE

Sulla base delle considerazioni contenute nella perizia geologico-geotecnica a firma del dott. Stefano Facchinelli si è effettuata una verifica di stabilità del versante in frana condotta in "back analysis" imponendo un coefficiente di sicurezza di poco inferiore all'unità.

Il versante è stato ipotizzato nella geometria e con la situazione idrogeologico - stratigrafica mostrata nella figura sotto riportata.



Di seguito si riporta la relazione di verifica.

Normative di riferimento

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 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.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996



Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a **1.30**.

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare.

In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Nella descrizione dei metodi di calcolo si adatterà la seguente simbologia:

l	lunghezza della base della striscia
α	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
b	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
ϕ	angolo di attrito lungo la base della striscia
c	coesione lungo la base della striscia
γ	peso di volume del terreno
u	pressione neutra
W	peso della striscia
N	sforzo normale alla base della striscia
T	sforzo di taglio alla base della striscia
E_s, E_d	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
X_s, X_d	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
E_a, E_b	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
ΔX	variazione delle forze tangenziali sulla striscia ΔX = X_d - X_s
ΔE	variazione delle forze normali sulla striscia ΔE = E_d - E_s

Metodo di Janbu (semplificato)

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Janbu semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum [c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i]}{\sum [W_i \tan \alpha_i]}$$

dove il termine **N_i** è espresso da

$$N_i = [W_i - c_i l_i \sin \alpha_i / \eta + u_i l_i \tan \phi \sin \alpha_i / F] / m$$

dove il termine **m** è espresso da

$$m = \cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi) / F$$

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b_i** e **α_i** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i**-esima rispetto all'orizzontale, **W_i** è il peso della striscia **i**-esima, **c_i** e **φ_i** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u_i** è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Janbu semplificato** contiene al secondo membro il termine **m** che è funzione di **F**. Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per **F** da inserire nell'espressione di **m** ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

La semplificazione del metodo rispetto al procedimento completo consiste nel trascurare le forze tangenziali di interstriscia.

Dati

Descrizione terreno

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm ²
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm ²

n°	Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ'	c'
		[kg/mc]	[kg/mc]	[°]	[kg/cm ²]
1	SCIOLTO A'	1900	2000	30,00	0,000
2	CALCARI	2500	2550	32,00	2,700
3	SCIOLTO A	1850	2050	36,00	0,105

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	5,50	-0,13
2	9,60	5,28
3	11,85	7,75
4	13,00	9,00
5	18,62	15,50
6	26,02	21,04
7	31,02	21,19
8	31,30	23,00
9	71,00	58,00
10	100,00	80,00

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 2 (CALCARI)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	9,60	5,28
2	5,50	-0,13
3	100,00	0,00
4	100,00	65,77
5	80,65	49,47
6	57,67	30,82
7	34,94	12,83
8	23,95	8,85

Strato N° 2 costituito da terreno n° 1 (SCIOLTO A')

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	11,85	7,75
2	9,60	5,28
3	23,95	8,85
4	34,94	12,83
5	57,67	30,82
6	80,65	49,47

n°	X [m]	Y [m]
7	100,00	65,77
8	99,87	70,25
9	69,50	45,62
10	33,25	17,12
11	28,00	13,87
12	19,62	10,75

Strato N° 3 costituito da terreno n° 3 (SCIOLTO A)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

n°	X [m]	Y [m]
1	99,87	70,25
2	100,00	80,00
3	71,00	58,00
4	31,30	23,00
5	31,02	21,19
6	26,02	21,04
7	18,62	15,50
8	13,00	9,00
9	11,85	7,75
10	19,62	10,75
11	28,00	13,87
12	33,25	17,12
13	69,50	45,62

Descrizione falda

Livello di falda

n°	X [m]	Y [m]
1	5,50	-0,13
2	11,21	6,88
3	12,85	8,16
4	19,37	11,37
5	27,75	15,00
6	33,75	18,62
7	69,87	47,50
8	100,25	71,50

Dati zona sismica

Coefficiente sismico orizzontale (percento) 0.00
 Coefficiente sismico verticale (percento) 0.00
 Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale 0.00

Dati normativa

Normativa :

- D.M. 11/03/1988
- D.M. 16/01/1996

Coefficiente di sicurezza richiesto

Simbolo	Statico	Sismico
F _s	1.30	1.30

Impostazioni delle superfici di rottura

Superfici di rottura circolari

Si considerano le superfici passanti per i punti P1(24,00, 19,32) e P2(71,00, 58,00)

Opzioni di calcolo

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo:

- JANBU

Le superfici sono state analizzate solo in condizioni **statiche**.

Analisi condotta in termini di **tensioni efficaci**

Presenza di falda

Condizioni di esclusione

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a	1,00	m
- freccia inferiore a	0,50	m
- volume inferiore a	2,00	mc
- ascissa di intersezione a valle maggiore di	31,00	m
- pendenza media della superficie inferiore a	1.00	[%]

Risultati analisi

Numero di superfici analizzate	11
Coefficiente di sicurezza minimo	0.993
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
JANBU	11	0.993	1	1.106	11

Caratteristiche delle superfici analizzate

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N°	numero d'ordine della superficie cerchio
C _x	ascissa x del centro [m]
C _y	ordinata y del centro [m]
R	raggio del cerchio espresso in m
x _v	ascissa del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m
x _m	ascissa del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m
V	volume interessato dalla superficie espresso [mc]
F _s	coefficiente di sicurezza

Metodo di JANBU (J)

N°	Forma	C _x [m]	C _y [m]	R [m]	x _v [m]	x _m [m]	V [mc]	F _s	Caso	Sisma
1	C	14,64	78,59	60,00	23,65	71,00	283,90	0.993 (J)	--	H+V
2	C	14,27	79,03	60,50	23,65	71,00	280,56	1.017 (J)	--	H+V
3	C	13,91	79,48	61,00	23,64	71,00	277,29	1.056 (J)	--	H+V
4	C	13,54	79,92	61,50	23,64	71,00	274,09	1.076 (J)	--	H+V
5	C	13,18	80,37	62,00	23,64	71,00	270,96	1.081 (J)	--	H+V
6	C	12,81	80,81	62,50	23,64	71,00	267,89	1.085 (J)	--	H+V
7	C	12,45	81,25	63,00	23,63	71,00	264,88	1.090 (J)	--	H+V
8	C	12,09	81,69	63,50	23,63	71,00	261,93	1.094 (J)	--	H+V
9	C	11,72	82,13	64,00	23,63	71,00	259,03	1.099 (J)	--	H+V
10	C	11,36	82,57	64,50	23,62	71,00	256,20	1.103 (J)	--	H+V
11	C	11,00	83,01	65,00	23,62	71,00	253,41	1.106 (J)	--	H+V

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X _s	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y _{ss}	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y _{si}	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X _g	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y _g	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
L	sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
W	peso della striscia espresso in kg
Q	carico applicato sulla striscia espresso in kg
N	sforzo normale alla base della striscia espresso in kg
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg
U	pressione neutra alla base della striscia espressa in kg
E _s , E _d	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X _s , X _d	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
ID	Indice della superficie interessata dall'intervento

Superficie n° 1

Analisi della superficie 1

Numero di strisce	23	
Coordinate del centro	X[m]= 14,64	Y[m]= 78,59
Raggio del cerchio	R[m]= 60,00	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X _v [m]= 23,65	Y _v [m]= 19,27
Intersezione a monte con il profilo topografico	X _m [m]= 71,00	Y _m [m]= 58,00
Coefficiente di sicurezza	F _S = 0.993	

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s [m]	Y _{ss} [m]	Y _{si} [m]	X _d [m]	Y _{ds} [m]	Y _{di} [m]	X _g [m]	Y _g [m]	L [m]	α [°]	φ [°]	c [kg/cmq]
1	23,65	19,27	19,27	24,84	20,15	19,46	24,44	19,63	1,20	9,21	36,00	0,10
2	24,84	20,15	19,46	26,02	21,04	19,67	25,49	20,11	1,20	10,36	36,00	0,11
3	26,02	21,04	19,67	27,69	21,09	20,02	26,82	20,45	1,70	11,74	36,00	0,11
4	27,69	21,09	20,02	29,35	21,14	20,42	28,47	20,66	1,71	13,38	36,00	0,11
5	29,35	21,14	20,42	31,02	21,19	20,86	30,08	20,89	1,73	15,02	36,00	0,11
6	31,02	21,19	20,86	31,30	23,00	20,94	31,19	21,61	0,29	15,98	36,00	0,11
7	31,30	23,00	20,94	33,64	25,06	21,67	32,56	22,73	2,45	17,29	36,00	0,11
8	33,64	25,06	21,67	35,97	27,12	22,50	34,86	24,13	2,48	19,64	36,00	0,11
9	35,97	27,12	22,50	38,31	29,18	23,45	37,18	25,59	2,52	22,03	36,00	0,10
10	38,31	29,18	23,45	40,64	31,24	24,51	39,50	27,11	2,57	24,45	36,00	0,11
11	40,64	31,24	24,51	42,98	33,29	25,70	41,83	28,70	2,62	26,93	36,00	0,10
12	42,98	33,29	25,70	45,31	35,35	27,02	44,16	30,35	2,68	29,46	36,00	0,11
13	45,31	35,35	27,02	47,65	37,41	28,48	46,49	32,08	2,76	32,06	36,00	0,11
14	47,65	37,41	28,48	49,98	39,47	30,10	48,82	33,87	2,84	34,73	31,11	0,02
15	49,98	39,47	30,10	52,32	41,53	31,89	51,16	35,75	2,94	37,49	30,00	0,00
16	52,32	41,53	31,89	54,65	43,59	33,87	53,49	37,72	3,06	40,36	30,00	0,00
17	54,65	43,59	33,87	56,99	45,65	36,08	55,82	39,79	3,21	43,36	34,81	0,08
18	56,99	45,65	36,08	59,32	47,71	38,54	58,15	41,99	3,39	46,51	36,00	0,11
19	59,32	47,71	38,54	61,66	49,76	41,31	60,48	44,31	3,62	49,86	36,00	0,10
20	61,66	49,76	41,31	63,99	51,82	44,46	62,80	46,81	3,92	53,47	36,00	0,11
21	63,99	51,82	44,46	66,33	53,88	48,12	65,11	49,51	4,34	57,41	36,00	0,10
22	66,33	53,88	48,12	68,66	55,94	52,48	67,40	52,47	4,95	61,84	36,00	0,11
23	68,66	55,94	52,48	71,00	58,00	58,00	69,44	55,47	5,99	67,07	36,00	0,11

Forze applicate sulle strisce [JANBU]

N°	W [kg]	Q [kg]	N [kg]	T [kg]	U [kg]	E _s [kg]	E _d [kg]	X _s [kg]	X _d [kg]	ID
1	762	0	506	1640	0	0	1538	0	0	
2	2258	0	1820	2605	0	1538	3773	0	0	



N°	W [kg]	Q [kg]	N [kg]	T [kg]	U [kg]	E _s [kg]	E _d [kg]	X _s [kg]	X _d [kg]	ID
3	3753	0	3003	3997	0	3773	7076	0	0	
4	2762	0	2052	3313	0	7076	9825	0	0	
5	1616	0	990	2549	0	9825	12030	0	0	
6	617	0	457	643	0	12030	12522	0	0	
7	11758	0	9374	9446	0	12522	18756	0	0	
8	17282	0	13808	12726	0	18756	26101	0	0	
9	22336	0	17760	15660	0	26101	33958	0	0	
10	26896	0	21244	18258	0	33958	41784	0	0	
11	30965	0	24294	20547	0	41784	49101	0	0	
12	34685	0	25964	21835	1538	49101	54587	0	0	
13	37793	0	27344	22923	2893	54587	57966	0	0	
14	40176	0	31372	19622	3911	57966	53991	0	0	
15	41765	0	33270	19346	4528	53991	46335	0	0	
16	42499	0	34214	19895	4651	46335	36326	0	0	
17	42253	0	30937	24393	4143	36326	29977	0	0	
18	40849	0	29794	25391	2795	29977	23806	0	0	
19	38130	0	29090	25118	272	23806	17551	0	0	
20	34161	0	26053	23213	0	17551	10435	0	0	
21	28356	0	21203	20101	0	10435	3397	0	0	
22	19934	0	13715	15270	0	3397	-1490	0	0	
23	7478	0	1542	7467	0	-1490	0	0	0	

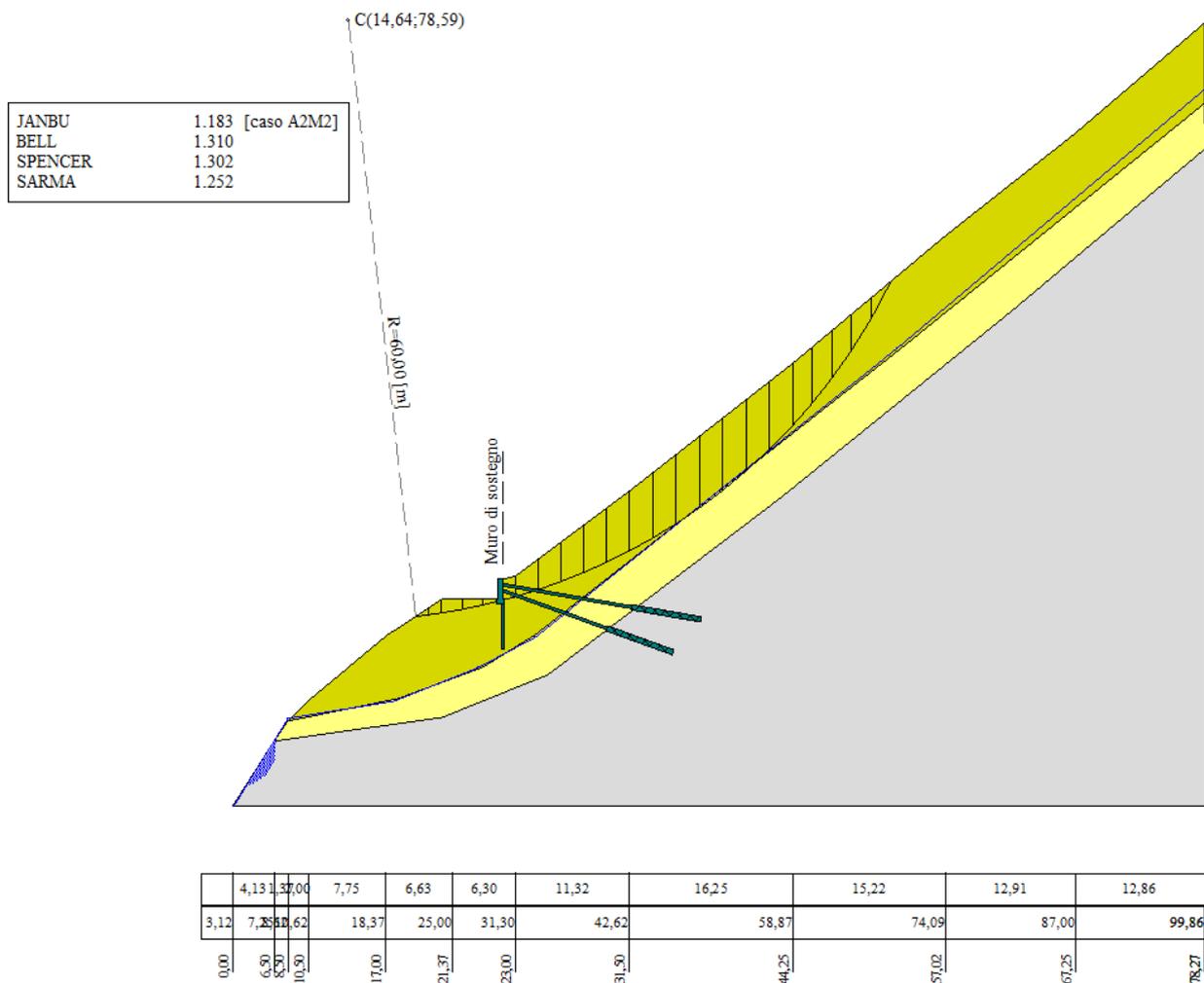
VERIFICA STATO DI PROGETTO

Con la sezione stratigrafica verificata allo stato attuale si è effettuata una verifica allo stato di progetto verificando la stabilità del pendio inserendo il setto murario tirantato e fondato su micropali.

Dalle verifiche che si riportano nel proseguo della relazione, si ottiene un valore del coefficiente di sicurezza $F_s = 1.183$, non eccezionale ma a parere dello scrivente adeguato allo stato dei luoghi e comunque il massimo ottenibile con le risorse a disposizione. In ogni caso le verifiche dimostrano come le opere inserite riescano a stabilizzare la frana.

Si precisa infine che la verifica è stata effettuata nel punto centrale del movimento franoso estendendo l'intervento anche alle zone laterali che sono interessate da una superficie di scivolamento inferiore; nel complesso l'intervento risulta pertanto adeguato.

Si precisa comunque che svolgendo le verifiche con altri metodi di calcolo i coefficienti di sicurezza si incrementano fino a circa 1,3.



Normative di riferimento

- Legge nr. 64 del 02/02/1974. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 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.
- D.M. 16 Gennaio 1996. Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C. Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)

Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a **1.20**.

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare.

In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Nella descrizione dei metodi di calcolo si adotterà la seguente simbologia:

<i>l</i>	lunghezza della base della striscia
α	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
<i>b</i>	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
ϕ	angolo di attrito lungo la base della striscia
<i>c</i>	coesione lungo la base della striscia
γ	peso di volume del terreno
<i>u</i>	pressione neutra
W	peso della striscia
N	sforzo normale alla base della striscia
T	sforzo di taglio alla base della striscia
E_s, E_d	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
X_s, X_d	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
E_a, E_b	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
ΔX	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
ΔE	variazione delle forze normali sulla striscia $\Delta E = E_d - E_s$

Metodo di Janbu (semplificato)

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Janbu semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum [c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i]}{\sum [W_i \tan \alpha_i]}$$

dove il termine **N_i** è espresso da

$$N_i = [W_i - c_i l_i \sin \alpha_i / \eta + u_i l_i \tan \phi \sin \alpha_i / F] / m$$

dove il termine **m** è espresso da

$$m = \cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi) / F$$

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b_i** e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i**-esima rispetto all'orizzontale, **W_i** è il peso della striscia **i**-esima, **c_i** e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u_i** è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Janbu semplificato** contiene al secondo membro il termine **m** che è funzione di **F**. Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per **F** da inserire nell'espressione di **m** ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

La semplificazione del metodo rispetto al procedimento completo consiste nel trascurare le forze tangenziali di interstriscia.

Metodo di Sarma

Il metodo di **Sarma** permette di determinare un determinato valore per un'accelerazione orizzontale uniforme che sarà la causa del cedimento del pendio (accelerazione critica *k*).

Per determinare un coefficiente di sicurezza ordinario, si opera riducendo i parametri di resistenza del terreno fino a quando si richiede un fattore di accelerazione orizzontale pari a zero.

Le equazioni da prendere in considerazione sono: l'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale nonché l'equazione di equilibrio dei momenti. Di seguito vengono riportate le equazioni.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i &= k W_i + \Delta E_i \end{aligned}$$

Dalla prima di questa relazione insieme al criterio di Mohr-Coulomb, che mette in relazione le forze **N** e **T**:

$$T_i = (N_i - U_i) \tan \phi_i + c_i b_i / \cos \alpha_i$$

si ottiene l'espressione per la sostituzione di entrambe le forze **N** e **T** nella seconda equazione cioè:

$$N_i = \frac{(W_i - \Delta X_i - c_i b_i \tan \alpha_i + U_i \tan \phi_i \sin \alpha_i) \cos \phi_i}{\cos \alpha_i \cos \phi_i + \sin \phi_i \sin \alpha_i}$$

La seconda equazione diventa:

$$T_i = \frac{(W_i - \Delta X_i - U_i \cos \alpha_i) \sin \phi_i - c_i b_i \cos \alpha_i}{\cos \alpha_i \cos \phi_i + \sin \phi_i \sin \alpha_i}$$

la quale fornisce un'espressione per la massima forza sismica orizzontale che può essere sopportata **kW_i** che è la seguente:

$$kW_i = D_i - \Delta E_i - \Delta X_i \tan (\phi_i - \alpha_i)$$

nella quale **D_i** ha l'espressione:

$$D_i = W_i \tan (\phi_i - \alpha_i) + \frac{c_i b_i \cos \phi_i / \cos \alpha_i + U_i \sin \phi_i}{\cos \phi_i \cos \alpha_i + \sin \phi_i \sin \alpha_i}$$

Tutte le grandezze contrassegnate con il pedice **i** sono da intendersi riferite alla striscia **i-esima**. A questo punto i valori ottenuti per tutte le strisce possono essere sommati per ottenere la forza sismica orizzontale totale **kΣW_i**. Fatto ciò si trova che la somma **ΣΔE** deve essere nulla. Anche **ΣΔX** deve esserlo, ma quando i termini individuali vengono moltiplicati per un diverso coefficiente si ottiene un risultato diverso da zero. Quindi:

$$\Sigma \Delta X_i \tan (\phi_i - \alpha_i) + \Sigma kW_i = \Sigma D_i \quad \text{(A)}$$

L'espressione dell'equilibrio del momento rispetto al centro di gravità della massa che scivola è data da:

$$\Sigma (T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i)(y_i - y_g) + \Sigma (N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i)(x_i - x_g) = 0$$

Nell'espressione **x_i** ed **y_i** sono le coordinate del punto medio della base della striscia.

Con la scelta del punto al quale è riferita l'espressione dei momenti, si annullano le somme di **W** e **KW**. Inoltre le forze di interstriscia non danno momento.

La condizione del momento, tenendo conto dell'espressione **(A)** e della relazione di Mohr-Coulomb, può essere riscritta come:

$$\Sigma \Delta X_i [(y_i - y_g) \tan (\phi_i - \alpha_i) + (x_i - x_g)] = \Sigma W_i (x_i - x_g) + \Sigma D_i (y_i - y_g)$$

Sarma definisce ogni **ΔX** nella forma:

$$\Delta X = \lambda \psi_i$$

in cui **ψ_i** è noto e **Σψ_i = 0**.

A questo punto le due equazioni che permettono la soluzione del problema sono:

$$\begin{aligned} \lambda \Sigma \psi_i \tan (\phi_i - \alpha_i) + k \Sigma W_i &= \Sigma D_i \\ \lambda \Sigma \psi_i [(y_i - y_g) \tan (\phi_i - \alpha_i) + (x_i - x_g)] &= \Sigma W_i (x_i - x_g) + \Sigma D_i (y_i - y_g) \end{aligned}$$

Da queste due equazioni si ricavano:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\Sigma W_i (x_i - x_g) + \Sigma D_{bi} (y_i - y_g)}{\Sigma \psi_i [(y_i - y_g) \tan (\phi_i - \alpha_i) + (x_i - x_g)]} \\ k &= \frac{(\Sigma D_i - \lambda \Sigma \psi_{bi} \tan (\phi_i - \alpha_i))}{\Sigma W_i} \end{aligned}$$

La funzione **ψ** viene definita da Sarma in funzione delle caratteristiche del terreno e dello stato tensionale locale lungo le interfacce delle strisce.

Dati

Descrizione terreno

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cmq
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cmq

n°	Descrizione	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	ϕ' [°]	c' [kg/cmq]
1	SCIOLTO A'	1900	2000	30,00	0,000
2	CALCARI	2500	2550	32,00	2,700
3	SCIOLTO A	1850	2050	36,00	0,105

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

n°	X [m]	Y [m]
1	3,12	0,00
2	7,25	6,50
3	8,62	8,50
4	10,62	10,50
5	18,37	17,00
6	25,00	21,37
7	31,30	23,00
8	42,62	31,50
9	58,87	44,25
10	74,09	57,02
11	87,00	67,25
12	99,86	78,27

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 2 (CALCARI)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

n°	X [m]	Y [m]
1	7,25	6,50
2	3,12	0,00
3	100,00	0,00
4	100,00	65,77
5	80,65	49,47
6	57,67	30,82
7	34,50	13,12
8	23,95	8,85

Strato N° 2 costituito da terreno n° 1 (SCIOLTO A')

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

n°	X [m]	Y [m]
1	8,62	8,50
2	7,25	6,50
3	23,95	8,85
4	34,50	13,12

n°	X [m]	Y [m]
5	57,67	30,82
6	80,65	49,47
7	100,00	65,77
8	99,87	70,25
9	69,50	45,62
10	33,25	17,12
11	28,00	13,87
12	19,62	10,75

Strato N° 3 costituito da terreno n° 3 (SCIOLTO A)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

n°	X [m]	Y [m]
1	99,87	70,25
2	99,86	78,27
3	87,00	67,25
4	74,09	57,02
5	58,87	44,25
6	42,62	31,50
7	31,30	23,00
8	25,00	21,37
9	18,37	17,00
10	10,62	10,50
11	8,62	8,50
12	19,62	10,75
13	28,00	13,87
14	33,25	17,12
15	69,50	45,62

Descrizione falda

Livello di falda

n°	X [m]	Y [m]
1	3,25	0,00
2	8,62	8,75
3	19,25	10,50
4	27,62	13,87
5	33,25	16,87
6	69,25	45,75
7	100,00	71,75

Interventi inseriti

Numero interventi inseriti 1

Muro con 2 file di tiranti e 1 file di pali - Muro di sostegno

Grado di sicurezza desiderato a monte	1,30	
Ascissa sul profilo (quota testa muro)	30,00	m
Altezza paramento	2,00	m
Spessore in testa	0,50	m
Inclinazione esterna	0,000	
Inclinazione interna	0,000	
Spessore alla base	0,50	m
Lunghezza mensola fondazione valle	0,15	m
Lunghezza mensola fondazione monte	0,20	m
Lunghezza fondazione totale	0,85	m
Spessore fondazione	0,50	m
Resistenza caratteristica a compressione del cls (Rbk)	250	kg/cm ²
Percentuale di armatura zona tesa	0,30	%
Percentuale di armatura zona compressa	0,15	%
Altezza di scavo	2,00	m



Pali del muro

Fila di pali n° 1 - Micropali

Posizione rispetto alla testa (positiva verso destra)	0,00	m
Lunghezza pali	4,50	m
Diametro pali	0,30	m
Interasse pali	2,00	m
Ascissa rispetto allo spigolo di monte della fondazione	30,00	m
Diametro tubolare	139,70	mm
Spessore tubolare	10,00	mm
Resistenza caratteristica a compressione del cls (Rbk)	250	kg/cmq

Tiranti del muro

Fila di tiranti n° 1 - Tiranti passivi

Posizione rispetto alla testa (positiva verso il basso)	0,40	m
Lunghezza totale tiranti	20,00	m
Lunghezza fondazione tiranti	7,00	m
Inclinazione tiranti	10,00	
Interasse tiranti	2,00	m
Diametro tiranti	26,50	cm
Resistenza caratteristica a compressione del cls (Rbk)	300	kg/cmq
Resistenza trazione (per tirante)	30000	kg
Resistenza taglio (per tirante)	0	kg

Fila di tiranti n° 2 - Tiranti passivi

Posizione rispetto alla testa (positiva verso il basso)	1,00	m
Lunghezza totale tiranti	18,00	m
Lunghezza fondazione tiranti	7,00	m
Inclinazione tiranti	20,00	
Interasse tiranti	2,00	m
Diametro tiranti	26,50	cm
Resistenza caratteristica a compressione del cls (Rbk)	300	kg/cmq
Resistenza trazione (per tirante)	30000	kg
Resistenza taglio (per tirante)	0	kg

Dati zona sismica

Identificazione del sito

Latitudine	46.016426
Longitudine	11.638121
Comune	Grigno
Provincia	Trento
Regione	Trentino-Alto Adige
Punti di interpolazione del reticolo	10075 - 10297 - 10298 - 10076

Tipo di opera

Tipo di costruzione	Opera ordinaria
Vita nominale	100 anni
Classe d'uso	I - Presenza occasionale di persone
Vita di riferimento	70 anni
Accelerazione al suolo $a_g =$	1.465 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S_s)	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica (S_t)	1.20
Coefficiente riduzione (β_s)	0.24
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.00
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_s * S_t * S) = 5.16$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.00 * k_h = 0.00$

Dati normativa

Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 17/01/2018



Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto	Simbologia	A2 Statico	A2 Sismico
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.30	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri	Simbologia	M2 Statico	M2 Sismico
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi}$	1.25	1.00
Coesione efficace	γ_c	1.25	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.40	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_t	1.00	1.00

Coefficiente di sicurezza richiesto

Tipo calcolo	Simbolo	Statico	Sismico
Pendio naturale	γ_R	1.00	1.00
Fronte di scavo	γ_R	1.10	1.20

Impostazioni delle superfici di rottura

Superfici di rottura circolari

Si considerano le superfici passanti per i punti P1(24,00, 19,32) e P2(71,00, 58,00)

Opzioni di calcolo

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo:

- JANBU
- BELL
- SPENCER
- SARMA

Le superfici sono state analizzate solo in condizioni **sismiche**.

Le superfici sono state analizzate per i casi:

- Parametri caratteristici [PC];
- Parametri di progetto [A2-M2]
- Sisma orizzontale e Sisma verticale (verso il basso e verso l'alto)

Analisi condotta in termini di **tensioni efficaci**

Presenza di falda

Condizioni di esclusione

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- | | | |
|---|-------|-----|
| - lunghezza di corda inferiore a | 1,00 | m |
| - freccia inferiore a | 0,50 | m |
| - volume inferiore a | 2,00 | mc |
| - ascissa di intersezione a valle maggiore di | 31,00 | m |
| - pendenza media della superficie inferiore a | 1.00 | [%] |

Risultati analisi

Numero di superfici analizzate	6
Coefficiente di sicurezza minimo	1.252
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
JANBU	6	1.183	1	1.344	6
BELL	6	1.310	1	1.471	6
SPENCER	6	1.302	1	1.467	6
SARMA	6	1.252	1	1.390	6

Caratteristiche delle superfici analizzate

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N°	numero d'ordine della superficie cerchio
C _x	ascissa x del centro [m]
C _y	ordinata y del centro [m]
R	raggio del cerchio espresso in m
X _v	ascissa del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m
X _m	ascissa del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m
V	volume interessato dalla superficie espresso [mc]
F _s	coefficiente di sicurezza
caso	caso di calcolo

Metodo di JANBU (J)

Metodo di SARMA (S)

N°	Forma	C _x [m]	C _y [m]	R [m]	X _v [m]	X _m [m]	V [mc]	F _s	Caso	Sisma
1	C	14,64	78,59	60,00	21,35	68,66	205,54	1.183 (J)	[A2M2]	H
--	--	--	--	--	--	--	--	1.252 (S)	--	--
2	C	14,27	79,03	60,50	21,32	68,61	202,29	1.210 (J)	[A2M2]	H
--	--	--	--	--	--	--	--	1.272 (S)	--	--
3	C	14,64	78,59	60,00	21,35	68,66	205,54	1.254 (J)	[PC]	H
--	--	--	--	--	--	--	--	1.314 (S)	--	--
4	C	13,91	79,48	61,00	21,30	68,55	199,12	1.268 (J)	[A2M2]	H
--	--	--	--	--	--	--	--	1.322 (S)	--	--
5	C	14,27	79,03	60,50	21,32	68,61	202,29	1.282 (J)	[PC]	H
--	--	--	--	--	--	--	--	1.337 (S)	--	--
6	C	13,91	79,48	61,00	21,30	68,55	199,12	1.344 (J)	[PC]	H
--	--	--	--	--	--	--	--	1.390 (S)	--	--

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X _s	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y _{ss}	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y _{si}	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X _g	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y _g	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
L	sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
W	peso della striscia espressa in kg
Q	carico applicato sulla striscia espressa in kg
N	sforzo normale alla base della striscia espresso in kg
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg
U	pressione neutra alla base della striscia espressa in kg
E _s , E _d	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X _s , X _d	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
ID	Indice della superficie interessata dall'intervento

Superficie n° 1

Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso l'alto

Numero di strisce	23	
Coordinate del centro	X[m]= 14,64	Y[m]= 78,59
Raggio del cerchio	R[m]= 60,00	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X _v [m]= 21,35	Y _v [m]= 18,96
Intersezione a monte con il profilo topografico	X _m [m]= 68,66	Y _m [m]= 52,46
Coefficiente di sicurezza	F _s = 1.252	

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s [m]	Y _{ss} [m]	Y _{si} [m]	X _d [m]	Y _{ds} [m]	Y _{di} [m]	X _g [m]	Y _g [m]	L [m]	α [°]	φ [°]	c [kg/cmq]
1	21,35	18,96	18,96	22,64	19,81	19,12	22,21	19,30	1,30	7,04	36,00	0,11
2	22,64	19,81	19,12	23,93	20,66	19,31	23,35	19,75	1,30	8,28	36,00	0,11
3	23,93	20,66	19,31	25,95	20,66	19,66	24,89	20,07	2,05	9,88	36,00	0,10
4	25,95	20,66	19,66	27,98	20,66	20,09	26,87	20,26	2,07	11,85	36,00	0,11
5	27,98	20,66	20,09	30,00	20,66	20,58	28,73	20,47	2,08	13,84	36,00	0,11
6	30,00	22,66	20,58	31,30	23,00	20,94	30,65	21,80	1,35	15,47	36,00	0,11
7	31,30	23,00	20,94	33,56	24,70	21,65	32,51	22,61	2,37	17,25	36,00	0,10
8	33,56	24,70	21,65	35,83	26,40	22,45	34,74	23,83	2,40	19,53	36,00	0,11
9	35,83	26,40	22,45	38,09	28,10	23,36	36,99	25,10	2,44	21,84	36,00	0,10
10	38,09	28,10	23,36	40,36	29,80	24,38	39,25	26,42	2,48	24,19	36,00	0,11
11	40,36	29,80	24,38	42,62	31,50	25,51	41,51	27,81	2,53	26,59	36,00	0,10
12	42,62	31,50	25,51	44,94	33,32	26,80	43,80	29,29	2,66	29,06	36,00	0,11
13	44,94	33,32	26,80	47,26	35,14	28,23	46,11	30,88	2,73	31,63	36,00	0,10
14	47,26	35,14	28,23	49,58	36,96	29,81	48,43	32,54	2,81	34,28	32,25	0,04
15	49,58	36,96	29,81	51,91	38,79	31,56	50,75	34,28	2,91	37,01	30,00	0,00
16	51,91	38,79	31,56	54,23	40,61	33,50	53,06	36,11	3,02	39,84	30,00	0,00
17	54,23	40,61	33,50	56,55	42,43	35,65	55,38	38,04	3,16	42,79	33,86	0,07
18	56,55	42,43	35,65	58,87	44,25	38,04	57,69	40,08	3,34	45,90	36,00	0,11
19	58,87	44,25	38,04	60,83	45,89	40,29	59,83	42,10	2,98	48,91	36,00	0,11
20	60,83	45,89	40,29	62,78	47,53	42,78	61,78	44,09	3,17	51,84	36,00	0,11
21	62,78	47,53	42,78	64,74	49,18	45,57	63,72	46,21	3,41	54,99	36,00	0,10
22	64,74	49,18	45,57	66,70	50,82	48,75	65,63	48,47	3,73	58,40	36,00	0,11
23	66,70	50,82	48,75	68,66	52,46	52,46	67,35	50,68	4,19	62,18	36,00	0,11

Forze applicate sulle strisce [JANBU]

N°	W [kg]	Q [kg]	N [kg]	T [kg]	U [kg]	E _s [kg]	E _d [kg]	X _s [kg]	X _d [kg]	ID
1	826	0	641	1548	0	0	1390	0	0	
2	2445	0	2113	2455	0	1390	3316	0	0	
3	4413	0	3760	4131	0	3316	6379	0	0	
4	2957	0	2336	3269	0	6379	8857	0	0	
5	1229	0	704	2282	0	8857	10804	0	0	
6	4972	0	-3201	-768	0	10804	40352	0	0	
7	10697	0	8859	7542	0	40352	44054	0	0	
8	14663	0	12155	9594	0	44054	47834	0	0	
9	18201	0	15040	11398	0	47834	51330	0	0	
10	21291	0	17520	12959	0	51330	54231	0	0	
11	23909	0	19592	14275	0	54231	56275	0	0	
12	26874	0	21947	15831	0	56275	57254	0	0	
13	28855	0	23509	16853	0	57254	56915	0	0	
14	30215	0	26351	14987	0	56915	51989	0	0	
15	30899	0	28290	13802	0	51989	43458	0	0	
16	30804	0	28511	13910	0	43458	33356	0	0	
17	29835	0	25567	16301	0	33356	25511	0	0	
18	27898	0	22670	16878	0	25511	18699	0	0	
19	21391	0	17321	13277	0	18699	12622	0	0	
20	18764	0	15041	12045	0	12622	6702	0	0	
21	15142	0	11762	10248	0	6702	1711	0	0	
22	10272	0	7115	7682	0	1711	-1163	0	0	
23	3743	0	447	3996	0	-1163	0	0	0	



Forze applicate sulle strisce [SARMA]

N°	W [kg]	Q [kg]	N [kg]	T [kg]	U [kg]	E _s [kg]	E _d [kg]	X _s [kg]	X _d [kg]	ID
1	826	0	3103	2795	0	0	2326	0	-2596	
2	2445	0	5825	4292	0	2326	5535	-2596	-6534	
3	4413	0	1470	2530	0	5535	7415	-6534	-4003	
4	2957	0	370	1938	0	7415	8994	-4003	-1805	
5	1229	0	8329	6321	0	8994	13039	-1805	-10175	
6	4972	0	-3851	29981	0	13039	42554	-10175	-9492	
7	10697	0	15347	10413	0	42554	47073	-9492	-16539	
8	14663	0	18628	12241	0	47073	51184	-16539	-23524	
9	18201	0	20884	13510	0	51184	54467	-23524	-29734	
10	21291	0	22325	14337	0	54467	56656	-29734	-34682	
11	23909	0	23107	14808	0	56656	57603	-34682	-38065	
12	26874	0	24857	15873	0	57603	57206	-38065	-40629	
13	28855	0	18306	12336	0	57206	55749	-40629	-33830	
14	30215	0	23261	12115	0	55749	50190	-33830	-29659	
15	30899	0	28045	12469	0	50190	40741	-29659	-28661	
16	30804	0	31023	13793	0	40741	28940	-28661	-30514	
17	29835	0	22873	13388	0	28940	20788	-30514	-26558	
18	27898	0	17786	12562	0	20788	14478	-26558	-20059	
19	21391	0	12787	9517	0	14478	9348	-20059	-14245	
20	18764	0	9918	8102	0	9348	5020	-14245	-7980	
21	15142	0	6211	6271	0	5020	2294	-7980	-1537	
22	10272	0	-145	3054	0	2294	3178	-1537	6210	
23	3743	0	7184	7462	0	3178	0	6210	0	

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi e le verifiche di stabilità sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

I metodi di calcolo implementati sono i classici metodi delle strisce, basati sul concetto dell'equilibrio limite globale. La superficie di rottura è suddivisa in un determinato numero di strisce che consentono di calcolare le grandezze che entrano in gioco nelle equazioni risolutive.

Nel modulo terreni si adotta il criterio di rottura di Mohr-Coulomb. Nel modulo rocce si può adottare il criterio di rottura di Hoek-Brown o di Barton.

Il programma consente di inserire degli interventi di stabilizzazione, che possono intervenire secondo sue modalità diverse: variazione delle forze di interstriscia o resistenza a taglio equivalente.

L'analisi sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	STAP - Stabilità Pendii Terreni e Rocce
Versione	14.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casali del Manco - Loc. Casole Bruzio (CS)
Utente	ing. Filippo Stefano
Licenza	AIU1847LP

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 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.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale

Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali

Calcolo della spinta sul muro

Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite gli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valori di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze.

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali γ . In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo **A2-M2** nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e incrementati i soli carichi variabili.

Metodo di Culmann

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.

La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana). La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

Detta ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta S' considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$ essendo k_h il coefficiente sismico orizzontale e k_v il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di k_h .
In presenza di falda a monte, θ assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \arctg[(\gamma_{sat}/(\gamma_{sat}-\gamma_w)) * (k_h/(1 \pm k_v))]$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \arctg[(\gamma/(\gamma_{sat}-\gamma_w)) * (k_h/(1 \pm k_v))]$$

Detta S la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente A vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta \cos\theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente A si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di θ .

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente A viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico. Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{iH} = k_h W \quad F_{iV} = \pm k_v W$$

dove W è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante M_r) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante M_s) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto M_s/M_r sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_r .

Eseguito il calcolo mediante gli eurocodici si può impostare $\eta_r \geq 1.0$.

Deve quindi essere verificata la seguente diseuguaglianza

$$\frac{M_s}{M_r} \geq \eta_r$$

Il momento ribaltante M_r è dato dalla componente orizzontale della spinta S , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.

Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s .
Eseguito il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_s \geq 1.0$



$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_r sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_r l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_r + c_a B_r$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_r , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_r pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q . Cioè, detto Q_u , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_q \geq 1.0$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_{c,i_c} + q N_q d_{q,i_q} + 0.5 \gamma B N_\gamma d_{\gamma,i_\gamma}$$

In questa espressione

c	coesione del terreno in fondazione;
ϕ	angolo di attrito del terreno in fondazione;
γ	peso di volume del terreno in fondazione;
B	larghezza della fondazione;
D	profondità del piano di posa;
q	pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \operatorname{tg} \phi}$$

$$N_q = A \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \operatorname{tg} (1.4\phi)$$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

I fattori d e i che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

Fattori di profondità

$$d_q = 1 + 0.2 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \phi = 0$$



$$d_q = d_y = 1 + 0.1 \frac{D}{B} \sqrt{K_p} \quad \text{per } \phi > 0$$

Fattori di inclinazione

Indicando con θ l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale (espresso in gradi) e con ϕ l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c = i_q = (1 - \theta^\circ/90)^\phi$$

$$i_y = (1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ})^2 \quad \text{per } \phi > 0$$

$$i_y = 0 \quad \text{per } \phi = 0$$

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a η_g

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_g \geq 1.0$

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro o con i pali di fondazione. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del muro. Il numero di strisce è pari a 50.

Il coefficiente di sicurezza fornito da Fellenius si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i^n (\frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + [W_i \cos \alpha_i - u_i l_i] \tan \phi_i)}{\sum_i^n W_i \sin \alpha_i}$$

dove n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima e c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre u_i ed l_i rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ($l_i = b_i / \cos \alpha_i$).

Quindi, assunto un cerchio di tentativo lo si suddivide in n strisce e dalla formula precedente si ricava η . Questo procedimento viene eseguito per il numero di centri prefissato e viene assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.



Normativa

N.T.C. 2018

Simbologia adottata

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{Qfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
γ_c	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_r	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2	EQU	HYD
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00	1,00	0,90
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00	1,30	1,10
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30	1,50	1,50

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri			M1	M2	M2	M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi}$		1,00	1,25	1,25	1,00
Coesione efficace	γ_c		1,00	1,25	1,25	1,00
Resistenza non drenata	γ_{cu}		1,00	1,40	1,40	1,00
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}		1,00	1,60	1,60	1,00
Peso dell'unità di volume	γ_r		1,00	1,00	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2	EQU	HYD
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00	1,00	0,90
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00	1,00	1,10
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00	1,00	1,50

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri			M1	M2	M2	M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi}$		1,00	1,00	1,00	1,00
Coesione efficace	γ_c		1,00	1,00	1,00	1,00
Resistenza non drenata	γ_{cu}		1,00	1,00	1,00	1,00
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}		1,00	1,00	1,00	1,00
Peso dell'unità di volume	γ_r		1,00	1,00	1,00	1,00

FONDAZIONE SUPERFICIALE

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica

	R1	Coefficienti parziali	
		R2	R3
Capacità portante della fondazione	1,00	1,00	1,40
Scorrimento	1,00	1,00	1,10
Resistenza del terreno a valle	1,00	1,00	1,40
Stabilità globale		1,10	

TIRANTI DI ANCORAGGIO

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche dei tiranti

Resistenza		Tiranti
Laterale	γ_{st}	1,20

Coefficienti di riduzione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti.

Numero di verticali indagate	1	$\xi_3=1,80$	$\xi_4=1,80$
------------------------------	---	--------------	--------------



Geometria muro e fondazione

Descrizione	Muro a mensola in c.a.
Altezza del paramento	1,50 [m]
Spessore in sommità	0,30 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,30 [m]
Inclinazione paramento esterno	0,00 [°]
Inclinazione paramento interno	0,00 [°]
Lunghezza del muro	15,00 [m]
Fondazione	
Lunghezza mensola fondazione di valle	0,00 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0,00 [m]
Lunghezza totale fondazione	0,30 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [°]
Spessore fondazione	0,00 [m]
Spessore magrone	0,10 [m]

Descrizione tiranti di ancoraggio

Numero di file di tiranti	2		
Tiranti attivi armati con trefoli			
		MEDIO	MINIMO
Angolo d'attrito tirante-terreno (°)		20,00	20,00
Aderenza tirante-terreno kg/cmq		2,00	2,00
Coefficiente di espansione laterale		1,10	
Superficie di ancoraggio:		ANGOLO DI ROTTURA	
Coefficiente di spinta:		SPINTA A RIPOSO	
Coefficiente di cadute di tensione		1,30	

Simbologia adottata

N	numero d'ordine della fila
Y	ordinata della fila misurata dalla testa del muro espressa in [m]
Nr.	numero di tiranti della fila
D	diametro della perforazione espresso in [cm]
alfa	inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
ALL	allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
At	area del singolo trefolo espressa in [cmq]
nt	numero di trefoli del tirante
T	tiro iniziale espresso in [kg]

N	Y	nr.	D	alfa	ALL	At	nt	T
1	0,40	7	15,00	10,00	Centrati	2,00	2	30000,0
2	1,10	7	15,00	20,00	Centrati	2,00	2	30000,0

Materiali utilizzati per la struttura

<i>Calcestruzzo</i>	
Peso specifico	2500,0 [kg/mc]
Classe di Resistenza	C25/30
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	305,9 [kg/cm ²]
Modulo elastico E	320665,55 [kg/cm ²]
<i>Acciaio</i>	
Tipo	B450C
Tensione di snervamento σ_{fa}	4588,0 [kg/cm ²]
<i>Malta utilizzata per i tiranti</i>	
Classe di Resistenza	C25/30
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	300 [kg/cm ²]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	6,0 [kg/cm ²]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	18,3 [kg/cm ²]
<i>Acciaio utilizzato per i tiranti</i>	
Tipo	Precomp
Tensione ammissibile σ_{fa}	10000 [kg/cm ²]
Tensione di snervamento σ_{fa}	16000 [kg/cm ²]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	10,60	0,00	0,00

Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	0,00	[°]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0,00	[m]

Descrizione terreni

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cm ²]
c_a	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm ²]

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a
SCIOLTO A	1850	2050	36,00	24,00	0,105	0,100
SCIOLTO A'	1900	2000	30,00	20,00	0,000	0,000
CALCARI	2500	2550	32,00	21,33	2,700	0,000

Parametri medi

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a
SCIOLTO A	1850	2050	36,00	24,00	0,105	0,100
SCIOLTO A'	1900	2000	30,00	20,00	0,000	0,000
CALCARI	2500	2550	32,00	21,33	2,700	0,000

Parametri minimi

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a
SCIOLTO A	1850	2050	36,00	24,00	0,105	0,100
SCIOLTO A'	1900	2000	30,00	20,00	0,000	0,000
CALCARI	2500	2550	32,00	21,33	2,700	0,000



Stratigrafia

Simbologia adottata

N	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
a	Inclinazione espressa in [°]
Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm ² /cm
Ks	Coefficiente di spinta
Terreno	Terreno dello strato

Nr.	H	a	Kw	Ks	Terreno
1	4,50	15,00	2,60	0,40	SCIOLTO A
2	2,00	15,00	6,59	0,30	SCIOLTO A'
3	5,00	0,00	30,00	1,00	CALCARI

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

F/S	Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)
γ	Coefficiente di partecipazione della condizione
ψ	Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma^* \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1,00	1,30

Combinazione n° 2 - Caso EQU (SLU)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma^* \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1,00	1,30

Combinazione n° 3 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma^* \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma^* \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 5 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma^* \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 6 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma^* \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 7 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma^* \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 8 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma^* \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00



Combinazione n° 9 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma^* \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 10 - Quasi Permanente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma^* \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 11 - Frequente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma^* \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 12 - Rara (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma^* \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1,00	1,00

Impostazioni di analisi

Metodo verifica sezioni

Stato limite

Impostazioni verifiche SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a compressione	1.50
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a trazione	1.50
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Impostazioni verifiche SLE

Condizioni ambientali **Ordinarie**

Armatura ad aderenza migliorata

Verifica fessurazione

Sensibilità delle armature

Valori limite delle aperture delle fessure

Poco sensibile

$w_1 = 0.20$

$w_2 = 0.30$

$w_3 = 0.40$

Circ. Min. 252 (15/10/1996)

Metodo di calcolo aperture delle fessure

Verifica delle tensioni

Combinazione di carico

Rara $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ - $\sigma_f < 0.80 f_{yk}$

Quasi permanente $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$

Calcolo della portanza metodo di Meyerhof

Coefficiente correttivo su N_y per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1,00

Coefficiente correttivo su N_y per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1,00

Impostazioni avanzate

Diagramma correttivo per eccentricità negativa con aliquota di parzializzazione pari a 0.00



Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

<i>C</i>	Identificativo della combinazione
<i>Tipo</i>	Tipo combinazione
<i>Sisma</i>	Combinazione sismica
<i>CS_{SCO}</i>	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
<i>CS_{RIB}</i>	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
<i>CS_{OLM}</i>	Coeff. di sicurezza a carico limite
<i>CS_{STAB}</i>	Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	CS _{SCO}	CS _{RIB}	CS _{OLM}	CS _{STAB}
1	A1-M1 - [1]	--	99,99	--	0,43	--
2	EQU - [1]	--	--	99,90	--	--
3	STAB - [1]	--	--	--	--	99,99
4	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	99,39	--	0,42	--
5	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	98,95	--	0,44	--
6	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	79,55	--	--
7	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	87,61	--	--
8	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	99,99
9	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	99,99
10	SLEQ - [1]	--	99,99	--	0,43	--
11	SLEF - [1]	--	99,99	--	0,43	--
12	SLER - [1]	--	99,99	--	0,43	--

Analisi della spinta e verifiche

Sistema di riferimento adottato per le coordinate :
Origine in testa al muro (spigolo di monte)
Ascisse X (espresse in [m]) positive verso monte
Ordinate Y (espresse in [m]) positive verso l'alto
Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da monte verso valle
Le forze verticali sono considerate positive se agenti dall'alto verso il basso

Calcolo riferito ad 1 metro di muro

Tipo di analisi

Superficie di spinta limitata

Distanza dalla testa del muro 0,50[m]

Calcolo della spinta
Calcolo del carico limite
Calcolo della stabilità globale
Calcolo della spinta in condizioni di

metodo di Culmann
metodo di Meyerhof
metodo di Fellenius
Spinta attiva

Sisma

Identificazione del sito

Latitudine
Longitudine
Comune
Provincia
Regione

46.016426
11.638121
Grigno
Trento
Trentino-Alto Adige

Punti di interpolazione del reticolo

10075 - 10297 - 10298 - 10076

Tipo di opera

Tipo di costruzione
Vita nominale
Classe d'uso
Vita di riferimento

Opera di importanza strategica
100 anni
I - Presenza occasionale di persone
70 anni

Combinazioni SLU

Accelerazione al suolo a_g
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)
Coefficiente di amplificazione topografica (S_t)
Coefficiente riduzione (β_m)
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)

1.47 [m/s²]
1.20
1.20
1.00
0.50
 $k_h=(a_g/g*\beta_m*S_t*S)=21.51$
 $k_v=0.50 * k_h = 10.76$

Combinazioni SLE

Accelerazione al suolo a_g
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)

0.58 [m/s²]
1.20



Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.20
Coefficiente riduzione (β_m)	1.00
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 8.54$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 4.27$
Forma diagramma incremento sismico	Rettangolare
Partecipazione spinta passiva (percento)	0,0
Lunghezza del muro	15,00 [m]
Peso muro	1125,00 [kg]
Baricentro del muro	X=-0,15 Y=-0,75
<u>Superficie di spinta</u>	
Punto inferiore superficie di spinta	X = 0,00 Y = -1,50
Punto superiore superficie di spinta	X = 0,00 Y = 0,00
Altezza della superficie di spinta	1,50 [m]
Inclinazione superficie di spinta(rispetto alla verticale)	0,00 [°]

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 3

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W peso della striscia espresso in [kg]

α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)

ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Metodo di Fellenius

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -0,11 Y[m]= 0,69

Raggio del cerchio R[m]= 2,20

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -0,39

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 1,98

Larghezza della striscia dx[m]= 0,09

Coefficiente di sicurezza C= 99,99

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	$b/\cos\alpha$	ϕ	c	u
1	19,85	67.32	18,32	0,25	30.17	0,08	0,00
2	55,77	62.68	49,55	0,21	30.17	0,08	0,00
3	84,94	57.68	71,78	0,18	30.17	0,08	0,00
4	109,18	53.30	87,54	0,16	30.17	0,08	0,00
5	129,96	49.34	98,59	0,15	30.17	0,08	0,00
6	148,11	45.67	105,96	0,14	30.17	0,08	0,00
7	164,14	42.24	110,33	0,13	30.17	0,08	0,00
8	178,38	38.98	112,21	0,12	30.17	0,08	0,00
9	191,09	35.87	111,96	0,12	30.17	0,08	0,00
10	202,45	32.87	109,88	0,11	30.17	0,08	0,00
11	212,59	29.97	106,21	0,11	30.17	0,08	0,00
12	221,63	27.16	101,17	0,11	30.17	0,08	0,00
13	229,65	24.41	94,92	0,10	30.17	0,08	0,00
14	236,72	21.73	87,63	0,10	30.17	0,08	0,00
15	242,90	19.09	79,44	0,10	30.17	0,08	0,00
16	248,22	16.50	70,48	0,10	30.17	0,08	0,00
17	252,74	13.93	60,86	0,10	30.17	0,08	0,00
18	256,47	11.40	50,70	0,10	30.17	0,08	0,00
19	259,44	8.89	40,09	0,10	30.17	0,08	0,00
20	261,67	6.40	29,15	0,10	30.17	0,08	0,00
21	275,00	3.92	18,78	0,09	30.17	0,08	0,00
22	356,27	1.44	8,96	0,09	30.17	0,08	0,00
23	356,33	-1.03	-6,40	0,09	30.17	0,08	0,00
24	355,67	-3.50	-21,73	0,09	30.17	0,08	0,00
25	13,33	-5.98	-1,39	0,10	30.17	0,08	0,00

$\Sigma W_i = 5062,50$ [kg]
 $\Sigma W_i \sin \alpha_i = 1594,99$ [kg]
 $\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 2652,28$ [kg]
 $\Sigma c_i b_i / \cos \alpha_i = 2543,65$ [kg]

Analisi dei tiranti

Combinazione n° 3

Nr. numero della fila
 Nt numero di tiranti della fila
 D diametro dei tiranti della fila espresso in cm
 α inclinazione dei tiranti della fila espressa gradi
 N sforzo in ogni tirante della fila espresso in [kg]
 L_r lunghezza di fondazione del tirante espressa in [m]
 L lunghezza totale del tirante espressa in [m]
 σ_r tensione nell'acciaio del tirante espressa in [kg/cm²]

Nr.	NT	D	α	N	L_r	L	σ_r
1	7	15,00	10,00	30000	5,35	6,10	7500,0
2	7	15,00	20,00	30000	5,35	5,90	7500,0

COMBINAZIONE n° 4

Valore della spinta statica 0,00 [kg]
 Componente orizzontale della spinta statica 0,00 [kg]
 Componente verticale della spinta statica 0,00 [kg]
 Punto d'applicazione della spinta X = 0,00 [m] Y = -2,66 [m]
 Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie 0,00 [°]
 Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche 71,53 [°]

Incremento sismico della spinta 0,00 [kg]
 Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta X = 0,00 [m] Y = 0,00 [m]
 Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche 71,53 [°]

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte 0,00 [kg]
 Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte X = 0,00 [m] Y = 0,00 [m]
 Inerzia del muro 242,00 [kg]
 Inerzia verticale del muro 121,00 [kg]
 Inerzia del terrapieno fondazione di monte 0,00 [kg]
 Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte 0,00 [kg]
 Sforzo tiranti in direzione X -20725,39 [kg]
 Sforzo tiranti in direzione Y 5553,35 [kg]
 Punto d'applicazione dello sforzo dei tiranti X = -0,30 [m] Y = -0,74 [m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale -20483,39 [kg]
 Risultante dei carichi applicati in dir. verticale 6799,35 [kg]
 Sforzo normale sul piano di posa della fondazione 6799,35 [kg]
 Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione -20483,39 [kg]
 Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione -0,05 [m]
 Lunghezza fondazione reagente 0,30 [m]
 Risultante in fondazione 21582,41 [kg]
 Inclinazione della risultante (rispetto alla normale) -71,64 [°]
 Momento rispetto al baricentro della fondazione -339,97 [kgm]
 Carico ultimo della fondazione 2858,38 [kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente 0,30 [m]
 Tensione terreno allo spigolo di valle 0,0000 [kg/cm²]
 Tensione terreno allo spigolo di monte 4,5329 [kg/cm²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante $N_c = 50,59$ $N_q = 37,75$ $N_\gamma = 44,43$
Fattori forma $s_c = 1,00$ $s_q = 1,00$ $s_\gamma = 1,00$
Fattori inclinazione $i_c = 0,04$ $i_q = 0,04$ $i_\gamma = 0,98$
Fattori profondità $d_c = 1,00$ $d_q = 1,00$ $d_\gamma = 1,00$
 I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.
 $N'_c = 2,11$ $N'_q = 1,57$ $N'_\gamma = 43,53$



COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento 99.39
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo 0.42

Inviluppo sollecitazioni piastra paramento

Combinazione n° 4

Dimensioni della piastra (Simmetria)

Larghezza(m) = 7.50 Altezza(m) = 1.50

Origine all'attacco con la fondazione sull'asse di simmetria

Ascissa X positiva verso destra espressa in [m]

Ordinata Y positiva verso l'alto espressa in [m]

I momenti positivi tendono le fibre contro terra

Momento espresso in [kgm]

Taglio e Sforzo Normale espressi in [kg]

Sollecitazioni in direzione Y

Nr.	Y	M _{ymin}	M _{ymax}	T _{ymin}	T _{ymax}	N
1	0,00	-13063,39	9056,37	-40014,96	42033,20	1125,00
2	0,05	-11009,35	6156,88	-39495,31	42631,33	1087,50
3	0,10	-9342,72	4590,80	-26776,28	39439,87	1050,00
4	0,15	-7900,93	3466,52	-20740,59	38253,46	1012,50
5	0,20	-6570,88	2576,02	-16938,07	40804,56	975,00
6	0,25	-5250,93	1843,18	-14147,91	46239,20	937,50
7	0,30	-4106,16	1229,16	-11944,69	56791,23	900,00
8	0,35	-3765,50	710,32	-10129,56	80518,53	862,50
9	0,40	-3514,08	5660,44	-50568,27	80952,07	825,00
10	0,45	-3259,24	1280,53	-50200,19	14506,94	787,50
11	0,50	-2988,80	148,72	-26015,38	8653,41	750,00
12	0,55	-2710,10	0,00	-14431,05	7301,84	712,50
13	0,60	-2429,27	0,00	-7256,44	6397,10	675,00
14	0,65	-2336,97	0,00	-3583,75	5969,75	637,50
15	0,70	-2241,07	0,00	-2912,17	6049,02	600,00
16	0,75	-2051,82	0,00	-2322,56	9140,03	562,50
17	0,80	-1772,39	77,40	-1827,48	12926,48	525,00
18	0,85	-1498,63	258,79	-1404,33	17386,55	487,50
19	0,90	-1539,25	554,99	-1009,01	23122,32	450,00
20	0,95	-1558,85	1041,68	-620,74	31211,52	412,50
21	1,00	-1558,62	1863,80	-204,53	44121,18	375,00
22	1,05	-1539,33	3456,09	-20,30	70475,47	337,50
23	1,10	-1501,18	8631,92	-65966,30	70893,69	300,00
24	1,15	-1443,78	3534,40	-65556,76	3252,85	262,50
25	1,20	-1366,08	2025,62	-39149,58	1604,01	225,00
26	1,25	-1266,00	1257,01	-26143,21	2051,70	187,50
27	1,30	-1140,01	794,82	-17912,79	2572,09	150,00
28	1,35	-982,04	519,97	-11989,99	3220,09	112,50
29	1,40	-780,18	329,00	-7294,52	4177,95	75,00
30	1,45	-516,66	160,62	-3212,13	6349,04	37,50
31	1,50	-10,31	12,13	-1525,44	6781,22	0,00

Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M _{xmin}	M _{xmax}	T _{xmin}	T _{xmax}
1	0,00	0,00	9998,25	-4704,18	78165,67
2	0,10	0,00	4544,14	-11799,22	77679,42
3	0,20	0,00	2779,34	-14352,57	29714,24
4	0,30	-230,32	1585,65	-14652,22	18629,12
5	0,40	-512,76	441,43	-14022,48	13840,13
6	0,50	-951,62	0,00	-12050,78	10666,59
7	0,60	-1592,86	0,00	-9897,49	8203,54
8	0,70	-2094,76	0,00	-7527,28	6080,05
9	0,80	-2459,59	0,00	-5239,03	4156,17
10	0,90	-2682,26	0,00	-3108,03	2372,50
11	1,00	-2756,95	0,00	-1043,18	1011,72
12	1,10	-2680,82	0,00	-2395,92	3076,63
13	1,20	-2456,88	0,00	-4180,43	5207,47
14	1,30	-2090,96	0,00	-6105,02	7495,51
15	1,40	-1588,14	0,00	-8229,29	9864,92
16	1,50	-946,14	0,00	-10693,25	12017,34
17	1,60	-512,07	452,86	-13867,89	13988,06
18	1,70	-229,72	1599,19	-18659,15	14616,57
19	1,80	0,00	2793,42	-29744,95	14317,52



20	1,90	0,00	4556,42	-77712,24	11762,62
21	2,00	0,00	10010,10	-78198,54	78130,83
22	2,10	0,00	4559,78	-11841,68	77644,81
23	2,20	0,00	2802,31	-14397,41	29676,93
24	2,30	-229,09	1614,44	-14697,68	18588,38
25	2,40	-510,89	473,32	-14070,68	13797,11
26	2,50	-931,43	0,00	-12101,93	10620,35
27	2,60	-1569,98	0,00	-9950,97	8153,75
28	2,70	-2066,03	0,00	-7586,97	6026,59
29	2,80	-2425,61	0,00	-5302,73	4098,35
30	2,90	-2642,59	0,00	-3176,19	2311,15
31	3,00	-2713,14	0,00	-1116,43	933,51
32	3,10	-2633,80	0,00	-2464,00	2993,71
33	3,20	-2407,95	0,00	-4257,29	5119,42
34	3,30	-2042,90	0,00	-6190,83	7402,93
35	3,40	-1541,58	0,00	-8324,55	9760,55
36	3,50	-895,42	0,00	-10798,68	11907,02
37	3,60	-506,54	549,29	-13984,46	13870,09
38	3,70	-225,27	1704,83	-18792,05	14489,69
39	3,80	0,00	2896,89	-29888,24	14193,18
40	3,90	0,00	4643,09	-77872,63	11627,72
41	4,00	0,00	10091,53	-78359,12	77954,12
42	4,10	0,00	4664,85	-12015,28	77469,25
43	4,20	0,00	2954,46	-14587,10	29480,99
44	4,30	-220,55	1799,97	-14889,25	18369,83
45	4,40	-497,66	677,29	-14280,32	13558,62
46	4,50	-802,54	0,00	-12330,91	10358,68
47	4,60	-1419,97	0,00	-10193,98	7867,11
48	4,70	-1886,87	0,00	-7885,07	5714,57
49	4,80	-2213,24	0,00	-5629,81	3758,40
50	4,90	-2397,25	0,00	-3539,69	1950,11
51	5,00	-2437,63	0,00	-1523,94	476,98
52	5,10	-2333,28	0,00	-2882,41	2485,87
53	5,20	-2090,47	0,00	-4708,48	4552,10
54	5,30	-1710,32	0,00	-6681,38	6777,27
55	5,40	-1191,83	0,00	-8850,47	8987,04
56	5,50	-659,81	127,04	-11355,23	11045,15
57	5,60	-435,04	1175,07	-14565,79	12888,60
58	5,70	-162,73	2386,11	-19411,40	13362,06
59	5,80	0,00	3630,48	-30496,34	13087,89
60	5,90	0,00	5332,01	-78499,74	10344,60
61	6,00	0,00	10776,89	-78968,88	77374,44
62	6,10	0,00	5490,40	-14039,39	76894,07
63	6,20	0,00	3925,18	-16949,60	28946,38
64	6,30	-80,23	2820,55	-17283,81	17889,48
65	6,40	-276,78	1738,99	-17087,88	13219,60
66	6,50	-371,15	812,99	-15632,10	10186,07
67	6,60	-444,39	58,15	-14079,54	7920,83
68	6,70	-675,26	0,00	-12426,39	6072,85
69	6,80	-994,18	0,00	-11033,59	4469,01
70	6,90	-1287,93	0,00	-9972,95	3067,71
71	7,00	-1450,65	0,00	-9228,22	1856,93
72	7,10	-1490,25	5,13	-8844,56	857,45
73	7,20	-1409,36	76,76	-9485,92	199,82
74	7,30	-1201,93	177,75	-12557,03	0,00
75	7,40	-886,84	241,46	-15205,16	259,15
76	7,50	-26,47	59,95	-15405,22	246,37

Armature e tensioni nei materiali del muro

Combinazione n° 4

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
N _u	sforzo normale ultimo espresso in [kg]
M _u	momento ultimo espresso in [kgm]
CS	coefficiente sicurezza sezione
VRcd	Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kg]
VRsd	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kg]
VRd	Resistenza al taglio, espresso in [kg]

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	100, 30	10,56	10,56	0	10640	877,12	13221	--	--



2	0,25	100, 30	10,56	10,56	1604	-10830	8,55	13246	--	--
3	0,50	100, 30	10,56	10,56	2193	10949	5,85	13271	--	--
4	0,75	100, 30	10,56	10,56	3014	10994	5,36	13297	--	--
5	1,00	100, 30	10,56	10,56	2751	-22531	3,67	13322	--	--
6	1,25	100, 30	10,56	12,57	2295	12854	2,45	13347	--	--
7	1,50	100, 30	0,00	0,00	0	0	0,00	12484	--	--

Armature e tensioni piastre

Combinazione n° 4

X	ascissa sezione espressa in [m]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
N _u	sforzo normale ultimo espresso in [kg]
M _u	momento ultimo espresso in [kgm]
CS	coefficiente sicurezza sezione

Piastra paramento

Nr.	X	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS
1	0,00	13,40	13,40	0	-13392	1,34
2	0,10	13,40	13,40	0	-13392	2,95
3	0,20	13,40	13,40	0	-13392	4,82
4	0,30	13,40	13,40	0	13392	8,45
5	0,40	13,40	13,40	0	13392	26,12
6	0,50	13,40	13,40	0	13392	14,07
7	0,60	13,40	13,40	0	13392	8,41
8	0,70	13,40	13,40	0	13392	6,39
9	0,80	13,40	13,40	0	13392	5,44
10	0,90	13,40	13,40	0	13392	4,99
11	1,00	13,40	13,40	0	13392	4,86
12	1,10	13,40	13,40	0	13392	5,00
13	1,20	13,40	13,40	0	13392	5,45
14	1,30	13,40	13,40	0	13392	6,40
15	1,40	13,40	13,40	0	13392	8,43
16	1,50	13,40	13,40	0	13392	14,15
17	1,60	13,40	13,40	0	13392	26,15
18	1,70	13,40	13,40	0	13392	8,37
19	1,80	13,40	13,40	0	-13392	4,79
20	1,90	13,40	13,40	0	-13392	2,94
21	2,00	13,40	13,40	0	-13392	1,34
22	2,10	13,40	13,40	0	-13392	2,94
23	2,20	13,40	13,40	0	-13392	4,78
24	2,30	13,40	13,40	0	13392	8,30
25	2,40	13,40	13,40	0	13392	26,21
26	2,50	13,40	13,40	0	13392	14,38
27	2,60	13,40	13,40	0	13392	8,53
28	2,70	13,40	13,40	0	13392	6,48
29	2,80	13,40	13,40	0	13392	5,52
30	2,90	13,40	13,40	0	13392	5,07
31	3,00	13,40	13,40	0	13392	4,94
32	3,10	13,40	13,40	0	13392	5,08
33	3,20	13,40	13,40	0	13392	5,56
34	3,30	13,40	13,40	0	13392	6,56
35	3,40	13,40	13,40	0	13392	8,69
36	3,50	13,40	13,40	0	13392	14,96
37	3,60	13,40	13,40	0	13392	24,38
38	3,70	13,40	13,40	0	13392	7,86
39	3,80	13,40	13,40	0	-13392	4,62
40	3,90	13,40	13,40	0	-13392	2,88
41	4,00	13,40	13,40	0	-13392	1,33
42	4,10	13,40	13,40	0	-13392	2,87
43	4,20	13,40	13,40	0	-13392	4,53
44	4,30	13,40	13,40	0	13392	7,44
45	4,40	13,40	13,40	0	13392	19,77
46	4,50	13,40	13,40	0	13392	16,69
47	4,60	13,40	13,40	0	13392	9,43



48	4,70	13,40	13,40	0	13392	7,10
49	4,80	13,40	13,40	0	13392	6,05
50	4,90	13,40	13,40	0	13392	5,59
51	5,00	13,40	13,40	0	13392	5,49
52	5,10	13,40	13,40	0	13392	5,74
53	5,20	13,40	13,40	0	13392	6,41
54	5,30	13,40	13,40	0	13392	7,83
55	5,40	13,40	13,40	0	13392	11,24
56	5,50	13,40	13,40	0	13392	20,30
57	5,60	13,40	13,40	0	13392	11,40
58	5,70	13,40	13,40	0	13392	5,61
59	5,80	13,40	13,40	0	-13392	3,69
60	5,90	13,40	13,40	0	-13392	2,51
61	6,00	13,40	13,40	0	-13392	1,24
62	6,10	13,40	13,40	0	-13392	2,44
63	6,20	13,40	13,40	0	-13392	3,41
64	6,30	13,40	13,40	0	13392	4,75
65	6,40	13,40	13,40	0	13392	7,70
66	6,50	13,40	13,40	0	13392	16,47
67	6,60	13,40	13,40	0	13392	30,14
68	6,70	13,40	13,40	0	13392	19,83
69	6,80	13,40	13,40	0	13392	13,47
70	6,90	13,40	13,40	0	13392	10,40
71	7,00	13,40	13,40	0	13392	9,23
72	7,10	13,40	13,40	0	13392	8,99
73	7,20	13,40	13,40	0	-13392	9,50
74	7,30	13,40	13,40	0	-13392	11,14
75	7,40	13,40	13,40	0	-13392	15,10
76	7,50	13,40	13,40	0	13392	223,39

Analisi dei tiranti

Combinazione n° 4

Nr.	numero della fila
Nt	numero di tiranti della fila
D	di diametro dei tiranti della fila espresso in cm
α	inclinazione dei tiranti della fila espressa gradi
N	sforzo in ogni tirante della fila espresso in [kg]
L_r	lunghezza di fondazione del tirante espressa in [m]
L	lunghezza totale del tirante espressa in [m]
σ_r	tensione nell'acciaio del tirante espressa in [kg/cmq]

Nr.	NT	D	α	N	L_r	L	σ_r
1	7	15,00	10,00	30000	5,35	6,10	7500,0
2	7	15,00	20,00	30000	5,35	5,90	7500,0

COMBINAZIONE n° 5

Valore della spinta statica	0,00	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	0,00	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	0,00	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,00	[m]	Y = -2,66	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	0,00	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	71,53	[°]		

Incremento sismico della spinta	0,00	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	71,53	[°]		

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,00	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]
Inerzia del muro	242,00	[kg]		
Inerzia verticale del muro	-121,00	[kg]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0,00	[kg]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0,00	[kg]		
Sforzo tiranti in direzione X	-20725,39	[kg]		
Sforzo tiranti in direzione Y	5553,35	[kg]		
Punto d'applicazione dello sforzo dei tiranti	X = -0,30	[m]	Y = -0,74	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	-20483,39	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	6557,35	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	6557,35	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	-20483,39	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,05	[m]
Lunghezza fondazione reagente	0,30	[m]
Risultante in fondazione	21507,40	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	-72,25	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-327,87	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	2913,08	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	0,30	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,0000	[kg/cm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	4,3716	[kg/cm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 50,59$	$N_q = 37,75$	$N_\gamma = 44,43$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0,04$	$i_q = 0,04$	$i_\gamma = 1,01$
Fattori profondità	$d_c = 1,00$	$d_q = 1,00$	$d_\gamma = 1,00$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 1,97$	$N'_q = 1,47$	$N'_\gamma = 45,04$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	98,95
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	0,44

Inviluppo sollecitazioni piastra paramento

Combinazione n° 5

Dimensioni della piastra (Simmetria)

Larghezza(m) = 7.50 Altezza(m) = 1.50

Origine all'attacco con la fondazione sull'asse di simmetria

Ascissa X positiva verso destra espressa in [m]

Ordinata Y positiva verso l'alto espressa in [m]

I momenti positivi tendono le fibre contro terra

Momento espresso in [kgm]

Taglio e Storzo Normale espressi in [kg]

Sollecitazioni in direzione Y

Nr.	Y	M _{ymin}	M _{ymax}	T _{ymin}	T _{ymax}	N
1	0,00	-13051,29	9068,43	-40030,77	42017,25	1125,00
2	0,05	-10998,04	6168,18	-39510,65	42615,87	1087,50
3	0,10	-9332,17	4601,34	-26791,16	39424,94	1050,00
4	0,15	-7891,11	3476,34	-20754,97	38239,04	1012,50
5	0,20	-6561,77	2585,13	-16951,94	40790,69	975,00
6	0,25	-5242,50	1851,61	-14161,27	46225,86	937,50
7	0,30	-4098,39	1236,93	-11957,53	56778,44	900,00
8	0,35	-3758,35	717,47	-10141,88	80506,29	862,50
9	0,40	-3507,54	5666,98	-50579,99	80940,18	825,00
10	0,45	-3253,28	1286,50	-50211,56	14495,47	787,50
11	0,50	-2983,39	154,14	-26026,19	8642,43	750,00
12	0,55	-2705,21	0,00	-14441,30	7291,39	712,50
13	0,60	-2424,88	0,00	-7266,13	6387,16	675,00
14	0,65	-2333,05	0,00	-3592,89	5960,34	637,50
15	0,70	-2237,60	0,00	-2920,76	6040,60	600,00
16	0,75	-2048,76	0,00	-2330,78	9131,99	562,50
17	0,80	-1769,73	80,07	-1835,16	12918,96	525,00
18	0,85	-1496,33	261,09	-1411,55	17379,55	487,50
19	0,90	-1537,29	556,95	-1015,84	23115,86	450,00
20	0,95	-1557,20	1043,33	-627,58	31205,60	412,50
21	1,00	-1557,26	1865,16	-213,50	44115,82	375,00
22	1,05	-1538,22	3457,19	-23,09	70470,67	337,50
23	1,10	-1500,30	8632,80	-65970,56	70889,23	300,00
24	1,15	-1443,12	3535,06	-65560,67	3248,75	262,50
25	1,20	-1365,58	2026,11	-39152,93	1600,95	225,00
26	1,25	-1265,66	1257,35	-26145,99	2049,13	187,50
27	1,30	-1139,80	795,03	-17915,02	2570,03	150,00
28	1,35	-981,92	520,09	-11991,68	3218,56	112,50
29	1,40	-780,12	329,05	-7295,67	4176,94	75,00
30	1,45	-516,65	160,63	-3212,76	6348,58	37,50
31	1,50	-10,31	12,13	-1525,64	6781,12	0,00

Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M _{xmin}	M _{xmax}	T _{xmin}	T _{xmax}
1	0,00	0,00	9998,25	-4704,14	78165,86
2	0,10	0,00	4544,14	-11799,11	77679,23
3	0,20	0,00	2779,34	-14352,37	29713,68
4	0,30	-230,32	1585,65	-14652,42	18628,59
5	0,40	-512,76	441,43	-14022,83	13839,46
6	0,50	-951,62	0,00	-12051,43	10665,91
7	0,60	-1592,86	0,00	-9899,23	8202,84
8	0,70	-2094,76	0,00	-7526,54	6079,34
9	0,80	-2459,59	0,00	-5238,70	4155,44
10	0,90	-2682,26	0,00	-3107,85	2371,80
11	1,00	-2756,95	0,00	-1043,11	1011,66
12	1,10	-2680,82	0,00	-2395,22	3076,46
13	1,20	-2456,88	0,00	-4179,70	5207,14
14	1,30	-2090,96	0,00	-6104,31	7494,76
15	1,40	-1588,14	0,00	-8228,59	9866,67
16	1,50	-946,14	0,00	-10692,58	12017,99
17	1,60	-512,07	452,86	-13867,23	13988,41
18	1,70	-229,72	1599,19	-18658,61	14616,78
19	1,80	0,00	2793,42	-29744,38	14317,32
20	1,90	0,00	4556,42	-77712,05	11762,50
21	2,00	0,00	10010,10	-78198,74	78131,02
22	2,10	0,00	4559,78	-11841,57	77644,61
23	2,20	0,00	2802,31	-14397,21	29676,36
24	2,30	-229,09	1614,44	-14697,88	18587,85



25	2,40	-510,89	473,32	-14071,03	13796,44
26	2,50	-931,43	0,00	-12102,58	10619,67
27	2,60	-1569,98	0,00	-9952,71	8153,05
28	2,70	-2066,03	0,00	-7586,23	6025,83
29	2,80	-2425,61	0,00	-5302,39	4097,61
30	2,90	-2642,59	0,00	-3176,02	2310,44
31	3,00	-2713,14	0,00	-1116,36	933,45
32	3,10	-2633,80	0,00	-2463,27	2993,54
33	3,20	-2407,95	0,00	-4256,54	5119,09
34	3,30	-2042,90	0,00	-6190,10	7402,17
35	3,40	-1541,58	0,00	-8323,84	9762,29
36	3,50	-895,42	0,00	-10797,99	11907,67
37	3,60	-506,54	549,29	-13983,79	13870,43
38	3,70	-225,27	1704,83	-18791,51	14489,89
39	3,80	0,00	2896,89	-29887,67	14192,98
40	3,90	0,00	4643,09	-77872,43	11627,61
41	4,00	0,00	10091,53	-78359,31	77954,31
42	4,10	0,00	4664,85	-12015,16	77469,06
43	4,20	0,00	2954,46	-14586,90	29480,42
44	4,30	-220,55	1799,97	-14889,46	18369,28
45	4,40	-497,66	677,29	-14280,66	13557,94
46	4,50	-802,54	0,00	-12331,56	10357,98
47	4,60	-1419,97	0,00	-10195,62	7866,39
48	4,70	-1886,87	0,00	-7884,29	5713,76
49	4,80	-2213,24	0,00	-5629,46	3757,61
50	4,90	-2397,25	0,00	-3539,49	1949,33
51	5,00	-2437,63	0,00	-1523,84	476,95
52	5,10	-2333,28	0,00	-2881,63	2485,69
53	5,20	-2090,47	0,00	-4707,65	4551,72
54	5,30	-1710,32	0,00	-6680,59	6776,33
55	5,40	-1191,83	0,00	-8849,72	8988,62
56	5,50	-659,81	127,04	-11354,50	11045,75
57	5,60	-435,04	1175,07	-14565,08	12888,91
58	5,70	-162,73	2386,11	-19410,84	13362,25
59	5,80	0,00	3630,48	-30495,75	13087,70
60	5,90	0,00	5332,01	-78499,53	10344,50
61	6,00	0,00	10776,89	-78969,07	77374,63
62	6,10	0,00	5490,40	-14039,26	76893,89
63	6,20	0,00	3925,17	-16949,38	28945,79
64	6,30	-80,23	2820,55	-17284,03	17888,91
65	6,40	-276,78	1738,99	-17088,25	13218,85
66	6,50	-371,15	812,99	-15632,78	10185,27
67	6,60	-444,39	58,14	-14081,06	7919,91
68	6,70	-675,26	0,00	-12425,96	6071,84
69	6,80	-994,19	0,00	-11033,39	4467,86
70	6,90	-1287,93	0,00	-9972,84	3066,38
71	7,00	-1450,66	0,00	-9228,14	1855,38
72	7,10	-1490,26	5,13	-8844,51	855,85
73	7,20	-1409,37	76,76	-9485,90	200,67
74	7,30	-1201,94	177,75	-12556,95	0,00
75	7,40	-886,85	241,45	-15204,93	259,16
76	7,50	-26,48	59,94	-15405,08	246,39

Armature e tensioni nei materiali del muro

Combinazione n° 5

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
N _u	sforzo normale ultimo espresso in [kg]
M _u	momento ultimo espresso in [kgm]
CS	coefficiente sicurezza sezione
V _{Rcd}	Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kg]
V _{Rsd}	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kg]
VRd	Resistenza al taglio, espresso in [kg]

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	100, 30	10,56	10,56	0	10640	877,29	13221	--	--
2	0,25	100, 30	10,56	10,56	1604	-10830	8,56	13246	--	--
3	0,50	100, 30	10,56	10,56	2191	10950	5,84	13271	--	--
4	0,75	100, 30	10,56	10,56	3019	10994	5,37	13297	--	--
5	1,00	100, 30	10,56	10,56	2756	-22025	3,67	13322	--	--
6	1,25	100, 30	10,56	12,57	2299	12855	2,45	13347	--	--



7 1,50 100,30 0,00 0,00 0 0 0,00 12484 -- --

Armature e tensioni piastre

Combinazione n° 5

X ascissa sezione espressa in [m]
A_{fs} area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A_{fi} area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
N_u sforzo normale ultimo espresso in [kg]
M_u momento ultimo espresso in [kgm]
CS coefficiente sicurezza sezione

Piastra paramento

Nr.	X	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS
1	0,00	13,40	13,40	0	-13392	1,34
2	0,10	13,40	13,40	0	-13392	2,95
3	0,20	13,40	13,40	0	-13392	4,82
4	0,30	13,40	13,40	0	13392	8,45
5	0,40	13,40	13,40	0	13392	26,12
6	0,50	13,40	13,40	0	13392	14,07
7	0,60	13,40	13,40	0	13392	8,41
8	0,70	13,40	13,40	0	13392	6,39
9	0,80	13,40	13,40	0	13392	5,44
10	0,90	13,40	13,40	0	13392	4,99
11	1,00	13,40	13,40	0	13392	4,86
12	1,10	13,40	13,40	0	13392	5,00
13	1,20	13,40	13,40	0	13392	5,45
14	1,30	13,40	13,40	0	13392	6,40
15	1,40	13,40	13,40	0	13392	8,43
16	1,50	13,40	13,40	0	13392	14,15
17	1,60	13,40	13,40	0	13392	26,15
18	1,70	13,40	13,40	0	13392	8,37
19	1,80	13,40	13,40	0	-13392	4,79
20	1,90	13,40	13,40	0	-13392	2,94
21	2,00	13,40	13,40	0	-13392	1,34
22	2,10	13,40	13,40	0	-13392	2,94
23	2,20	13,40	13,40	0	-13392	4,78
24	2,30	13,40	13,40	0	13392	8,30
25	2,40	13,40	13,40	0	13392	26,21
26	2,50	13,40	13,40	0	13392	14,38
27	2,60	13,40	13,40	0	13392	8,53
28	2,70	13,40	13,40	0	13392	6,48
29	2,80	13,40	13,40	0	13392	5,52
30	2,90	13,40	13,40	0	13392	5,07
31	3,00	13,40	13,40	0	13392	4,94
32	3,10	13,40	13,40	0	13392	5,08
33	3,20	13,40	13,40	0	13392	5,56
34	3,30	13,40	13,40	0	13392	6,56
35	3,40	13,40	13,40	0	13392	8,69
36	3,50	13,40	13,40	0	13392	14,96
37	3,60	13,40	13,40	0	13392	24,38
38	3,70	13,40	13,40	0	13392	7,86
39	3,80	13,40	13,40	0	-13392	4,62
40	3,90	13,40	13,40	0	-13392	2,88
41	4,00	13,40	13,40	0	-13392	1,33
42	4,10	13,40	13,40	0	-13392	2,87
43	4,20	13,40	13,40	0	-13392	4,53
44	4,30	13,40	13,40	0	13392	7,44
45	4,40	13,40	13,40	0	13392	19,77
46	4,50	13,40	13,40	0	13392	16,69
47	4,60	13,40	13,40	0	13392	9,43
48	4,70	13,40	13,40	0	13392	7,10
49	4,80	13,40	13,40	0	13392	6,05
50	4,90	13,40	13,40	0	13392	5,59
51	5,00	13,40	13,40	0	13392	5,49
52	5,10	13,40	13,40	0	13392	5,74



53	5,20	13,40	13,40	0	13392	6,41
54	5,30	13,40	13,40	0	13392	7,83
55	5,40	13,40	13,40	0	13392	11,24
56	5,50	13,40	13,40	0	13392	20,30
57	5,60	13,40	13,40	0	13392	11,40
58	5,70	13,40	13,40	0	13392	5,61
59	5,80	13,40	13,40	0	-13392	3,69
60	5,90	13,40	13,40	0	-13392	2,51
61	6,00	13,40	13,40	0	-13392	1,24
62	6,10	13,40	13,40	0	-13392	2,44
63	6,20	13,40	13,40	0	-13392	3,41
64	6,30	13,40	13,40	0	13392	4,75
65	6,40	13,40	13,40	0	13392	7,70
66	6,50	13,40	13,40	0	13392	16,47
67	6,60	13,40	13,40	0	13392	30,14
68	6,70	13,40	13,40	0	13392	19,83
69	6,80	13,40	13,40	0	13392	13,47
70	6,90	13,40	13,40	0	13392	10,40
71	7,00	13,40	13,40	0	13392	9,23
72	7,10	13,40	13,40	0	13392	8,99
73	7,20	13,40	13,40	0	-13392	9,50
74	7,30	13,40	13,40	0	-13392	11,14
75	7,40	13,40	13,40	0	-13392	15,10
76	7,50	13,40	13,40	0	13392	223,43



Analisi dei tiranti

Combinazione n° 5

Nr.	numero della fila
Nt	numero di tiranti della fila
D	di diametro dei tiranti della fila espresso in cm
α	inclinazione dei tiranti della fila espressa gradi
N	sforzo in ogni tirante della fila espresso in [kg]
L_r	lunghezza di fondazione del tirante espressa in [m]
L	lunghezza totale del tirante espressa in [m]
σ_r	tensione nell'acciaio del tirante espressa in [kg/cmq]

Nr.	NT	D	α	N	L_r	L	σ_r
1	7	15,00	10.00	30000	5,35	6,10	7500,0
2	7	15,00	20.00	30000	5,35	5,90	7500,0

COMBINAZIONE n° 6

Valore della spinta statica	0,00	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	0,00	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	0,00	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,00	[m]	Y = -2,66	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	0,00	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	71,53	[°]		
Incremento sismico della spinta	0,00	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	71,53	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,00	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]
Inerzia del muro	242,00	[kg]		
Inerzia verticale del muro	-121,00	[kg]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0,00	[kg]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0,00	[kg]		
Sforzo tiranti in direzione X	-20725,39	[kg]		
Sforzo tiranti in direzione Y	5553,35	[kg]		
Punto d'applicazione dello sforzo dei tiranti	X = -0,30	[m]	Y = -0,74	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	-20483,39	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	6557,35	[kg]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	199,65	[kgm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	15882,84	[kgm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	6557,35	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	-20483,39	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,05	[m]
Lunghezza fondazione reagente	0,30	[m]
Risultante in fondazione	21507,40	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	-72,25	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-327,87	[kgm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	79.55
--	-------

Analisi dei tiranti

Combinazione n° 6

Nr.	numero della fila
Nt	numero di tiranti della fila
D	di diametro dei tiranti della fila espresso in cm
α	inclinazione dei tiranti della fila espressa gradi
N	sforzo in ogni tirante della fila espresso in [kg]
L_r	lunghezza di fondazione del tirante espressa in [m]
L	lunghezza totale del tirante espressa in [m]
σ_r	tensione nell'acciaio del tirante espressa in [kg/cmq]

Nr.	NT	D	α	N	L_r	L	σ_r
1	7	15,00	10.00	30000	5,35	6,10	7500,0
2	7	15,00	20.00	30000	5,35	5,90	7500,0



Inviluppo armature e tensioni nei materiali del muro

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [kg/cmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kg/cmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kg/cmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kg/cmq]
N _u	sforzo normale ultimo espresso in [kg]
M _u	momento ultimo espresso in [kgm]
CS	coefficiente sicurezza sezione
V _{Rcd}	Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kg]
V _{Rsd}	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kg]
VRd	Resistenza al taglio, espresso in [kg]

Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	100, 30	10,56	10,56	0	10640	877,12	13221	--	--
2	0,25	100, 30	10,56	10,56	1604	-10830	8,55	13246	--	--
3	0,50	100, 30	10,56	10,56	2191	10949	5,84	13271	--	--
4	0,75	100, 30	10,56	10,56	3014	10994	5,36	13297	--	--
5	1,00	100, 30	10,56	10,56	2751	-22025	3,67	13322	--	--
6	1,25	100, 30	10,56	12,57	2295	12854	2,45	13347	--	--
7	1,50	100, 30	0,00	0,00	0	0	0,00	12484	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fs}	σ _{fi}
1	0,00	100, 30	10,56	10,56	0,11	-0,19	4,69	3,99
2	0,25	100, 30	10,56	10,56	11,64	-0,28	477,52	480,79
3	0,50	100, 30	10,56	10,56	17,18	-3,34	703,89	585,18
4	0,75	100, 30	10,56	10,56	18,92	-2,11	-166,99	766,97
5	1,00	100, 30	10,56	10,56	27,53	-2,13	-242,66	1120,19
6	1,25	100, 30	10,56	12,57	45,30	-6,09	671,63	1678,46
7	1,50	100, 30	0,00	0,00	0,00	-7,96	0,00	0,00

Inviluppo armature e tensioni piastre

X	ascissa sezione espressa in [m]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
N _u	sforzo normale ultimo espresso in [kg]
M _u	momento ultimo espresso in [kgm]
CS	coefficiente sicurezza sezione

Piastra paramento

Nr.	X	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS
1	0,00	13,40	13,40	0	-13392	1,34
2	0,10	13,40	13,40	0	-13392	2,95
3	0,20	13,40	13,40	0	-13392	4,82
4	0,30	13,40	13,40	0	13392	8,45
5	0,40	13,40	13,40	0	13392	26,12
6	0,50	13,40	13,40	0	13392	14,07
7	0,60	13,40	13,40	0	13392	8,41
8	0,70	13,40	13,40	0	13392	6,39
9	0,80	13,40	13,40	0	13392	5,44
10	0,90	13,40	13,40	0	13392	4,99
11	1,00	13,40	13,40	0	13392	4,86
12	1,10	13,40	13,40	0	13392	5,00
13	1,20	13,40	13,40	0	13392	5,45
14	1,30	13,40	13,40	0	13392	6,40
15	1,40	13,40	13,40	0	13392	8,43
16	1,50	13,40	13,40	0	13392	14,15
17	1,60	13,40	13,40	0	13392	26,15
18	1,70	13,40	13,40	0	13392	8,37



19	1,80	13,40	13,40	0	-13392	4,79
20	1,90	13,40	13,40	0	-13392	2,94
21	2,00	13,40	13,40	0	-13392	1,34
22	2,10	13,40	13,40	0	-13392	2,94
23	2,20	13,40	13,40	0	-13392	4,78
24	2,30	13,40	13,40	0	13392	8,30
25	2,40	13,40	13,40	0	13392	26,21
26	2,50	13,40	13,40	0	13392	14,38
27	2,60	13,40	13,40	0	13392	8,53
28	2,70	13,40	13,40	0	13392	6,48
29	2,80	13,40	13,40	0	13392	5,52
30	2,90	13,40	13,40	0	13392	5,07
31	3,00	13,40	13,40	0	13392	4,94
32	3,10	13,40	13,40	0	13392	5,08
33	3,20	13,40	13,40	0	13392	5,56
34	3,30	13,40	13,40	0	13392	6,56
35	3,40	13,40	13,40	0	13392	8,69
36	3,50	13,40	13,40	0	13392	14,96
37	3,60	13,40	13,40	0	13392	24,38
38	3,70	13,40	13,40	0	13392	7,86
39	3,80	13,40	13,40	0	-13392	4,62
40	3,90	13,40	13,40	0	-13392	2,88
41	4,00	13,40	13,40	0	-13392	1,33
42	4,10	13,40	13,40	0	-13392	2,87
43	4,20	13,40	13,40	0	-13392	4,53
44	4,30	13,40	13,40	0	13392	7,44
45	4,40	13,40	13,40	0	13392	19,77
46	4,50	13,40	13,40	0	13392	16,69
47	4,60	13,40	13,40	0	13392	9,43
48	4,70	13,40	13,40	0	13392	7,10
49	4,80	13,40	13,40	0	13392	6,05
50	4,90	13,40	13,40	0	13392	5,59
51	5,00	13,40	13,40	0	13392	5,49
52	5,10	13,40	13,40	0	13392	5,74
53	5,20	13,40	13,40	0	13392	6,41
54	5,30	13,40	13,40	0	13392	7,83
55	5,40	13,40	13,40	0	13392	11,24
56	5,50	13,40	13,40	0	13392	20,30
57	5,60	13,40	13,40	0	13392	11,40
58	5,70	13,40	13,40	0	13392	5,61
59	5,80	13,40	13,40	0	-13392	3,69
60	5,90	13,40	13,40	0	-13392	2,51
61	6,00	13,40	13,40	0	-13392	1,24
62	6,10	13,40	13,40	0	-13392	2,44
63	6,20	13,40	13,40	0	-13392	3,41
64	6,30	13,40	13,40	0	13392	4,75
65	6,40	13,40	13,40	0	13392	7,70
66	6,50	13,40	13,40	0	13392	16,47
67	6,60	13,40	13,40	0	13392	30,14
68	6,70	13,40	13,40	0	13392	19,83
69	6,80	13,40	13,40	0	13392	13,47
70	6,90	13,40	13,40	0	13392	10,40
71	7,00	13,40	13,40	0	13392	9,23
72	7,10	13,40	13,40	0	13392	8,99
73	7,20	13,40	13,40	0	-13392	9,50
74	7,30	13,40	13,40	0	-13392	11,14
75	7,40	13,40	13,40	0	-13392	15,10
76	7,50	13,40	13,40	0	13392	223,39



Elenco ferri

Simbologia adottata

<i>Destinazione</i>	Destinazione ferro
ϕ	Diametro ferro espresso in [mm]
n	Numero tondini
L	Lunghezza totale ferro espressa in [cm]
P	Peso singolo ferro espresso in [kg]
P_g	Peso gruppo espresso in [kg]

Destinazione	ϕ	n	L	P	P_g
Paramento	16,00	4	241,00	3,80	15,22
Paramento	16,00	3	109,00	1,72	5,16
Paramento	8,00	5	205,00	0,81	4,04
Paramento	16,00	4	238,00	3,76	15,03
Paramento	8,00	5	190,00	0,75	3,75
Paramento	16,00	1	132,94	2,10	2,10
Paramento	16,00	1	150,94	2,38	2,38
Paramento	8,00	6	40,19	0,16	0,95

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale
- Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.
- Progetto e verifica della lunghezza di ancoraggio dei tiranti.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	MAX - Analisi e Calcolo Muri di Sostegno
Versione	14.00
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	ing. Filippo Stefano
Licenza	AIU1847LP

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

VERIFICA TIRANTI

Con presente verifica si dimensionano i tiranti e il bulbo resistente minimo da adottare.
Il tirante ipotizzato nel calcolo è del tipo a filettatura continua di tipo passivo e pertanto verrà iniettato su tutta la lunghezza anche se nel calcolo viene determinata la lunghezza minima della parte resistente.

DIMENSIONAMENTO TIRANTI

A) STRATIGRAFIA TERRENI DI FONDAZIONE E PARAMETRI GEOTECNICI

STRATO 1 :

SPESSORE =	5,0 m	$\gamma =$	19 kN/mc
Aderenza malta-terreno $\tau_{lim} =$	0,25 N/mm ²	$\phi =$	30 °
Coefficiente sbulbamento $\alpha =$	1,20	$c =$	0 kN/m ²
Carico limite terreno di fondazione =	0,30 N/mm ²		

STRATO 2 :

		Coeff. Attrito plinto-terreno =	0,36
SPESSORE =	10,0 m	$\gamma =$	25 kN/mc
Aderenza malta-terreno $\tau_{lim} =$	0,60 N/mm ²	$\phi =$	32 °
Coefficiente sbulbamento $\alpha =$	1,10	$c =$	10 kN/m ²

B) CARATTERISTICHE FONDAZIONI

N° PROVE PRELIMINARI =	0	
N° PROFILI INDAGATI =	0	
Fattore di correlazione $\xi_{a3} =$	1,80	(tabelle 6.6.II e 6,6.III)

TIPO DI FONDAZIONI = PERMANENTI

Coeff.parz. Resis. Caratteristica $\gamma_{Ra,p} =$ 1,20 (tabella 6.6.I)

Nelle pagine seguenti si riportano le verifiche dei tiranti.



DIMENSIONAMENTO TIRANTI IN BARRA

1) AZIONI DA VERIFICA DI STABILITA'

1.1 CARICO SUL SINGOLO TIRANTE

Trazione sul singolo ancoraggio $P_k = 294,00$ kN (30 ton)

2) MATERIALI

2.1 CALCESTRUZZO

Tipo =	C20/25	
Resistenza caratteristica $R_{ck} =$	25 N/mm ²	
Resistenza caratteristica cilindrica 28gg $f_{ck} =$	20,75 N/mm ²	($f_{ck} = R_{ck} * 0,83$)
Modulo di elasticità $E_{ck} =$	31 477,00 N/mm ²	
E_s/E_c per calcolo tensione esercizio =	15,00	
E_s/E_c per calcolo ampiezza fessure =	7,00	
coefficiente riduttivo lunga durata $\alpha_{cc} =$	0,85	
Resistenza di calcolo per S.L.U. $f_{cd} =$	11,76 N/mm ²	($\gamma_c = 1,5$)
Resistenza di calcolo per S.L.E. $f_{cd} =$	17,64 N/mm ²	($\gamma_c = 1,0$)
Resistenza caratteristica a trazione $f_{ctk} =$	1,59 N/mm ²	
Resistenza di calcolo a trazione S.L.U. $f_{ctd} =$	1,06 N/mm ²	
Resistenza di calcolo a trazione S.L.E. $f_{ctd} =$	1,59 N/mm ²	
Resistenza di calcolo a flessione S.L.E. $f_{ctfd} =$	1,90 N/mm ²	
limite di compressione $\sigma_c \leq 0,60 \leq f_{ck}$		per comb. Rara
limite di compressione $\sigma_c \leq 0,45 \leq f_{ck}$		per comb. Quasi perm.

2.2 TIRANTE IN BARRA

Tipo = GEWI plus
Classe di resistenza 600,00 N/mm²

3) VERIFICHE

3.1 ANCORAGGIO

3.1.1 VERIFICA RESISTENZA ANCORAGGI (S.L.U.)

Trazione caratteristica $P_k = 294,00$ kN
coefficiente sicurezza SLU $\gamma_G = 1,5$
Trazione di progetto $P_d = 441,00$ kN

CARATTERISTICHE ANCORAGGI

Diametro ancoraggi = 30,00 mm
Tensione di snervamento $f_{yk} = 600,00$ N/mm²

VERIFICA

Resistenza di progetto $R_d = 450,30$ kN **Ok!**

3.1.2 VERIFICA SFILAMENTO BULBO-TERRENO (S.L.U.)

Trazione di progetto $N_d = 441,00$ kN

CARATTERISTICHE PERFORAZIONE

Diametro perforazione $D = 110,00$ mm
Fattore di correlazione $\xi_{a3} = 1,80$ (tabelle 6.6.II e 6.6.III)
Coeff.parz. Resis. Caratteristica $\gamma_{Ra,p} = 1,20$ (tabella 6.6.I)

CARATTERISTICHE TERRENO

STRATO 1 :	Lunghezza =	3,0 m
	Aderenza malta-terreno τ_{lim} =	0,25 N/mm ²
	Coefficiente sbulbamento α =	1,20
STRATO 2 :	Lunghezza =	7,0 m
	Aderenza malta-terreno τ_{lim} =	0,60 N/mm ²
	Coefficiente sbulbamento α =	1,10
	N=	486,17 Ok!
	Lunghezza minima bulbo-terreno =	10,00 m

3.1.3 VERIFICA SFILAMENTO ANCORAGGIO-CLS (S.L.U.)

	Trazione di progetto Nd =	441,00 kN
CARATTERISTICHE INTERFACCIA ANCORAGGIO-CLS		
	Tipologia di ancoraggio =	ADER. MIGL.
	Diametro ancoraggi =	30,00 mm
	Circonferenza fune singola =	94,20 mm
	Circonferenza utile ancoraggio in fune =	169,56 mm
	Coefficiente η =	1,00
	Aderenza malta-ancoraggio f_{bk} =	3,57 N/mm ²
	Aderenza malta-ancoraggio f_{bd} =	2,38 N/mm ²
	Aderenza malta-ancoraggio f_{bd} in zona tesa =	1,59 N/mm ²
LUNGHEZZA MINIMA PER VERIFICA		
	Lunghezza minima ancoraggio-cls =	1,64 m

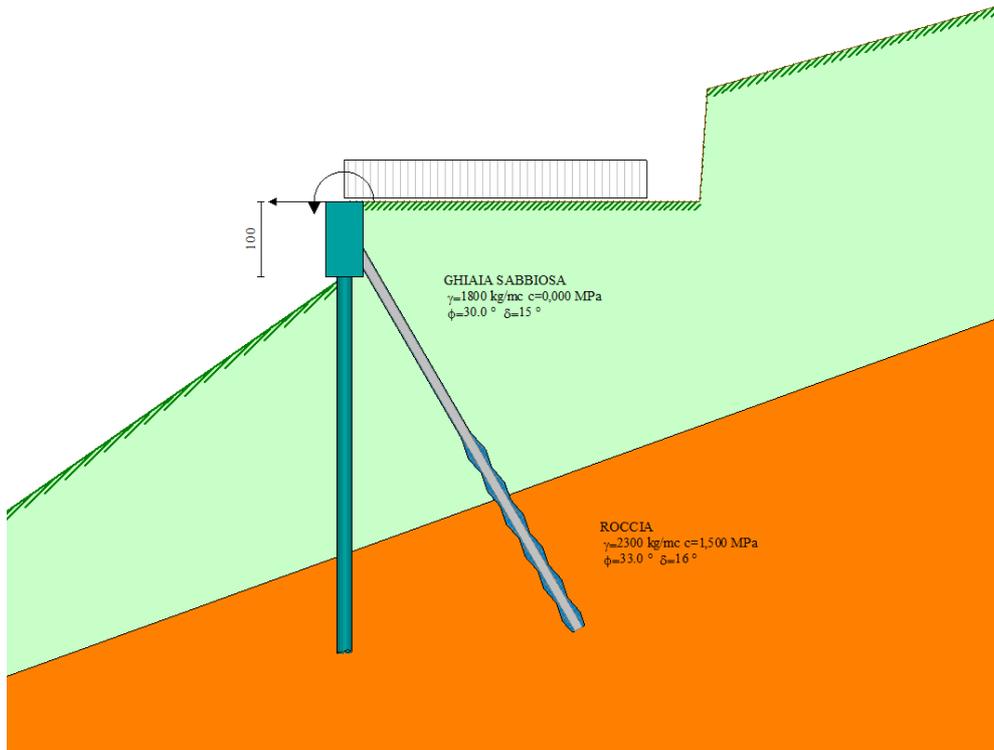
4) RIASSUNTO ELEMENTI DI FONDAZIONE

Lunghezza minima BULBO RESISTENTE da adottare =	10,00 m
Spessore terreno alterato =	0,00 m
Lungh. minima ancoraggio =	10,00 m
Lunghezza adottata =	10,00 m

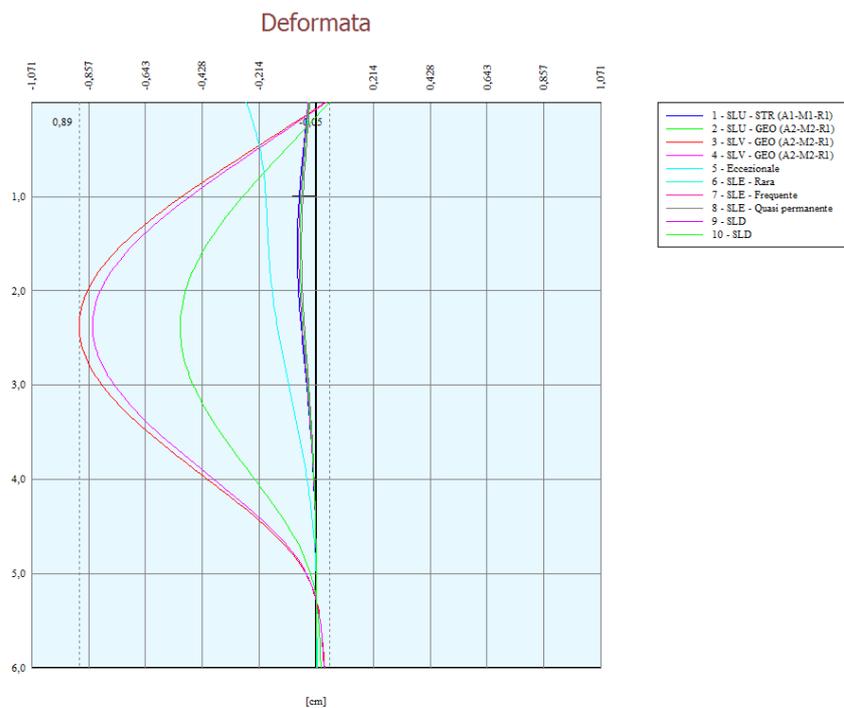
Ok!

1 ANCORAGGIO IN FUNE GEWI plus diam. 30 Lungh. 10 m

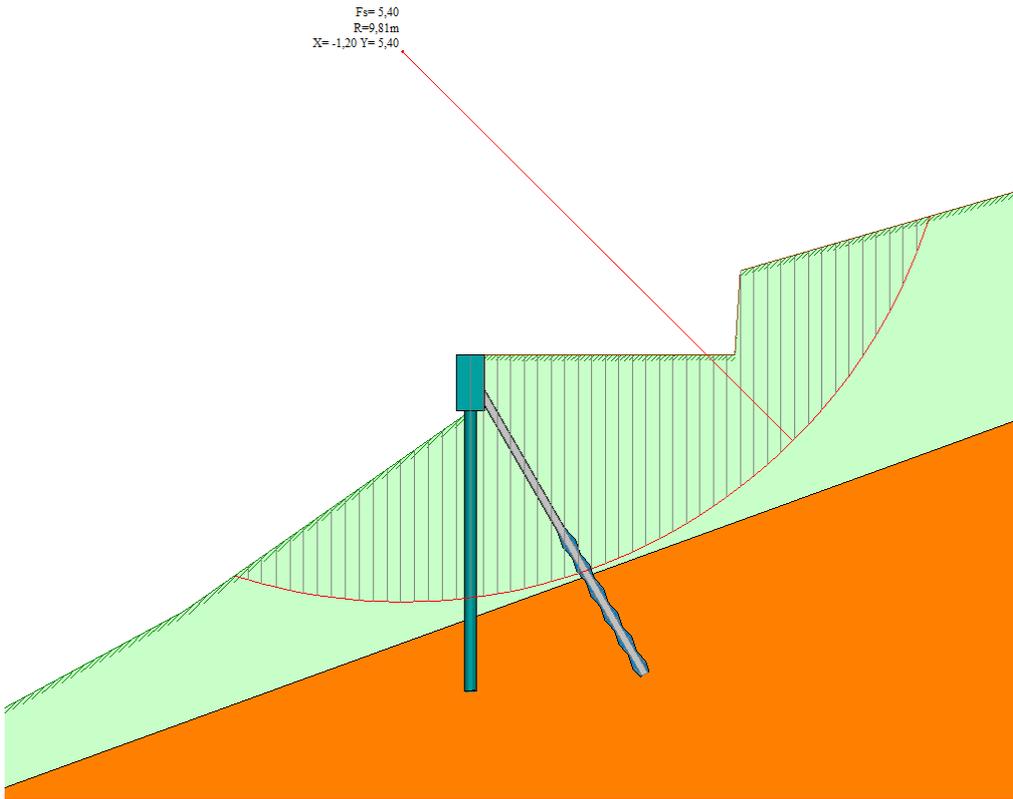
4. INTERVENTO 4) – CONSOLIDAMENTO STRADA



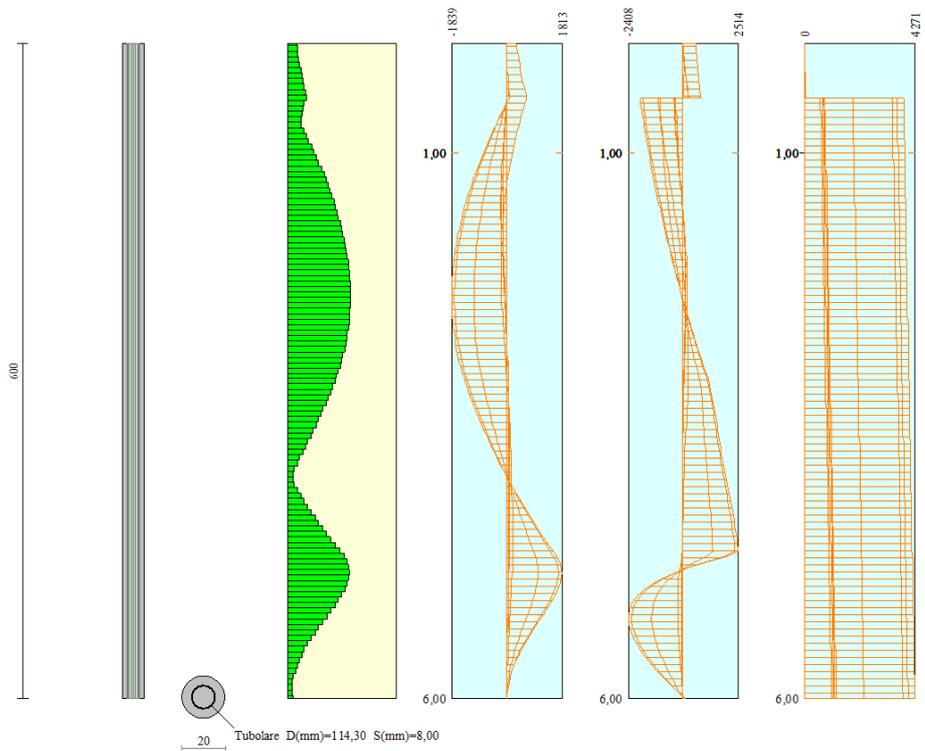
Sezione di verifica



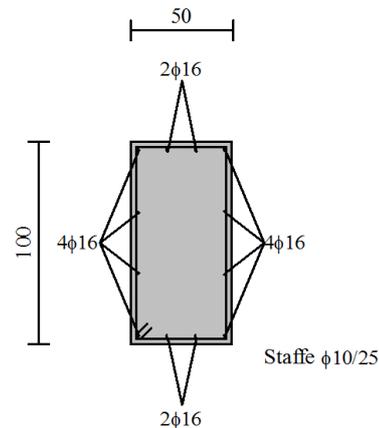
Inviluppo deformato



Verifica stabilità globale



Verifica armature pali



Cordolo N. 1(Quota 0,00)

Armatura cordolo

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 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.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.

Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)

Richiami teorici

Metodo di analisi

Calcolo della profondità di infissione

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la controspinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.

Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la controspinta sarà assente.



Pertanto il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, contropinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).

Nel calcolo classico delle paratie si suppone che essa sia infinitamente rigida e che possa subire una rotazione intorno ad un punto (*Centro di rotazione*) posto al di sotto della linea di fondo scavo (per paratie non tirantate).

Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.

Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

K_{am}	diagramma della spinta attiva agente da monte
K_{av}	diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata
K_{pm}	diagramma della spinta passiva agente da monte
K_{pv}	diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$$D_m = K_{pm} \cdot K_{av} \quad e \quad D_v = K_{pv} \cdot K_{am}$$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.

Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione si può agire con tre modalità :

1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio
2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su $\tan(\phi)$ e sulla coesione

Calcolo della spinte

Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb: cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea o spezzata (nel caso di terreno stratificato).

La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo).

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima nel caso di spinta attiva e minima nel caso di spinta passiva.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z . Noto il diagramma delle pressioni si ricava il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di **Mononobe-Okabe** (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con W il peso del cuneo e con C il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W \cdot C$$

Indicando con S la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/2 dell'altezza della parete stessa (diagramma rettangolare).

Tiranti di ancoraggio

Le paratie possono essere tirantate, con tiranti attivi o con tiranti passivi, realizzati entrambi tramite perforazione e iniezione del foro con malta in pressione previa sistemazione delle armature opportune.

I tiranti attivi, contrariamente ai tiranti passivi, sono sottoposti ad uno sforzo di pretensione prendendo il contrasto sulla struttura stessa. Il tiro finale sul tirante attivo dipende sia dalla pretensione che dalla deformazione della struttura oltre che dalle cadute di tensione. Nel caso di tiranti passivi il tiro dipende unicamente dalla deformabilità della struttura. L'armatura dei tiranti attivi è costituita da trefoli ad alta resistenza (trefoli per c.a.p.), viceversa i tiranti passivi possono essere armati con trefoli o con tondini o, in alcuni casi, con profilati tubolari.

La capacità di resistenza dei tiranti è legata all'attrito e all'aderenza fra superficie del tirante e terreno.

Calcolo della lunghezza di ancoraggio

La lunghezza di ancoraggio (fondazione) del tirante si calcola determinando la lunghezza massima atta a soddisfare le tre seguenti condizioni:

1. Lunghezza necessaria per garantire l'equilibrio fra tensione tangenziale che si sviluppa fra la superficie laterale del tirante ed il terreno e lo sforzo applicato al tirante;
2. Lunghezza necessaria a garantire l'aderenza malta-armatura;
3. Lunghezza necessaria a garantire la resistenza della malta.

Siano **N** lo sforzo nel tirante, **δ** l'angolo d'attrito tirante-terreno, **c_a** l'adesione tirante-terreno, **γ** il peso di volume del terreno, **D** ed **L_f** il diametro e la lunghezza di ancoraggio (o lunghezza efficace) del tirante ed **H** la profondità media al di sotto del piano campagna abbiamo la relazione

$$N = \pi D L_f \gamma H K_s \operatorname{tg} \delta + \pi D L_f c_a$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio **L_f**

$$L_f = \frac{N}{\pi D \gamma H K_s \operatorname{tg} \delta + \pi D c_a}$$

K_s rappresenta il coefficiente di spinta che si assume pari al coefficiente di spinta a riposo

$$K_s = K_0 = 1 - \sin \phi$$

Per quanto riguarda la seconda condizione, la lunghezza necessaria atta a garantire l'aderenza malta-armatura è data dalla relazione

$$L_f = \frac{N}{\pi d \tau_{c0} \omega}$$

dove **d** è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, **τ_{c0}** è la resistenza tangenziale limite della malta ed **ω** è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli (**ω = 1 - 0.075 [n trefoli - 1]**).

Per quanto riguarda la verifica della terza condizione si impone che la tensione tangenziale limite tirante-terreno non possa superare la tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo **f_{1,td}**.

Alla lunghezza efficace determinata prendendo il massimo valore di **L_f** si deve aggiungere la lunghezza di franco **L** che rappresenta la lunghezza del tratto compreso fra la paratia e la superficie di ancoraggio.

La lunghezza totale del tirante sarà quindi data da

$$L_t = L_f + L$$

Nel caso di tiranti attivi, cioè tiranti soggetti ad uno stato di pretensione, bisogna considerare le cadute di tensione. A tale scopo è stato introdotto il coefficiente di caduta di tensione, **β**, che rappresenta il rapporto fra lo sforzo **N₀** al momento del tiro e lo sforzo **N** in esercizio

$$\beta = N_0 / N$$

Analisi ad elementi finiti

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare (si fa riferimento ad un metro di larghezza) con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia **I** e l'area **A** per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.

La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dalla eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta **L** la lunghezza libera del tirante, **A_f** l'area di armatura nel tirante ed **E_s** il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad **L**, area **A_f**,

inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico E_s . La parte interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.

I carichi agenti possono essere di tipo distribuito (spinta della terra, diagramma aggiuntivo di carico, spinta della falda, diagramma di spinta sismica) oppure concentrati. I carichi distribuiti sono riportati sempre come carichi concentrati nei nodi (sotto forma di reazioni di incastro perfetto cambiate di segno).

Schematizzazione del terreno

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidità della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (*costante di Winkler*). La costante di sottofondo, k , è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo $[F/L^3]$. È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se m è l'interasse fra le molle (in cm) e b è la larghezza della paratia in direzione longitudinale ($b=100$ cm) occorre ricavare l'area equivalente, A_m , della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidità, si esprime come

$$A_m = 10000 \times \frac{k \Delta_m}{E_m}$$

Per le molle di estremità, in corrispondenza della linea di fondo scavo ed in corrispondenza dell'estremità inferiore della paratia, si assume una area equivalente dimezzata. Inoltre, tutte le molle hanno, ovviamente, rigidità flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidità di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidità degli elementi della paratia (elementi a rigidità flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidità dei tiranti (solo rigidità assiale) e delle molle (rigidità assiale).

Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

A questo punto vediamo come è effettuata l'analisi. Un tipo di analisi molto semplice e veloce sarebbe l'analisi elastica (peraltro disponibile nel programma **PAC**). Ma si intuisce che considerare il terreno con un comportamento infinitamente elastico è una approssimazione alquanto grossolana. Occorre quindi introdurre qualche correttivo che meglio ci aiuti a modellare il terreno. Fra le varie soluzioni possibili una delle più praticabili e che fornisce risultati soddisfacenti è quella di considerare il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto. Si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Rimane da scegliere il criterio di plasticizzazione del terreno (molle). Si può fare riferimento ad un criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore X_{max} ; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Un altro criterio può essere di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione p_{max} . Tale pressione p_{max} può essere imposta pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla. D'altronde un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale (K matrice di rigidità, u vettore degli spostamenti nodali, p vettore dei carichi nodali)

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p_0 , fino a raggiungere il carico totale p . Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassemblata escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidità è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassemblaggio e la decomposizione della matrice, ma usano la matrice elastica iniziale (*metodo di Riks*).

Senza addentrarci troppo nei dettagli diremo che si tratta di un metodo di Newton-Raphson modificato e ottimizzato. L'analisi condotta secondo questa tecnica offre dei vantaggi immediati. Essa restituisce l'effettiva deformazione della paratia e le relative sollecitazioni; dà informazioni dettagliate circa la deformazione e la pressione sul terreno. Infatti la deformazione è direttamente leggibile, mentre la pressione sarà data dallo sforzo nella molla diviso per l'area di influenza della molla stessa. Sappiamo quindi quale è la zona di terreno effettivamente plasticizzato. Inoltre dalle deformazioni ci si può rendere conto di un possibile meccanismo di rottura del terreno.

Analisi per fasi di scavo

L'analisi della paratia per fasi di scavo consente di ottenere informazioni dettagliate sullo stato di sollecitazione e deformazione dell'opera durante la fase di realizzazione. In ogni fase lo stato di sollecitazione e di deformazione dipende dalla 'storia' dello scavo (soprattutto nel caso di paratie tirantate o vincolate).

Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tenendo conto delle deformazioni dello stato precedente. Ad esempio, se sono presenti dei tiranti passivi si inserirà nell'analisi della fase la 'molla' che lo rappresenta. Indicando con u ed u_0 gli spostamenti nella fase attuale e nella fase precedente, con s ed s_0 gli sforzi nella fase attuale e nella fase precedente e con K la matrice di rigidità della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma



$$s = s_0 + K(u - u_0)$$

In sostanza analizzare la paratia per fasi di scavo oppure 'direttamente' porta a risultati abbastanza diversi sia per quanto riguarda lo stato di deformazione e sollecitazione dell'opera sia per quanto riguarda il tiro dei tiranti.

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1,10.

È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.

In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Il coefficiente di sicurezza fornito da Fellenius si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + [W_i \cos \alpha_i - u_i l_i] \operatorname{tg} \phi_i \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima e c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia. Inoltre u ed l rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ($l = b_i / \cos \alpha_i$). Quindi, assunto un cerchio di tentativo si suddivide in n strisce e dalla formula precedente si ricava η . Questo procedimento è eseguito per il numero di centri prefissato e è assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.



Dati

Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	1,00	[m]
Profondità di infissione	5,00	[m]
Altezza totale della paratia	6,00	[m]
Lunghezza paratia	10,00	[m]

Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,60	[m]
Diametro dei micropali	20,00	[cm]
Numero totale di micropali	17	
Numero di micropali per metro lineare	1.70	
Diametro esterno del tubolare	114,30	[mm]
Spessore del tubolare	8,00	[mm]

Geometria cordoli

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine del cordolo
Y	posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo

B	Base della sezione del cordolo espresso in [cm]
H	Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio

A	Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]
W	Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm ³]

N°	Y	Tipo	B	H	A	W
	[m]		[cm]	[cm]	[cmq]	[cm ³]
1	0,00	Calcestruzzo	50,00	100,00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N	numero ordine del punto
X	ascissa del punto espressa in [m]
Y	ordinata del punto espressa in [m]
A	inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
2	4,70	0,00	0.00
3	4,80	1,50	86.19
4	10,00	3,00	16.09

Profilo di valle

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	-9,96	-7,20	0.00
2	-5,11	-4,58	0.00
3	0,00	-1,00	86.19

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_{sat}	peso di volume saturo del terreno espresso [kg/mc]
ϕ	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
δ	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [MPa]

N°	Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	c
		[kg/mc]	[kg/mc]	[°]	[°]	[MPa]
1	GHIAIA SABBIOSA	1800,0	2000,0	30.00	15.00	0,0000
2	ROCCIA	2300,0	2400,0	33.00	16.00	1,5000

Parametri per il calcolo dei tiranti secondo il metodo di Bustamante-Doix

Simbologia adottata

α_{min} , α_{med} coeff. di espansione laterale minimo e medio del tirante nello strato
 f_{smin} , f_{smed} tensione tangenziale minima e media lungo il tirante espresso in [MPa]

N°	Descrizione	α_{min}	f_{smin}	α_{med}	f_{smed}
			[MPa]		[MPa]
1	GHIAIA SABBIOSA	1.20	0,3000	1.20	0,3000
2	ROCCIA	1.10	0,5000	1.10	0,5000

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n° numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
sp spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm²/cm
 α inclinazione dello strato espressa in GRADI(°) (M: strato di monte V:strato di valle)
Terreno Terreno associato allo strato (M: strato di monte V:strato di valle)

N°	sp	α_M	α_V	K _{wM}	K _{wV}	Terreno M	Terreno V
	[m]	[°]	[°]	[kg/cm ² /cm]	[kg/cm ² /cm]		
1	4,70	20.00	20.00	0.75	0.75	GHIAIA SABBIOSA	GHIAIA SABBIOSA
2	9,00	0.00	0.00	30.00	30.00	ROCCIA	ROCCIA

Caratteristiche tiranti di ancoraggio

Tipologia tiranti n° 1 - MICROPALI INCLINATI

Calcolo tiranti:	VERIFICA	
Diametro della perforazione	15,00	[cm]
Coeff. di espansione laterale	1.10	
Malta utilizzata per i tiranti		
Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R _{ck}	24,5	[MPa]
Acciaio utilizzato per i tiranti		
Tipo	S 355	
Tensione di snervamento f _{yk}	355,0	[MPa]
Tiranti passivi armati con tubolare		
Diametro esterno del tubolare:	114,30	[mm]
Spessore del tubolare:	8,00	[mm]
Metodo di calcolo dei tiranti:	BUSTAMANTE-DOIX	
Superficie di ancoraggio	Angolo di rottura	
Tensione limite resistenza malta	Tensione tangenziale aderenza acciaio-cla f _{bd}	

Descrizione tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata

n° numero d'ordine della fila
Tipologia Descrizione tipologia tirante
Y ordinata della fila espressa in [m] misurata dalla testa della paratia
I interasse tra le file di tiranti espressa in [m]
f franco laterale espressa in [m]
alfa inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
ALL allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
nr numero di tiranti della fila
Lt lunghezza totale del tirante espresso in [m]
Lf lunghezza di fondazione del tirante espresso in [m]
T tiro iniziale espresso in [kg]

n°	Tipologia	Y	I	f	Alfa	ALL	nr	Lt	Lf	T
		[m]	[m]	[m]	[°]			[m]	[m]	[kg]
1	MICROPALI INCLINATI	0,50	3,00	0,20	60.00	Sfalsati	4	6,00	--	--

Caratteristiche materiali utilizzati

Simbologia adottata

γ_{cls} Peso specifico cls, espresso in [kg/mc]
Classe cls Classe di appartenenza del calcestruzzo
Rck Rigidezza cubica caratteristica, espressa in [MPa]
E Modulo elastico, espresso in [MPa]



Acciaio n Tipo di acciaio
Coeff. di omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo

Descrizione	γ_{cs} [kg/mc]	Classe cls	Rck [MPa]	E [MPa]	Acciaio	n
Paratia	2500	C20/25	25,0	30200,4	S 355	15.00
Cordolo/Muro	2500	C25/30	30,0	31447,0	B450C	15.00

Coeff. di omogeneizzazione cls teso/compresso 1.00

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

Ig Indice di gruppo

F_x Forza orizzontale espressa in [kg], positiva da monte verso valle

F_y Forza verticale espressa in [kg], positiva verso il basso

M Momento espresso in [kgm], positivo ribaltante

Q_i, Q_r Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kg/mq]

V_i, V_s Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kg/mq], positivi da monte verso valle

R Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kg]

Condizione n° 1 - Eccezionale - BARRIERA

Carico distribuito sul profilo	X _i = 0,00	X _r = 4,00	Q _i = 2500	Q _r = 2500	
Carico concentrato sulla paratia	Y=0,00	F _x =1000	F _y =0	M=500	

Combinazioni di carico

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

Combinazione n° 1 - SLU - STR (A1-M1-R1)

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.30	

Combinazione n° 2 - SLU - GEO (A2-M2-R1)

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 3 - SLV - GEO (A2-M2-R1)

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 4 - SLV - GEO (A2-M2-R1)

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 5 - Eccezionale

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	
BARRIERA	SFAV	1.00	1.00

Combinazione n° 6 - SLE - Rara

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 7 - SLE - Frequente

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 8 - SLE - Quasi permanente

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 9 - SLD

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 10 - SLD

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Impostazioni di progetto

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Permanenti ns	Favorevole	γ_{Gfav}	0.80	0.80	0.00	0.00
Permanenti ns	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.35	1.15	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		Statici		Sismici	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Coesione efficace	γ_c	1.00	1.25	1.00	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.00
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60	1.00	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1.00	1.00	1.00	1.00

TIRANTI DI ANCORAGGIO

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche dei tiranti

Resistenza

Laterale γ_{st} **R3** 1,20

Coefficienti di riduzione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti.

Numero di verticali indagate 1 $\xi_3=1,80$ $\xi_4=1,80$

Verifica materiali : Stato Limite

Impostazioni verifiche SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo 1.50
 Coefficiente di sicurezza acciaio 1.15
 Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica 0.83
 Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo 0.85
 Coefficiente di sicurezza per la sezione 1.00

Verifica Taglio

Sezione in acciaio

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot f_{yd} / 3.0^{0.5}$$

con:

A_v Area lorda sezione profilo

Impostazioni verifiche SLE

Condizioni ambientali Ordinarie
Armatura ad aderenza migliorata

Impostazioni di analisi

Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno: Pressione passiva

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Nel calcolo del coefficiente di spinta attiva K_a e nell'inclinazione della spinta attiva (non viene considerato per la spinta passiva)

Stabilità globale: Metodo di Fellenius

Impostazioni analisi sismica

Identificazione del sito

Latitudine	46.016426
Longitudine	11.638121
Comune	Grigno
Provincia	Trento
Regione	Trentino-Alto Adige
Punti di interpolazione del reticolo	10075 - 10297 - 10298 - 10076

Tipo di opera

Tipo di costruzione	Opera di importanza strategica
Vita nominale	100 anni
Classe d'uso	II - Normali affollamenti e industrie non pericolose
Vita di riferimento	100 anni

Combinazioni/Fase

	SLU	SLE
Accelerazione al suolo $[m/s^2]$	1.684	0.693
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.479	2.441
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante T_{c^*}	0.333	0.282
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.200	1.200
Tipo di sottosuolo	B	
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.200	1.200
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza U_s [m]	0.030	0.030
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.550	0.550
Prodotto $\alpha \beta$	0.550 > 0.2	
Coefficiente di intensità sismica (percento)	13.595	5.598
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.50	

Influenza sisma nella spinta attiva da monte
Forma diagramma incremento sismico : Rettangolare

Risultati

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kg]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kg]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kg]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kg]
Pc	Controspinta, espressa in [kg]

n°	Tipo	Pa [kg]	Y _{Pa} [m]	Is [kg]	Y _{Is} [m]	Pw [kg]	Y _{Pw} [m]	Pp [kg]	Y _{Pp} [m]	Pc [kg]	Y _{Pc} [m]
1	SLU - STR	1102	1,24	--	--	--	--	-495	3,41	122	5,60
2	SLU - GEO	4107	2,47	--	--	--	--	-4635	4,87	2325	5,73
3	SLV - GEO	3812	4,48	4191	0,50	--	--	-8368	4,87	4094	5,73
4	SLV - GEO	3836	4,21	3650	0,50	--	--	-7871	4,87	3860	5,73
5	Eccezionale	2754	1,29	--	--	--	--	-833	4,24	374	5,65
6	SLE - Rara	848	1,24	--	--	--	--	-381	3,41	94	5,60
7	SLE - Frequente	848	1,24	--	--	--	--	-381	3,41	94	5,60
8	SLE - Quasi permanente	848	1,24	--	--	--	--	-381	3,41	94	5,60
9	SLD	833	1,39	189	0,50	--	--	-448	3,47	116	5,61
10	SLD	839	1,32	104	0,50	--	--	-418	3,45	106	5,60

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Rc	Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kg]
Rt	Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kg]
Rv	Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kg]
Rp	Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kg]

n°	Tipo	Rc [kg]	Y _{Rc} [m]	Rt [kg]	Y _{Rt} [m]	Rv [kg]	Y _{Rv} [m]	Rp [kg]	Y _{Rp} [m]
1	SLU - STR	0	0,00	729	0,50	0	0,00	0	0,00
2	SLU - GEO	0	0,00	1797	0,50	0	0,00	0	0,00
3	SLV - GEO	0	0,00	3729	0,50	0	0,00	0	0,00
4	SLV - GEO	0	0,00	3474	0,50	0	0,00	0	0,00
5	Eccezionale	1000	0,00	3295	0,50	0	0,00	0	0,00
6	SLE - Rara	0	0,00	561	0,50	0	0,00	0	0,00
7	SLE - Frequente	0	0,00	561	0,50	0	0,00	0	0,00
8	SLE - Quasi permanente	0	0,00	561	0,50	0	0,00	0	0,00
9	SLD	0	0,00	690	0,50	0	0,00	0	0,00
10	SLD	0	0,00	632	0,50	0	0,00	0	0,00

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
P _{NUL}	Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P _{INV}	Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C _{ROT}	Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP	Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R _{MAX}	Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]
Pp	Portanza di punta, espressa in [kg]

n°	Tipo	P _{NUL} [m]	P _{INV} [m]	C _{ROT} [m]	MP [%]	R/R _{MAX} [%]	Pp [kg]
1	SLU - STR	2,26	4,75	5,08	31,68	0,05	240942
2	SLU - GEO	4,68	4,75	5,28	73,27	0,93	150602
3	SLV - GEO	4,68	4,75	5,29	73,27	1,66	240942
4	SLV - GEO	4,68	4,75	5,29	73,27	1,56	240942
5	Eccezionale	2,97	4,75	5,15	49,50	0,10	240942
6	SLE - Rara	2,26	4,75	5,08	31,68	0,04	240942
7	SLE - Frequente	2,26	4,75	5,08	31,68	0,04	240942
8	SLE - Quasi permanente	2,26	4,75	5,08	31,68	0,04	240942
9	SLD	2,34	4,75	5,09	32,67	0,04	240942
10	SLD	2,30	4,75	5,08	31,68	0,04	240942

Sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]



M momento flettente espresso in [kgm]
N sforzo normale espresso in [kg] (positivo di compressione)
T taglio espresso in [kg]

Combinazione n° 1 - SLU - STR

n°	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	T [kg]
1	0,00	0	0	0
11	0,50	14	67	85
21	0,95	-231	1390	-422
31	1,45	-349	1457	-34
41	1,95	-269	1524	314
51	2,45	-91	1591	343
61	2,95	41	1657	175
71	3,45	101	1724	61
81	3,95	116	1791	-1
91	4,45	108	1858	-29
101	4,95	79	1924	-117
111	5,45	23	1991	-82
121	5,95	0	2058	-4

Combinazione n° 2 - SLU - GEO

n°	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	T [kg]
1	0,00	0	0	0
11	0,50	20	67	97
21	0,95	-702	3240	-1487
31	1,45	-1355	3306	-1096
41	1,95	-1770	3373	-541
51	2,45	-1868	3440	177
61	2,95	-1566	3507	1058
71	3,45	-867	3573	1605
81	3,95	-1	3640	1894
91	4,45	1037	3707	2228
101	4,95	1691	3774	-1326
111	5,45	660	3840	-2077
121	5,95	6	3907	-129

Combinazione n° 3 - SLV - GEO

n°	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	T [kg]
1	0,00	0	0	0
11	0,50	121	67	511
21	0,95	-1197	6586	-2620
31	1,45	-2309	6653	-1802
41	1,95	-2972	6719	-823
51	2,45	-3106	6786	317
61	2,95	-2629	6853	1618
71	3,45	-1545	6920	2582
81	3,95	-87	6986	3286
91	4,45	1750	7053	4029
101	4,95	2977	7120	-2255
111	5,45	1174	7187	-3680
121	5,95	12	7253	-231

Combinazione n° 4 - SLV - GEO

n°	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	T [kg]
1	0,00	0	0	0
11	0,50	107	67	456
21	0,95	-1133	6144	-2470
31	1,45	-2184	6211	-1708
41	1,95	-2814	6278	-785
51	2,45	-2942	6345	299
61	2,95	-2488	6411	1545
71	3,45	-1455	6478	2454
81	3,95	-74	6545	3102
91	4,45	1656	6612	3789
101	4,95	2807	6678	-2133
111	5,45	1106	6745	-3467
121	5,95	11	6812	-218

Combinazione n° 5 - Eccezionale

n°	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	T [kg]
1	0,00	500	0	1000
11	0,50	1102	67	1429
21	0,95	370	5834	-1368
31	1,45	-151	5901	-705
41	1,95	-339	5967	-74
51	2,45	-268	6034	317
61	2,95	-63	6101	459
71	3,45	146	6168	320
81	3,95	258	6234	126
91	4,45	296	6301	35
101	4,95	257	6368	-332
111	5,45	83	6435	-281
121	5,95	1	6501	-14

Combinazione n° 6 - SLE - Rara

n°	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	T [kg]
1	0,00	0	0	0
11	0,50	11	67	66
21	0,95	-177	1098	-324
31	1,45	-268	1165	-26
41	1,95	-207	1232	242
51	2,45	-69	1298	264
61	2,95	32	1365	134
71	3,45	78	1432	47
81	3,95	89	1499	-1
91	4,45	83	1566	-22
101	4,95	61	1632	-90
111	5,45	18	1699	-63
121	5,95	0	1766	-3

Combinazione n° 7 - SLE - Frequente

n°	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	T [kg]
1	0,00	0	0	0
11	0,50	11	67	66
21	0,95	-177	1098	-324
31	1,45	-268	1165	-26
41	1,95	-207	1232	242
51	2,45	-69	1298	264
61	2,95	32	1365	134
71	3,45	78	1432	47
81	3,95	89	1499	-1
91	4,45	83	1566	-22
101	4,95	61	1632	-90
111	5,45	18	1699	-63
121	5,95	0	1766	-3

Combinazione n° 8 - SLE - Quasi permanente

n°	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	T [kg]
1	0,00	0	0	0
11	0,50	11	67	66
21	0,95	-177	1098	-324
31	1,45	-268	1165	-26
41	1,95	-207	1232	242
51	2,45	-69	1298	264
61	2,95	32	1365	134
71	3,45	78	1432	47
81	3,95	89	1499	-1
91	4,45	83	1566	-22
101	4,95	61	1632	-90
111	5,45	18	1699	-63
121	5,95	0	1766	-3

Combinazione n° 9 - SLD

n°	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	T [kg]
1	0,00	0	0	0



n°	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	T [kg]
11	0,50	20	67	104
21	0,95	-201	1321	-381
31	1,45	-310	1388	-44
41	1,95	-249	1455	261
51	2,45	-92	1521	321
61	2,95	34	1588	169
71	3,45	92	1655	62
81	3,95	108	1722	2
91	4,45	102	1788	-24
101	4,95	76	1855	-111
111	5,45	23	1922	-79
121	5,95	0	1989	-4

Combinazione n° 10 - SLD

n°	Y [m]	M [kgm]	N [kg]	T [kg]
1	0,00	0	0	0
11	0,50	16	67	86
21	0,95	-190	1221	-355
31	1,45	-291	1288	-36
41	1,95	-230	1354	252
51	2,45	-82	1421	296
61	2,95	33	1488	153
71	3,45	86	1555	55
81	3,95	100	1621	0
91	4,45	93	1688	-23
101	4,95	69	1755	-102
111	5,45	21	1822	-72
121	5,95	0	1889	-3

Spostamenti della paratia

Simbologia adottata

- N° numero d'ordine della sezione
Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
u spostamento orizzontale espresso in [cm] positivo verso valle
v spostamento verticale espresso in [cm] positivo verso il basso

Combinazione n° 1 - SLU - STR

n°	Y [m]	U [cm]	V [cm]
1	0,00	0,03150	0,00569
11	0,50	0,04884	0,00568
21	1,00	0,06474	0,00526
31	1,50	0,07205	0,00483
41	2,00	0,06730	0,00437
51	2,50	0,05362	0,00390
61	3,00	0,03706	0,00340
71	3,50	0,02211	0,00288
81	4,00	0,01080	0,00235
91	4,50	0,00362	0,00179
101	5,00	0,00025	0,00121
111	5,50	-0,00053	0,00062
121	6,00	-0,00049	0,00000

Combinazione n° 2 - SLU - GEO

n°	Y [m]	U [cm]	V [cm]
1	0,00	-0,04821	0,01187
11	0,50	0,11664	0,01186
21	1,00	0,27704	0,01088
31	1,50	0,40981	0,00989
41	2,00	0,49224	0,00887
51	2,50	0,51053	0,00783
61	3,00	0,46269	0,00677
71	3,50	0,36133	0,00570
81	4,00	0,23187	0,00460
91	4,50	0,10644	0,00348
101	5,00	0,02213	0,00234
111	5,50	-0,00854	0,00118
121	6,00	-0,01723	0,00000

Combinazione n° 3 - SLV - GEO

n°	Y [m]	U [cm]	V [cm]
1	0,00	-0,03390	0,02306
11	0,50	0,23933	0,02305
21	1,00	0,50657	0,02106
31	1,50	0,72684	0,01904
41	2,00	0,86157	0,01701
51	2,50	0,88872	0,01495
61	3,00	0,80580	0,01288
71	3,50	0,63249	0,01078
81	4,00	0,40893	0,00867
91	4,50	0,18946	0,00653
101	5,00	0,04013	0,00437
111	5,50	-0,01486	0,00220
121	6,00	-0,03082	0,00000

Combinazione n° 4 - SLV - GEO

n°	Y [m]	U [cm]	V [cm]
1	0,00	-0,03582	0,02158
11	0,50	0,22314	0,02157
21	1,00	0,47630	0,01971
31	1,50	0,68502	0,01783
41	2,00	0,81280	0,01593
51	2,50	0,83875	0,01401
61	3,00	0,76042	0,01207
71	3,50	0,59658	0,01011
81	4,00	0,38545	0,00813
91	4,50	0,17843	0,00613
101	5,00	0,03773	0,00411
111	5,50	-0,01403	0,00206
121	6,00	-0,02901	0,00000

Combinazione n° 5 - Eccezionale

n°	Y [m]	U [cm]	V [cm]
1	0,00	0,26388	0,02055
11	0,50	0,21176	0,02054
21	1,00	0,19038	0,01877
31	1,50	0,18094	0,01698
41	2,00	0,16582	0,01518
51	2,50	0,13906	0,01335
61	3,00	0,10355	0,01151
71	3,50	0,06654	0,00964
81	4,00	0,03507	0,00775
91	4,50	0,01296	0,00584
101	5,00	0,00151	0,00392
111	5,50	-0,00160	0,00197
121	6,00	-0,00186	0,00000

Combinazione n° 6 - SLE - Rara

n°	Y [m]	U [cm]	V [cm]
1	0,00	0,02491	0,00471
11	0,50	0,03813	0,00470
21	1,00	0,05024	0,00437
31	1,50	0,05576	0,00403
41	2,00	0,05200	0,00366
51	2,50	0,04139	0,00327
61	3,00	0,02859	0,00287
71	3,50	0,01704	0,00244
81	4,00	0,00831	0,00199
91	4,50	0,00278	0,00153
101	5,00	0,00019	0,00104
111	5,50	-0,00041	0,00053
121	6,00	-0,00037	0,00000

Combinazione n° 7 - SLE - Frequente

n°	Y	U	V
----	---	---	---



	[m]	[cm]	[cm]
1	0,00	0,02491	0,00471
11	0,50	0,03813	0,00470
21	1,00	0,05024	0,00437
31	1,50	0,05576	0,00403
41	2,00	0,05200	0,00366
51	2,50	0,04139	0,00327
61	3,00	0,02859	0,00287
71	3,50	0,01704	0,00244
81	4,00	0,00831	0,00199
91	4,50	0,00278	0,00153
101	5,00	0,00019	0,00104
111	5,50	-0,00041	0,00053
121	6,00	-0,00037	0,00000

Combinazione n° 8 - SLE - Quasi permanente

n°	Y	U	V
	[m]	[cm]	[cm]
1	0,00	0,02491	0,00471
11	0,50	0,03813	0,00470
21	1,00	0,05024	0,00437
31	1,50	0,05576	0,00403
41	2,00	0,05200	0,00366
51	2,50	0,04139	0,00327
61	3,00	0,02859	0,00287
71	3,50	0,01704	0,00244
81	4,00	0,00831	0,00199
91	4,50	0,00278	0,00153
101	5,00	0,00019	0,00104
111	5,50	-0,00041	0,00053
121	6,00	-0,00037	0,00000

Combinazione n° 9 - SLD

n°	Y	U	V
	[m]	[cm]	[cm]
1	0,00	0,03110	0,00546
11	0,50	0,04630	0,00544
21	1,00	0,06042	0,00505
31	1,50	0,06703	0,00464
41	2,00	0,06287	0,00420
51	2,50	0,05041	0,00375
61	3,00	0,03505	0,00327
71	3,50	0,02102	0,00278
81	4,00	0,01033	0,00226
91	4,50	0,00349	0,00173
101	5,00	0,00025	0,00117
111	5,50	-0,00050	0,00060
121	6,00	-0,00047	0,00000

Combinazione n° 10 - SLD

n°	Y	U	V
	[m]	[cm]	[cm]
1	0,00	0,02832	0,00512
11	0,50	0,04263	0,00511
21	1,00	0,05585	0,00475
31	1,50	0,06197	0,00436
41	2,00	0,05799	0,00396
51	2,50	0,04636	0,00354
61	3,00	0,03215	0,00309
71	3,50	0,01923	0,00263
81	4,00	0,00942	0,00214
91	4,50	0,00317	0,00164
101	5,00	0,00023	0,00111
111	5,50	-0,00046	0,00057
121	6,00	-0,00043	0,00000

Verifica a spostamento

Simbologia adottata

n° Indice combinazione/Fase
 Tipo Tipo combinazione/Fase
 Ulim spostamento orizzontale limite, espresso in [cm]
 U spostamento orizzontale calcolato, espresso in [cm] (positivo verso valle)

n°	Tipo	Ulim	U
		[cm]	[cm]
3	SLV - GEO	3,0000	0,8924
4	SLV - GEO	3,0000	0,8422
9	SLD	3,0000	0,0671
10	SLD	3,0000	0,0620

Verifiche di corpo rigido

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
S	Spinta attiva da monte (risultante diagramma delle pressioni attive da monte) espressa in [kg]
R	Resistenza passiva da valle (risultante diagramma delle pressioni passive da valle) espresso in [kg]
W	Spinta netta falda (positiva da monte verso valle), espresso in [kg]
T	Reazione tiranti espresso in [kg]
P	Reazione puntoni espresso in [kg]
V	Reazione vincoli espresso in [kg]
C	Risultante carichi applicati sulla paratia (positiva da monte verso valle) espresso in [kg]
Y	Punto di applicazione, espresso in [m]
Mr	Momento ribaltante, espresso in [kgm]
Ms	Momento stabilizzante, espresso in [kgm]
FS _{RIB}	Fattore di sicurezza a ribaltamento
FS _{SCO}	Fattore di sicurezza a scorrimento

I punti di applicazione delle azioni sono riferite alla testa della paratia.
La verifica a ribaltamento viene eseguita rispetto al centro di rotazione posto alla base del palo.

n°	Tipo	S Y	R Y	W Y	T Y	P Y	V Y	C Y	Mr	Ms	FS _{RIB}	FS _{SCO}
		[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kgm]	[kgm]		
3	SLV - GEO	12359 2,94	357268 5,36	0 0,00	3729 0,50	0 0,00	0 0,00	0 0,00	36525	247807	6.784	30.239

Stabilità globale

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X _C ; Y _C)	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X _V ; Y _V)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X _M ; Y _M)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza

Numero di cerchi analizzati 100

n°	Tipo	X _C , Y _C	R	X _V , Y _V	X _M , Y _M	FS
		[m]	[m]	[m]	[m]	
2	SLU - GEO	-1,20; 5,40	9,81	-4,20; -3,94	8,17; 2,47	6.124
3	SLV - GEO	-1,20; 5,40	9,81	-4,20; -3,94	8,17; 2,47	5.404
4	SLV - GEO	-1,20; 5,40	9,81	-4,20; -3,94	8,17; 2,47	5.723

Dettagli superficie con fattore di sicurezza minimo

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte	
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto	
Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)	
Le strisce sono numerate da monte verso valle	
N°	numero d'ordine della striscia
W	peso della striscia espresso in [kg]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [MPa]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
L	sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [MPa]
C _{tn} , C _{tt}	contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kg]

Combinazione n° 3 - SLV - GEO

Numero di strisce 51

Caratteristiche delle strisce

N°	W _i	α	L	φ	c	u	(C _{tn} ; C _{tt})
	[kg]	[°]	[m]	[°]	[MPa]	[MPa]	[kg]
1	52,01	-17.07	0,26	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)



N°	Wi	α	L	ϕ	c	u	(Ctn; Ctt)
	[kg]	[°]	[m]	[°]	[MPa]	[MPa]	[kg]
2	161,26	-15.56	0,26	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
3	267,40	-14.07	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
4	370,51	-12.59	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
5	470,63	-11.11	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
6	567,82	-9.64	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
7	662,12	-8.18	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
8	753,55	-6.72	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
9	842,15	-5.27	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
10	927,95	-3.82	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
11	1010,95	-2.38	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
12	1091,18	-0.93	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
13	1168,62	0.51	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
14	1243,30	1.96	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
15	1315,20	3.40	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
16	1384,31	4.85	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
17	1450,62	6.30	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
18	1866,56	7.74	0,24	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
19	1851,13	9.16	0,24	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
20	1833,06	10.58	0,24	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
21	1812,32	12.01	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
22	1788,85	13.45	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
23	1762,61	14.90	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
24	1733,56	16.36	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
25	1701,62	17.82	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
26	1666,74	19.30	0,25	30.00	0,0000	0,0000	(5108; 965)
27	1628,82	20.80	0,26	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
28	1587,79	22.31	0,26	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
29	1543,55	23.83	0,26	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
30	1495,98	25.38	0,27	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
31	1444,95	26.94	0,27	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
32	1390,34	28.53	0,27	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
33	1331,96	30.14	0,28	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
34	1269,65	31.77	0,28	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
35	1203,20	33.44	0,29	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
36	1132,36	35.14	0,29	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
37	1203,02	36.87	0,30	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
38	1640,43	38.65	0,31	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
39	1584,56	40.47	0,32	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
40	1522,89	42.34	0,32	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
41	1454,90	44.27	0,34	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
42	1379,96	46.27	0,35	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
43	1297,28	48.34	0,36	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
44	1205,90	50.50	0,38	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
45	1104,56	52.76	0,40	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
46	991,64	55.15	0,42	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
47	864,93	57.69	0,45	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
48	721,30	60.42	0,49	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
49	556,02	63.41	0,54	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
50	361,33	66.76	0,61	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)
51	127,70	70.00	0,70	30.00	0,0000	0,0000	(0; 0)

Resistenza a taglio paratia = 103227,04 [kg]

$\Sigma W_i = 59801,06$ [kg]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 21454,59$ [kg]

$\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 30211,70$ [kg]

$\Sigma c_i b_i / \cos \alpha_i = 0,00$ [kg]

Verifiche strutturali (Inviluppo)

Verifica a flessione

Simbologia adottata

- n° numero d'ordine della sezione
- Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
- M momento flettente espresso in [kgm]
- N sforzo normale espresso in [kg] (positivo di compressione)
- M_u momento ultimo di riferimento espresso in [kgm]
- N_u sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kg]
- FS coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

Area della sezione del tubolare 26,72 [cmq]

Y	n° - Tipo	M	N	M _u	N _u	FS
---	-----------	---	---	----------------	----------------	----



[m]		[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]	
0,00	5 - Eccezionale	294	0	-3707	0	12.602
0,50	5 - Eccezionale	648	39	3708	225	5.722
1,00	3 - SLV - GEO	-780	3878	-3223	16019	4.131
1,50	3 - SLV - GEO	-1410	3917	-3210	8918	2.277
2,00	3 - SLV - GEO	-1771	3956	-3205	7159	1.810
2,50	3 - SLV - GEO	-1816	3996	-3204	7052	1.765
3,00	3 - SLV - GEO	-1497	4035	-3209	8653	2.144
3,50	3 - SLV - GEO	-832	4074	-3225	15791	3.876
4,00	5 - Eccezionale	155	3671	2996	70853	19.299
4,50	3 - SLV - GEO	1149	4153	3219	11635	2.802
5,00	3 - SLV - GEO	1685	4192	3207	7979	1.903
5,50	3 - SLV - GEO	582	4231	3159	22954	5.425

Verifica a taglio

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
V _{Ed}	taglio agente sul palo, espresso in [kg]
V _{Rd}	taglio resistente, espresso in [kg]
FS	coefficiente di sicurezza a taglio (V _{Rd} /V _{Ed})

La verifica a taglio del micropalo è stata eseguita considerando una sezione anulare di area A = 26,72 cmq

Y	n° - Tipo	V _{Ed}	V _{Rd}	FS
[m]		[kg]	[kg]	
0,00	5 - Eccezionale	588	33854	57.551
0,50	3 - SLV - GEO	-1893	33854	17.885
1,00	3 - SLV - GEO	-1497	33854	22.611
1,50	3 - SLV - GEO	-1007	33854	33.626
2,00	3 - SLV - GEO	-422	33854	80.316
2,50	3 - SLV - GEO	259	33854	130.922
3,00	3 - SLV - GEO	1033	33854	32.758
3,50	3 - SLV - GEO	1560	33854	21.708
4,00	3 - SLV - GEO	1982	33854	17.084
4,50	3 - SLV - GEO	2408	33854	14.061
5,00	3 - SLV - GEO	-1681	33854	20.143
5,50	3 - SLV - GEO	-2033	33854	16.649

Verifica tensioni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
σ _f	tensione nell'acciaio espressa in [MPa]
τ _f	tensione tangenziale in [MPa]
σ _{id}	tensione ideale espressa in [MPa]

Area della sezione del tubolare 26,72 [cmq]

Y	σ _f	τ _f	σ _{id}	cmb
[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
0,00	0,000	0,000	0,000	6 - SLE - Rara
0,50	3,195	2,139	4,892	6 - SLE - Rara
1,00	19,149	1,290	19,279	6 - SLE - Rara
1,50	25,847	0,025	25,847	6 - SLE - Rara
2,00	19,566	1,102	19,658	6 - SLE - Rara
2,50	7,684	1,088	7,912	6 - SLE - Rara
3,00	6,368	0,533	6,435	6 - SLE - Rara
3,50	10,101	0,175	10,105	6 - SLE - Rara
4,00	11,011	0,019	11,011	6 - SLE - Rara
4,50	10,520	0,101	10,521	6 - SLE - Rara
5,00	8,451	0,403	8,479	6 - SLE - Rara
5,50	4,973	0,248	4,991	6 - SLE - Rara

Verifica a SLU * Diagrammi M-N delle sezioni

Di seguito sono riportati per ogni tratto di armatura i diagrammi di interazione M_u-N_u della sezione; sono stati calcolati 16 punti per ogni sezione analizzata.

Per la costruzione dei diagrammi limiti si sono assunti i seguenti valori:

Tensione caratteristica cubica del cls	$R_{bk} = 25,0$ [MPa]
Tensione caratteristica cilindrica del cls ($0.83 \times R_{bk}$)	$R_{ck} = 212$ (Kg/cm ²)
Fattore di riduzione per carico di lunga permanenza	$\psi = 0.85$
Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio	$f_{yk} = 355,0$ [MPa]
Coefficiente di sicurezza cls	$\gamma_c = 1.50$
Coefficiente di sicurezza acciaio	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo del cls ($\psi R_{ck} / \gamma_c$)	$R_c^* = 120$ (Kg/cm ²)
Resistenza di calcolo dell'acciaio (f_{yk} / γ_s)	$R_s^* = 3148$ (Kg/cm ²)
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s = 2100000$ (Kg/cm ²)
Deformazione ultima del calcestruzzo	$\epsilon_{cu} = 0.0035$ (0.35%)
Deformazione del calcestruzzo al limite elastoplastico	$\epsilon_{ck} = 0.0020$ (0.20%)
Deformazione ultima dell'acciaio	$\epsilon_{yu} = 0.0100$ (1.00%)
Deformazione dell'acciaio al limite elastico (R_s^* / E_s)	$\epsilon_{yk} = 0.0011$ (0.15%)

Legame costitutivo del calcestruzzo

Per il legame costitutivo del calcestruzzo si assume il diagramma parabola-rettangolo espresso dalle seguenti relazioni:

Tratto parabolico: $0 < \epsilon_c < \epsilon_{ck}$

$$\sigma_c = \frac{R_c^* (2\epsilon_c \epsilon_{ck} - \epsilon_c^2)}{\epsilon_{ck}^2}$$

Tratto rettangolare: $\epsilon_{ck} < \epsilon_c < \epsilon_{cu}$

$$\sigma_c = R_c^*$$

Legame costitutivo dell'acciaio

Per l'acciaio si assume un comportamento elastico-perfettamente plastico espresso dalle seguenti relazioni:

$$\sigma_s = E_s \epsilon_s \quad \text{per } 0 < \epsilon_s < \epsilon_{sy}$$

$$\sigma_s = R_s^* \quad \text{per } \epsilon_{sy} < \epsilon_s < \epsilon_{su}$$

Tratto armatura 1

N°	N_u [kg]	M_u [kgm]
1	-84096,14	0,00
2	0,00	3182,61
3	15230,70	3229,71
4	22846,05	3161,50
5	30461,39	3018,84
6	38076,74	2863,13
7	45692,09	2699,81
8	53307,44	2525,63
9	60922,79	2338,77
10	68538,14	2138,27
11	76153,48	1920,78
12	83768,83	1682,20
13	91384,18	1417,68
14	98999,53	1121,38
15	106614,88	786,30
16	114230,23	0,00
17	114230,23	0,00
18	106614,88	-786,30
19	98999,53	-1121,38
20	91384,18	-1417,68
21	83768,83	-1682,20
22	76153,48	-1920,78
23	68538,14	-2138,27
24	60922,79	-2338,77
25	53307,44	-2525,63
26	45692,09	-2699,81



N°	N _u [kg]	M _u [kgm]
27	38076,74	-2863,13
28	30461,39	-3018,84
29	22846,05	-3161,50
30	15230,70	-3229,71
31	0,00	-3182,61
32	-84096,14	0,00

Verifica sezione cordoli

Simbologia adottata

M_h momento flettente espresso in [kgm] nel piano orizzontale
T_h taglio espresso in [kg] nel piano orizzontale
M_v momento flettente espresso in [kgm] nel piano verticale
T_v taglio espresso in [kg] nel piano verticale

Cordolo N° 1 (X=0,00 m) (Cordolo in c.a.)

B=50,00 [cm]

H=100,00 [cm]

A_{rv}=8,04 [cmq]

A_{rh}=4,02 [cmq]

Staffe ϕ 10/25

Nbh=2 - Nbv=2

M_h=4195 [kgm]

M_{uh}=14512 [kgm]

FS=3.46

T_h=5594 [kg]

T_{Rh}=21210 [kg]

FS_T=3.79

M_v=7266 [kgm]

M_{uv}=30207 [kgm]

FS=4.16

T_v=9688 [kg]

T_R=43773 [kg]

FS_{TV}=4.52

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni. L'analisi strutturale è condotta con l'analisi statica non-lineare, utilizzando il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato limite indotto dai carichi statici. L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti, schematizzando la struttura in elementi lineari e nodi. Le incognite del problema sono le componenti di spostamento in corrispondenza di ogni nodo (2 spostamenti e 1 rotazioni).

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	PAC - Analisi e Calcolo Paratie
Versione	14.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casali del Manco - Loc. Casole Bruzio (CS)
Utente	ing. Filippo Stefano
Licenza	AIU1847LP

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Rovereto, aprile 2018

Il tecnico
ing. Stefano Filippi

