

**A.T.S. COMUNI DI ROSSA, BALMUCCIA E ALTRI  
PROVINCIA DI VERCELLI**

**REGIONE PIEMONTE  
P.S.R. 2014-2020 - Misura 4.3.4  
Infrastrutture per l'accesso e  
la gestione delle risorse forestali e pastorali**

**LAVORI DI REALIZZAZIONE DI NUOVA  
VIABILITA' SILVOPASTORALE PERMANENTE IN  
LOCALITA' FOLECCHIO  
TIPOLOGIA 1  
COMUNI DI ROSSA E BALMUCCIA**

**PROGETTO ESECUTIVO**

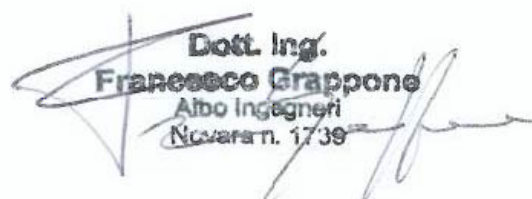
**Allegato n.7**

**RELAZIONE STRUTTURALE**

Rossa, 16 aprile 2018

il progettista  
Dott. For. Guido Locatelli

il progettista strutturale  
Dott. Ing. Francesco Grappone

  
**Dott. Ing.  
Francesco Grappone**  
Albo Ingegneri  
Novara n. 1739

# MURI IN PIETRA A GRAVITA' H = 80 cm

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. 17/01/2018

Le verifiche di tipo geotecnico (ribaltamento, scorrimento, carico limite, stabilità globale) e strutturali vengono svolte con il metodo agli Stati Limite Ultimi (S.L.U.)

### **Coeff. parziali o di sicurezza sulle azioni (A)**

#### gruppo EQU

azioni permanenti aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Gi}=0,9$

azioni permanenti aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Gs}=1,1$

azioni variabili aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Qi}=0$

azioni variabili aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Qs}=1,5$

#### gruppo A1

azioni permanenti aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Gi}=1$

azioni permanenti aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Gs}=1,3$

azioni variabili aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Qi}=0$

azioni variabili aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Qs}=1,5$

#### gruppo A2

azioni permanenti aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Gi}=1$

azioni permanenti aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Gs}=1$

azioni variabili aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Qi}=0$

azioni variabili aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Qs}=1,3$

### **Coeff. parziali o di sicurezza per i parametri geotecnici dei terreni (M)**

#### gruppo M1

tangente dell'angolo di resistenza al taglio  $g_f'=1$

coesione efficace  $g_{c'}=1$

coesione non drenata  $g_{cu}=1$

peso dell'unità di volume  $g_g=1$

#### gruppo M2

tangente dell'angolo di resistenza al taglio  $g_f'=1,25$

coesione efficace  $g_{c'}=1,25$

coesione non drenata  $g_{cu}=1,4$

peso dell'unità di volume  $g_g=1$

### **Coeff. parziali o di sicurezza sulle resistenze globali dei sistemi geotecnici (R)**

#### gruppo R3

Opera di sostegno:

coeff. sicurezza al ribaltamento  $g_{Rib}=1,15$

coeff. sicurezza allo scorrimento  $g_{Scorr}=1,1$

coeff. sicurezza al carico limite del complesso fondazione-terreno  $g_{Qlim}=1,4$

coeff. sicurezza resistenza del terreno a valle  $g_{Sp}=1,4$

Pali di fondazione:

coeff. sicurezza resistenza alla base  $g_b=1,35$

coeff. sicurezza resistenza laterale in compressione  $g_s=1,15$

coeff. sicurezza resistenza laterale in trazione  $g_{st}=1,25$

coeff. sicurezza resistenza a carichi trasversali  $g_T=1,3$

**La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno viene condotta secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2)**

**Le rimanenti verifiche SLU di tipo geotecnico e strutturale sono condotte in base all'Approccio 2 (A1+M1+R3)**

## **UNITA' DI MISURA**

### **Sistema Tecnico**

Lunghezze (coordinate, distanze, dimensioni, spostamenti ...): m

Aree sezioni: mq

Volumi: mc

Momenti di inerzia sezioni: m<sup>4</sup>

Forze, Resistenza alla punta e laterale, Sforzo normale, Taglio: kg

Momenti (stabilizzante, instabilizzante, flettente - per metro lineare di muro): kg\*m

Sovraccarico uniformemente ripartito: kg/mq

Coesione: kg/mq

Pesi unità di volume: kg/mc

Coefficienti di reazione del terreno o di Winkler: kg/cmc

tempi: secondi (s)

velocità: m/s

accelerazioni: m/s<sup>2</sup>

Latitudine, Longitudine: gradi sessadecimali

### calcoli strutturali

dimensioni, copriferro, interferro: cm

diametri tondini, staffe e spirali: mm

aree sezioni: cmq

volumi: cmc

Momenti di inerzia sezioni: cm<sup>4</sup>

Tensioni/pressioni, Moduli elastici, carico limite unitario, resistenze mater.: kg/cmq

## **METODI DI CALCOLO**

### **Muro**

calcolo della spinta: teoria di Coulomb generalizzata

calcolo del carico limite del complesso fondazione superficiale-terreno: teoria di Prandtl-Cacquot-Terzaghi

stabilità globale: metodo di Bishop

analisi sismica: metodo pseudostatico

calcolo spostamenti permanenti indotti dal sisma: metodo Newmark > Whitman e Liao

### **Pali di fondazione**

valori del fattore di forma  $N_q$  per il carico limite assiale: Berezantzev et al. (1961)

valori del fattore di forma  $N_q$  per pali trivallati di grande diametro: Berezantzev (1965)

Analisi del palo sotto carichi di esercizio (verifiche strutturali e calcolo spostamenti nel palo):

"Palo elastico su suolo elastico alla Winkler" - soluzione con il Metodo agli Elementi Finiti (F.E.M)

## **SISTEMA DI RIFERIMENTO ASSOLUTO**

Origine sull'estremo inferiore della fondazione di valle, asse X orizzontale verso monte, asse Y verticale verso l'alto, asse Z ortogonale al piano del disegno e uscente

## **INPUT DEL PROBLEMA**

### **CONDIZIONI DI ROTTURA**

Condizioni di rottura drenate - Assenza di pressioni neutre

### **TIPOLOGIA E SEZIONE MURO**

Muro a gravità in muratura

## DATI GEOMETRICI

### Sezione muro

scarpa esterna,  $Se=0,2$  m  
spessore muro in testa,  $Bm=0,8$  m  
scarpa interna,  $Si=0$  m  
altezza parte superiore muro,  $Hm=0,8$  m  
altezza complessiva muro,  $H=1,1$  m  
altezza fondazione,  $Hf=0,3$  m  
larghezza fondazione,  $B=1$  m  
sviluppo fondazione a monte,  $L=0$  m  
sviluppo longitudinale del muro (lungo l'asse Z),  $Lz=10$  m

### Terreni circostanti

inclinazione pendio di monte rispetto all'orizzontale,  $i(^{\circ})=0$   
affond. piano di posa fondazione,  $D=0,3$  m  
affond. terreno di monte rispetto al coronamento muro,  $Ha=0$  m  
angolo di rotazione del piano di posa della fondaz. rispetto all'orizzontale,  $\alpha(^{\circ})=0$   
spessore del magrone,  $Sm=0$  m

## DATI GEOTECNICI TERRENI

peso dell'unità di volume dell'acqua,  $gw=1000$  kg/mc

### Terreno spingente (1)

peso dell'unità di volume,  $g=1800$  kg/mc  
angolo di resistenza al taglio,  $Fi(^{\circ})=34$   
coesione drenata terreno spingente,  $c'=0$  kg/mq

### Terreno di fondazione (2)

peso dell'unità di volume,  $g=1800$  kg/mc  
angolo di resistenza al taglio,  $Fi(^{\circ})=34$   
coesione drenata terreno di fondazione,  $c'=0$  kg/mq  
costante di sottofondo o di Winkler del terreno di fondazione,  $kt=10$  kg/cm

## PROPRIETA' AL CONTATTO MURO-TERRENI E PALI-TERRENI

### Angoli di attrito sulle superfici di contatto muro-terreni

angolo di attrito terrapieno-muro,  $\delta=0^{\circ}$   
angolo di attrito muro-magrone o muro-terreno,  $\delta_1=30^{\circ}$   
adesione al contatto muro-magrone o muro-terreno  $ad_1=0$  kg/mq

## DATI MATERIALE MURO E PALI

peso dell'unità di volume,  $gm=2800$  kg/mc  
resistenza caratteristica a compressione,  $fk=30$  kg/cm<sup>2</sup>  
resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali,  $fvk_0=10$  kg/cm<sup>2</sup>  
coefficiente parziale di sicurezza,  $gM=2,5$   
resistenza di progetto a compressione,  $fd=fk/gM=12$  kg/cm<sup>2</sup>

## SOVRACCARICHI: 1) UNIFORMEMENTE RIPARTITO SUL TERRAPIENO; 2) CONCENTRATO SUL MURO

terrapieno: di tipo permanente,  $g_1=0$  kg/mq  
terrapieno: di tipo variabile,  $q_1=400$  kg/mq  
muro (di tipo permanente), componente orizz.  $H_2=0$  kg/m  
muro (di tipo permanente), componente vert.  $V_2=0$  kg/m

## AZIONE SISMICA

Localizzazione sito di costruzione: Longitudine=8,12; Latitudine=45,83  
Nodi della maglia elementare del reticolo sismico che contiene il sito di costruzione

Nodo	ID	Dist (km)
1	10248	4,1
2	10249	8,2
3	10692	7,1
4	10470	1,6

Vita nominale di progetto dell'opera,  $Vn=100$  anni  
Classe d'uso della costruzione = Classe II ( $Cu=1$ )

Categoria di sottosuolo = B  
Categoria topografica = T1  
Accelerazione di gravità,  $g=9,81 \text{ m/s}^2$   
Coefficiente di combinazione del sovraccarico saltuario in presenza di sisma = 0,6

### VERIFICHE AGLI S.L.E.

valore massimo ammissibile della tangente dell'angolo di rotazione del piano di posa della  
fondazione = 0,005 ( $\beta_{\max}=0,29^\circ$ )  
spostamento permanente ammissibile per effetto del sisma = 2 cm

### IMPOSTAZIONI DI CALCOLO

Terreni omogenei ed isotropi: spingente (1) - di fondazione (2) - di riporto sopra la fondaz. di monte (3)  
Condizioni di spinta "attiva"  
Non si tiene conto della spinta passiva a valle (a favore di sicurezza)

### COMBINAZIONI DI CARICO

#### Combinazioni fondamentali (assenza di sisma)

Azioni permanenti G:

- peso proprio elementi strutturali (muro)
- peso proprio terreno
- peso proprio elementi non strutturali
- carico concentrato sul coronamento del muro e sovraccarico permanente sul terrapieno
- spinte del terreno

Azioni variabili Q:

- sovraccarico saltuario sul terrapieno  $q_1$  (es. derivante da traffico veicolare)
- spinta dovuta al sovraccarico saltuario

#### Combinazioni sismiche

Azione sismica E

Azioni permanenti G

Azioni variabili Q (con coeff. riduttivo di combinazione)

## OUTPUT DEL PROBLEMA

### PARAMETRI SISMICI PER IL SITO DI COSTRUZIONE

Nel caso di sito non coincidente con uno dei nodi del reticolo sismico, i parametri sismici sono ottenuti per interpolazione con quelli dei quattro nodi della maglia elementare che contiene il sito

Tr (anni)	ag (m/s <sup>2</sup> )	ag/g	Fo	Tc* (s)
30	0,199	0,02	2,555	0,164
50	0,257	0,026	2,526	0,193
72	0,297	0,03	2,55	0,212
101	0,335	0,034	2,573	0,229
140	0,371	0,038	2,599	0,241
201	0,416	0,042	2,603	0,259
475	0,537	0,055	2,669	0,29
975	0,647	0,066	2,744	0,309
2475	0,806	0,082	2,869	0,329

Periodo di riferimento,  $V_r = 100$  anni

coeff. di amplificazione topografica,  $S_t = 1$

Verifiche agli SLU (Stato Limite di salvaguardia della Vita - SLV)

percentuale di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr} = 10\%$

Tempo di ritorno  $T_r = 949$  anni

acc. orizz. max attesa al sito di rifer. ridotto ed orizz  $ag = 0,642 \text{ m/s}^2$

parametro  $F_o = 2,741$

coeff. di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,2$

acc. orizz. max attesa al sito  $a_{\max} = 0,771 \text{ m/s}^2$

coeff. di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito  $B_m = 0,38$

Coefficiente sismico orizzontale  $Ch = 0,0298$

Coefficiente sismico verticale  $C_v = 0,0149$   
Verifiche agli SLE (Stato Limite di Danno - SLD)  
percentuale di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr} = 63\%$   
Tempo di ritorno  $T_r = 101$  anni  
acc. orizz. max attesa al sito di rifer. ridotto ed orizz  $a_g = 0,335 \text{ m/s}^2$   
parametro  $F_o = 2,573$   
coeff. di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,2$   
acc. orizz. max attesa al sito  $a_{max} = 0,402 \text{ m/s}^2$   
coeff. di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito  $B_m = 0,47$   
Coefficiente sismico orizzontale  $C_h = 0,0192$   
Coefficiente sismico verticale  $C_v = 0,0096$

#### **AREE, PESI E BRACCI (rispetto all'origine del sist. di riferimento)**

##### Muro

area = 1,02 mq  
peso = 2.856,00 kg  
ascissa baricentro muro = 0,53 m  
ordinata baricentro muro = 0,53 m  
Terreno di riporto sopra la fondazione a monte  
area = 0 mq  
peso = 0,00 kg  
ascissa baricentro terreno = 0 m  
ordinata baricentro terreno = 0 m

### **VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI**

#### **COMBINAZ. FONDAMENTALE 1 (assenza di sovraccarico accidentale)**

##### **VERIFICA AL RIBALTAMENTO (rispetto all'estremo di fondazione di valle)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico  
coeff. carichi permanenti favorevoli alla sicurezza = 1  
coeff. carichi permanenti sfavorevoli alla sicurezza = 1,3  
coeff. carichi variabili favorevoli alla sicurezza = 0  
coeff. carichi variabili sfavorevoli alla sicurezza = 1,5  
angolo di resistenza al taglio drenato di progetto terreno spingente,  $\phi_{1d} = 34^\circ$   
coesione drenata di progetto terreno spingente,  $C_{1d} = 0 \text{ kg/mq}$   
Coeff. di spinta attiva,  $K_a = 0,282715$   
Coeff. di spinta a riposo,  $K_o = 0,440807$   
Coeff. di spinta passiva,  $K_p = 3,537132$   
Spinta dovuta al terrapieno,  $St = 307,88 \text{ kg}$   
    componente orizzontale,  $St_h = 307,88 \text{ kg}$   
    braccio componente orizzontale,  $Y_{St} = 0,37 \text{ m}$   
    componente verticale,  $St_v = 0,00 \text{ kg}$   
    braccio componente verticale,  $X_{St} = 1 \text{ m}$   
Spinta complessiva,  $St_T = 307,88 \text{ kg}$   
Momento ribaltante,  $M_{rib} = 146,75 \text{ kg}\cdot\text{m}$   
Momento stabilizzante,  $M_{stab} = 1.525,07 \text{ kg}\cdot\text{m}$   
Coeff. di sicurezza = 10,39  
VERIFICA SODDISFATTA

##### **VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (piano di posa)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico  
angolo di resistenza al taglio di progetto terreno spingente,  $\phi_{1d} = 34^\circ$   
Coeff. di spinta attiva,  $K_a = 0,282715$   
Coeff. di spinta a riposo,  $K_o = 0,440807$   
Coeff. di spinta passiva,  $K_p = 3,537132$   
Spinta dovuta al terrapieno,  $St = 307,88 \text{ kg}$   
    componente orizzontale,  $St_h = 307,88 \text{ kg}$   
    braccio componente orizzontale,  $Y_{St} = 0,37 \text{ m}$   
    componente verticale,  $St_v = 0,00 \text{ kg}$

braccio componente verticale,  $X_{St} = 1 \text{ m}$   
 Spinta complessiva,  $StT=307,88 \text{ kg}$   
 Resistenza lungo la superficie di scorrimento,  $T_{lim}=1.648,91 \text{ kg}$   
 Componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano alla base del muro,  $R_h=400,24 \text{ kg}$   
 coeff. di sicurezza superf. separazione muro-magrone o muro-terreno = 4,12  
**VERIFICA SODDISFATTA**

## **VERIFICA AL CARICO LIMITE**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

Parametri geotecnici di progetto

angolo di resistenza al taglio drenato del terreno di fondazione,  $F_{i2d} (^{\circ})=34$

coesione drenata terreno di fondazione,  $c'_{2d}=0 \text{ kg/mq}$

peso dell'unità di volume del terreno superficiale,  $g_1=1800 \text{ kg/mc}$

peso dell'unità di volume del terreno di fondazione,  $g_2=1800 \text{ kg/mc}$

Risultante dei carichi in fondazione,  $R=2.883,91 \text{ kg}$

componente normale al piano posa fondazione,  $R_n=2.856,00 \text{ kg}$

componente tangenziale al piano posa fondazione,  $R_t=400,24 \text{ kg}$

angolo di inclinazione di R rispetto alla normale al piano di posa fondaz. =  $7,98^{\circ}$

eccentricità di R,  $E_c=-0,02 \text{ m}$

$B/6 = 0,17 \text{ m}$

base del muro non parzializzata

larghezza ridotta della fondazione,  $B'=0,97 \text{ m}$

Fattori del carico limite

$N_c=42,16$

$N_q=29,44$

$N_g=41,06$

Fattori di inclinazione del carico

$i_c=0,83$

$i_q=0,83$

$i_g=0,59$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$\alpha_c=1$

$\alpha_q=1$

$\alpha_g=1$

Carico limite unitario,  $q_{lim}=3,41 \text{ kg/cm}^2$

Carico limite,  $Q_{lim}=32.913,56 \text{ kg}$

Sottospinta,  $S_w=0,00 \text{ kg}$

Carico di esercizio,  $Q_{es}=R_n-S_w=2.856,00 \text{ kg}$

Coeff. di sicurezza = 11,52

**VERIFICA SODDISFATTA**

## **VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE**

n° di cerchi analizzati = 10

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno,  $F_{id} (^{\circ})=28,35$

coesione drenata di progetto,  $C'_{d}=0 \text{ kg/mq}$

**Cerchio critico:  $X_c (m)= 0,53$   $Y_c (m)= 1,61$   $R_c (m)= 1,8$**

concio	Wt	Wq	alfa ( $^{\circ}$ )	u	DX	Fsh	B	Fsv	N	T
1	10,69	0	-40,83	0	0,12	0	1,61	0	17,58	3,99
2	30,39	0	-36,07	0	0,12	0	1,61	0	45,05	10,23
3	47	0	-31,58	0	0,12	0	1,61	0	64,12	14,57
4	60,98	0	-27,3	0	0,12	0	1,61	0	77,75	17,66
5	72,66	0	-23,18	0	0,12	0	1,61	0	87,56	19,89
6	82,26	0	-19,18	0	0,12	0	1,61	0	94,58	21,48
7	107,37	0	-15,16	0	0,12	0	1,61	0	118,53	26,93
8	136,43	0	-11,08	0	0,12	0	1,61	0	145,49	33,05
9	163,42	0	-7,06	0	0,12	0	1,61	0	169,43	38,49
10	188,42	0	-3,07	0	0,12	0	1,61	0	191,01	43,39
11	211,45	0	0,91	0	0,12	0	1,61	0	210,72	47,87

12	232,52	0	4,88	0	0,12	0	1,61	0	228,93	52
13	251,62	0	8,88	0	0,12	0	1,61	0	245,94	55,87
14	268,7	0	12,93	0	0,12	0	1,61	0	262,02	59,52
15	250,74	0	16,87	0	0,11	0	1,61	0	245,13	55,68
16	242,64	0	20,73	0	0,11	0	1,61	0	238,9	54,27
17	232,68	0	24,69	0	0,11	0	1,61	0	231,87	52,67
18	220,7	0	28,78	0	0,11	0	1,61	0	223,86	50,85
19	206,44	0	33,04	0	0,11	0	1,61	0	214,56	48,74
20	189,6	0	37,51	0	0,11	0	1,61	0	203,52	46,23
21	169,67	0	42,28	0	0,11	0	1,61	0	190,06	43,17
22	145,93	0	47,45	0	0,11	0	1,61	0	172,97	39,29
23	117,11	0	53,19	0	0,11	0	1,61	0	149,94	34,06
24	80,76	0	59,87	0	0,11	0	1,61	0	115,63	26,27
25	30,15	0	68,49	0	0,11	0	1,61	0	52,15	11,85

L (m) = 3,68

M\_resist = 3.892,05 kg\*m

M\_instab = 1.638,44 kg\*m

Coff. sicurezza del pendio (metodo di Bishop) = 2,375

VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICHE STRUTTURALI MURO (metodo agli SLU)**

**Sez. 1-1 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 0,8 m largh. sez B = 1 m)**

spinta dovuta al terrapieno,  $St=162,84$  kg/m

spinta dovuta al sovraccarico,  $Sq=0,00$  kg/m

spinta complessiva,  $S=162,84$  kg/m

componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 211,70 kg

componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 2.016,00 kg

Momento ribaltante = 56,45 kg\*m

Momento stabilizzante = 1.105,07 kg\*m

eccentricità dello sforzo normale,  $e = 0,02$  m ( $u = 0,52$  m)

sforzo normale,  $Nx=-2.016,00$  kg

taglio,  $Tz=-211,70$  kg

momento flettente,  $My=-40,61$  kg\*m

sezione non parzializzata ( $B/6 = 0,17$  m)

tensione normale lembo esterno sezione = 0,18 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale lembo interno sezione = 0,23 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale media = 0,2 kg/cm<sup>2</sup>

tensione tangenziale max = 0,03 kg/cm<sup>2</sup>

resistenza di progetto a taglio,  $fvd=4,03$  kg/cm<sup>2</sup>

Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

### **COMBINAZ. FONDAMENTALE 2 (presenza di sovraccarico accidentale)**

#### **VERIFICA AL RIBALTAMENTO (rispetto all'estremo di fondazione di valle)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

coeff. carichi permanenti favorevoli alla sicurezza = 1

coeff. carichi permanenti sfavorevoli alla sicurezza = 1,3

coeff. carichi variabili favorevoli alla sicurezza = 0

coeff. carichi variabili sfavorevoli alla sicurezza = 1,5

angolo di resistenza al taglio drenato di progetto terreno spingente,  $Fi1d=34^\circ$

coesione drenata di progetto terreno spingente,  $C1d=0$  kg/m<sup>2</sup>

Coeff. di spinta attiva,  $Ka=0,282715$

Coeff. di spinta a riposo,  $Ko=0,440807$

Coeff. di spinta passiva,  $Kp=3,537132$

Spinta dovuta al terrapieno,  $St=307,88$  kg

componente orizzontale,  $Sth=307,88$  kg

braccio componente orizzontale,  $YSt= 0,37$  m

componente verticale,  $Stv=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $XSt = 1$  m

Spinta dovuta al sovraccarico sul terrepie



componente orizzontale,  $S_{qh}=124,39$  kg  
braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq}=0,55$  m  
componente verticale,  $S_{qv}=0,00$  kg  
braccio componente verticale,  $X_{Sq}=1$  m

Spinta complessiva,  $StT=432,27$  kg  
Momento ribaltante,  $M_{rib}=249,38$  kg\*m  
Momento stabilizzante,  $M_{stab}=1.525,07$  kg\*m  
Coeff. di sicurezza = 6,12  
VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (piano di posa)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno spingente,  $Fi1d=34^\circ$

Coeff. di spinta attiva,  $K_a=0,282715$

Coeff. di spinta a riposo,  $K_o=0,440807$

Coeff. di spinta passiva,  $K_p=3,537132$

Spinta dovuta al terrapieno,  $St=307,88$  kg  
componente orizzontale,  $S_{th}=307,88$  kg  
braccio componente orizzontale,  $Y_{St}=0,37$  m  
componente verticale,  $S_{tv}=0,00$  kg  
braccio componente verticale,  $X_{St}=1$  m

Spinta dovuta al sovraccarico sul terrepiano,  $S_q=124,39$  kg  
componente orizzontale,  $S_{qh}=124,39$  kg  
braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq}=0,55$  m  
componente verticale,  $S_{qv}=0,00$  kg  
braccio componente verticale,  $X_{Sq}=1$  m

Spinta complessiva,  $StT=432,27$  kg

Resistenza lungo la superficie di scorrimento,  $T_{lim}=1.648,91$  kg

Componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano alla base del muro,  $R_h=586,83$  kg  
coeff. di sicurezza superf. separazione muro-magrone o muro-terreno = 2,81

VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICA AL CARICO LIMITE**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

Parametri geotecnici di progetto

angolo di resistenza al taglio drenato del terreno di fondazione,  $Fi2d(^{\circ})=34$

coesione drenata terreno di fondazione,  $c'2d=0$  kg/mq

peso dell'unità di volume del terreno superficiale,  $g_1=1800$  kg/mc

peso dell'unità di volume del terreno di fondazione,  $g_2=1800$  kg/mc

Risultante dei carichi in fondazione,  $R=2.915,67$  kg

componente normale al piano posa fondazione,  $R_n=2.856,00$  kg

componente tangenziale al piano posa fondazione,  $R_t=586,83$  kg

angolo di inclinazione di R rispetto alla normale al piano di posa fondaz. =  $11,61^\circ$

eccentricità di R,  $E_c=-0,05$  m

$B/6=0,17$  m

base del muro non parzializzata

larghezza ridotta della fondazione,  $B'=0,89$  m

Fattori del carico limite

$N_c=42,16$

$N_q=29,44$

$N_g=41,06$

Fattori di inclinazione del carico

$i_c=0,76$

$i_q=0,76$

$i_g=0,43$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$\alpha_c=1$

$\alpha_q=1$

$\alpha_g=1$

Carico limite unitario,  $q_{lim}=2,64 \text{ kg/cm}^2$   
 Carico limite,  $Q_{lim}=23.562,86 \text{ kg}$   
 Sottospinta,  $Sw=0,00 \text{ kg}$   
 Carico di esercizio,  $Q_{es}=R_n-Sw=2.856,00 \text{ kg}$   
 Coeff. di sicurezza = 8,25  
**VERIFICA SODDISFATTA**

## **VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE**

n° di cerchi analizzati = 10

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno,  $Fid(^{\circ})=28,35$

coesione drenata di progetto,  $C'd=0 \text{ kg/m}^2$

**Cerchio critico:  $X_c(m)=0,53$   $Y_c(m)=1,61$   $R_c(m)=1,8$**

concio	Wt	Wq	alfa ( $^{\circ}$ )	u	DX	Fsh	B	Fsv	N	T
1	10,69	0	-40,83	0	0,12	0	1,61	0	18,63	5,21
2	30,39	0	-36,07	0	0,12	0	1,61	0	47,21	13,2
3	47	0	-31,58	0	0,12	0	1,61	0	66,62	18,63
4	60,98	0	-27,3	0	0,12	0	1,61	0	80,21	22,43
5	72,66	0	-23,18	0	0,12	0	1,61	0	89,8	25,11
6	82,26	0	-19,18	0	0,12	0	1,61	0	96,49	26,98
7	107,37	0	-15,16	0	0,12	0	1,61	0	120,35	33,66
8	136,43	0	-11,08	0	0,12	0	1,61	0	147,07	41,13
9	163,42	0	-7,06	0	0,12	0	1,61	0	170,57	47,7
10	188,42	0	-3,07	0	0,12	0	1,61	0	191,56	53,57
11	211,45	0	0,91	0	0,12	0	1,61	0	210,54	58,88
12	232,52	0	4,88	0	0,12	0	1,61	0	227,92	63,74
13	251,62	0	8,88	0	0,12	0	1,61	0	244,01	68,24
14	268,7	0	12,93	0	0,12	0	1,61	0	259,05	72,44
15	250,74	59,74	16,87	0	0,11	0	1,61	0	299,09	83,64
16	242,64	59,74	20,73	0	0,11	0	1,61	0	292,37	81,76
17	232,68	59,74	24,69	0	0,11	0	1,61	0	285,18	79,75
18	220,7	59,74	28,78	0	0,11	0	1,61	0	277,36	77,56
19	206,44	59,74	33,04	0	0,11	0	1,61	0	268,66	75,13
20	189,6	59,74	37,51	0	0,11	0	1,61	0	258,79	72,37
21	169,67	59,74	42,28	0	0,11	0	1,61	0	247,22	69,13
22	145,93	59,74	47,45	0	0,11	0	1,61	0	233,11	65,19
23	117,11	59,74	53,19	0	0,11	0	1,61	0	214,87	60,09
24	80,76	59,74	59,87	0	0,11	0	1,61	0	188,9	52,83
25	30,15	59,74	68,49	0	0,11	0	1,61	0	143,4	40,1

$L(m) = 3,68$

$M_{resist} = 4.555,79 \text{ kg} \cdot \text{m}$

$M_{instab} = 2.361,03 \text{ kg} \cdot \text{m}$

Coff. sicurezza del pendio (metodo di Bishop) = 1,93

**VERIFICA SODDISFATTA**

## **VERIFICHE STRUTTURALI MURO (metodo agli SLU)**

**Sez. 1-1 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 0,8 m largh. sez B = 1 m)**

spinta dovuta al terrapieno,  $St=162,84 \text{ kg/m}$

spinta dovuta al sovraccarico,  $Sq=90,47 \text{ kg/m}$

spinta complessiva,  $S=253,31 \text{ kg/m}$

componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 347,40 kg

componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 2.016,00 kg

Momento ribaltante = 110,73 kg\*m

Momento stabilizzante = 1.105,07 kg\*m

eccentricità dello sforzo normale,  $e = -0,01 \text{ m}$  ( $u = 0,49 \text{ m}$ )

sforzo normale,  $N_x=-2.016,00 \text{ kg}$

taglio,  $T_z=-347,40 \text{ kg}$

momento flettente,  $M_y=13,67 \text{ kg} \cdot \text{m}$

sezione non parzializzata ( $B/6 = 0,17 \text{ m}$ )

tensione normale lembo esterno sezione = 0,21 kg/cm<sup>2</sup>  
tensione normale lembo interno sezione = 0,19 kg/cm<sup>2</sup>  
tensione normale media = 0,2 kg/cm<sup>2</sup>  
tensione tangenziale max = 0,05 kg/cm<sup>2</sup>  
resistenza di progetto a taglio,  $f_{vd}=4,03$  kg/cm<sup>2</sup>  
Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

### **COMBINAZ. SISMICA (sovraccarico accidentale con coeff. di combinaz.)**

#### **VERIFICA AL RIBALTAMENTO (rispetto all'estremo di fondazione di valle)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

coeff. carichi permanenti favorevoli alla sicurezza = 1

coeff. carichi permanenti sfavorevoli alla sicurezza = 1

coeff. carichi variabili favorevoli alla sicurezza = 0

coeff. carichi variabili sfavorevoli alla sicurezza = 1

angolo di resistenza al taglio drenato di progetto terreno spingente,  $\varphi_{1d}=34^\circ$

coesione drenata di progetto terreno spingente,  $c_{1d}=0$  kg/m<sup>2</sup>

Coeff. di spinta attiva,  $K_a=0,282715$

Coeff. di spinta a riposo,  $K_o=0,440807$

Coeff. di spinta passiva,  $K_p=3,537132$

Spinta dovuta al terrapieno,  $S_t=307,88$  kg

componente orizzontale,  $S_{th}=307,88$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{St}=0,37$  m

componente verticale,  $S_{tv}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{St}=1$  m

Spinta dovuta al sovraccarico sul terzapieno,  $S_q=74,64$  kg

componente orizzontale,  $S_{qh}=74,64$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq}=0,55$  m

componente verticale,  $S_{qv}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{Sq}=1$  m

Spinta complessiva,  $S_{tT}=382,51$  kg

coeff. di spinta dinamico,  $K_{ad}=0,307839$

Incremento di spinta dovuto al sisma,  $D_{St}=28,99$  kg

componente orizzontale,  $D_{StH}=28,99$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{St}=0,37$  m

componente verticale,  $D_{StV}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{DSt}=1$  m

Forza d'inerzia,  $F_i=127,88$  kg

braccio forza d'inerzia,  $Y_{Fin}=0,53$  m

Momento ribaltante,  $M_{rib}=232,06$  kg\*m

Momento stabilizzante,  $M_{stab}=1.502,31$  kg\*m

Coeff. di sicurezza = 6,47

VERIFICA SODDISFATTA

condizione di sisma verticale più gravosa: dal basso verso l'alto

#### **VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (piano di posa)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno spingente,  $\varphi_{1d}=34^\circ$

Coeff. di spinta attiva,  $K_a=0,282715$

Coeff. di spinta a riposo,  $K_o=0,440807$

Coeff. di spinta passiva,  $K_p=3,537132$

Spinta dovuta al terrapieno,  $S_t=307,88$  kg

componente orizzontale,  $S_{th}=307,88$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{St}=0,37$  m

componente verticale,  $S_{tv}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{St}=1$  m

Spinta dovuta al sovraccarico sul terzapieno,  $S_q=74,64$  kg

componente orizzontale,  $S_{qh}=74,64$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq}=0,55$  m

componente verticale,  $S_{qv}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{Sq}=1$  m  
 Spinta complessiva,  $StT=382,51$  kg  
 coeff. di spinta dinamico,  $Kad=0,299247$   
 Incremento di spinta dovuto al sisma,  $DSt=17,50$  kg  
 componente orizzontale,  $DStH=17,50$  kg  
 braccio componente orizzontale,  $YSt=0,37$  m  
 componente verticale,  $DStV=0,00$  kg  
 braccio componente verticale,  $XDSt=1$  m  
 Forza d'inerzia,  $Fi=85,25$  kg  
 braccio forza d'inerzia,  $YFin=0,53$  m  
 Resistenza lungo la superficie di scorrimento,  $Tlim=1.624,30$  kg  
 Componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano alla base del muro,  $Rh=485,27$  kg  
 coeff. di sicurezza superf. separazione muro-magrone o muro-terreno = 3,35  
**VERIFICA SODDISFATTA**  
 condizione di sisma verticale più gravosa: dal basso verso l'alto

## **VERIFICA AL CARICO LIMITE**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico  
 Parametri geotecnici di progetto  
 angolo di resistenza al taglio drenato del terreno di fondazione,  $Fi2d(^{\circ})=34$   
 coesione drenata terreno di fondazione,  $c'2d=0$  kg/mq  
 peso dell'unità di volume del terreno superficiale,  $g1=1800$  kg/mc  
 peso dell'unità di volume del terreno di fondazione,  $g2=1800$  kg/mc  
 Risultante dei carichi in fondazione,  $R=2.940,47$  kg  
 componente normale al piano posa fondazione,  $Rn=2.898,63$  kg  
 componente tangenziale al piano posa fondazione,  $Rt=494,31$  kg  
 angolo di inclinazione di R rispetto alla normale al piano di posa fondaz. =  $9,68^{\circ}$   
 eccentricità di R,  $Ec=-0,04$  m  
 $B/6 = 0,17$  m  
 base del muro non parzializzata  
 larghezza ridotta della fondazione,  $B'=0,92$  m  
 Fattori del carico limite  
 $Nc=42,16$   
 $Nq=29,44$   
 $Ng=41,06$   
 Fattori di inclinazione del carico  
 $ic=0,8$   
 $iq=0,8$   
 $ig=0,51$   
 Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione  
 $alfa_c=1$   
 $alfa_q=1$   
 $alfa_g=1$   
 Carico limite unitario,  $qlim=3,01$  kg/cm<sup>2</sup>  
 Carico limite,  $Qlim=27.847,10$  kg  
 Sottospinta,  $Sw=0,00$  kg  
 Carico di esercizio,  $Qes=Rn-Sw=2.898,63$  kg  
 Coeff. di sicurezza = 9,61  
**VERIFICA SODDISFATTA**  
 condizione di sisma verticale più gravosa: dall'alto verso il basso

## **VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE**

n° di cerchi analizzati = 10  
 Trattasi di SLU di tipo geotecnico  
 angolo di resistenza al taglio di progetto terreno,  $Fid(^{\circ})=28,35$   
 coesione drenata di progetto,  $C'd=0$  kg/mq  
 condizione di sisma verticale più gravosa: dal basso verso l'alto  
**Cerchio critico:  $Xc(m)=0,53$   $Yc(m)=1,61$   $Rc(m)=1,8$**   
 .

Á	Á	Á	Á	Á	Á	Á	Á	Á	Á	Á	Á
1	10,69	0	-40,83	0	0,12	0,32	1,35	0,16	18,74	5,09	Á
2	30,39	0	-36,07	0	0,12	0,91	1,39	0,45	47,57	12,93	
3	47	0	-31,58	0	0,12	1,4	1,43	0,7	67,23	18,27	
4	60,98	0	-27,3	0	0,12	1,82	1,46	0,91	81,02	22,02	
5	72,66	0	-23,18	0	0,12	2,17	1,49	1,08	90,8	24,68	
6	82,26	0	-19,18	0	0,12	2,46	1,51	1,23	97,64	26,54	
7	107,37	0	-15,16	0	0,12	3,2	1,5	1,6	121,87	33,12	
8	136,43	0	-11,08	0	0,12	4,07	1,47	2,04	149,03	40,5	
9	163,42	0	-7,06	0	0,12	4,88	1,43	2,44	172,95	47	
10	188,42	0	-3,07	0	0,12	5,62	1,38	2,81	194,33	52,82	
11	211,45	0	0,91	0	0,12	6,31	1,33	3,16	213,71	58,08	
12	232,52	0	4,88	0	0,12	6,94	1,28	3,47	231,48	62,91	
13	251,62	0	8,88	0	0,12	7,51	1,22	3,76	247,94	67,39	
14	268,7	0	12,93	0	0,12	8,02	1,16	4,01	263,36	71,58	
15	250,74	27,57	16,87	0	0,11	8,31	1,06	4,15	272,69	74,11	
16	242,64	27,57	20,73	0	0,11	8,07	1,04	4,03	265,88	72,26	
17	232,68	27,57	24,69	0	0,11	7,77	1,02	3,88	258,42	70,23	
18	220,7	27,57	28,78	0	0,11	7,41	0,99	3,71	250,13	67,98	
19	206,44	27,57	33,04	0	0,11	6,99	0,95	3,49	240,75	65,43	
20	189,6	27,57	37,51	0	0,11	6,48	0,91	3,24	229,89	62,48	
21	169,67	27,57	42,28	0	0,11	5,89	0,87	2,94	216,95	58,96	
22	145,93	27,57	47,45	0	0,11	5,18	0,81	2,59	200,89	54,6	
23	117,11	27,57	53,19	0	0,11	4,32	0,74	2,16	179,77	48,86	
24	80,76	27,57	59,87	0	0,11	3,23	0,66	1,62	149,18	40,54	
25	30,15	27,57	68,49	0	0,11	1,72	0,56	0,86	94,55	25,7	

L (m) = 3,68

M\_resist = 4.242,05 kg\*m

M\_instab = 2.136,55 kg\*m

Coff. sicurezza del pendio (metodo di Bishop) = 1,985

VERIFICA SODDISFATTA

## VERIFICHE STRUTTURALI MURO (metodo agli SLU)

**Sez. 1-1 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 0,8 m largh. sez B = 1 m)**

spinta dovuta al terrapieno, St=162,84 kg/m

spinta dovuta al sovraccarico, Sq=54,28 kg/m

spinta complessiva, S=217,13 kg/m

incremento di spinta attiva dovuto al sisma, DSa=14,88 kg/m

forza d'inerzia, Fi=60,18 kg/m

componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 292,18 kg

componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 2.016,00 kg

Momento ribaltante = 92,29 kg\*m

Momento stabilizzante = 1.105,07 kg\*m

eccentricità dello sforzo normale, e = 0 m (u = 0,5 m)

sforzo normale, Nx=-2.016,00 kg

taglio, Tz=-292,18 kg

momento flettente, My=-4,78 kg\*m

sezione non parzializzata (B/6 = 0,17 m)

tensione normale lembo esterno sezione = 0,2 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale lembo interno sezione = 0,2 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale media = 0,2 kg/cm<sup>2</sup>

tensione tangenziale max = 0,04 kg/cm<sup>2</sup>

resistenza di progetto a taglio, fvd=4,03 kg/cm<sup>2</sup>

Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

## VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

### COMBINAZ. FONDAMENTALE 1 (assenza di sovraccarico accidentale)

Risultante dei carichi in fondazione, R=2.872,55 kg

componente orizzontale dei carichi in fondazione, Rh=307,88 kg

componente verticale dei carichi in fondazione,  $R_v=2.856,00$  kg  
angolo di inclinazione di R rispetto alla verticale =  $6,15^\circ$   
eccentricità di R,  $E_c=-0,01$  m  
limite del nocciolo centrale d'inerzia della base di fondaz.  $B/6=0,17$  m  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di valle,  $p_1=2.950,9$  kg/mq  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di monte,  $p_2=2.761,1$  kg/mq  
cedimento all'estremo di fondazione di valle,  $w_1=0,03$  cm  
cedimento all'estremo di fondazione di monte,  $w_2=0,03$  cm  
tangente dell'angolo di rotaz. della base della fondaz. =  $0,000019$  ( $\beta=0^\circ$ )  
Verifica allo S.L.E. soddisfatta

### **COMBINAZ. FONDAMENTALE 2 (presenza di sovraccarico accidentale)**

Risultante dei carichi in fondazione,  $R=2.888,53$  kg  
componente orizzontale dei carichi in fondazione,  $R_h=432,27$  kg  
componente verticale dei carichi in fondazione,  $R_v=2.856,00$  kg  
angolo di inclinazione di R rispetto alla verticale =  $8,61^\circ$   
eccentricità di R,  $E_c=-0,03$  m  
limite del nocciolo centrale d'inerzia della base di fondaz.  $B/6=0,17$  m  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di valle,  $p_1=3.361,4$  kg/mq  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di monte,  $p_2=2.350,6$  kg/mq  
cedimento all'estremo di fondazione di valle,  $w_1=0,03$  cm  
cedimento all'estremo di fondazione di monte,  $w_2=0,02$  cm  
tangente dell'angolo di rotaz. della base della fondaz. =  $0,000101$  ( $\beta=0,01^\circ$ )  
Verifica allo S.L.E. soddisfatta

### **COMBINAZ. SISMICA (sovraccarico accidentale con coeff. di combinaz.)**

accelerazione orizz. max attesa al sito,  $a_{max}=0,402$  m/s<sup>2</sup>  
accelerazione critica,  $a_c=6,873$  m/s<sup>2</sup>  
rapporto  $a_c/a_{max}=17,11$   
velocità orizz. max attesa al sito,  $V_{max}=0,0205$  m/s  
spostamento permanente indotto dal sisma =  $0$  cm  
Verifica allo S.L.E. soddisfatta

---

---

---

# MURI IN PIETRA A GRAVITA' H = 100 cm

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. 17/01/2018

Le verifiche di tipo geotecnico (ribaltamento, scorrimento, carico limite, stabilità globale) e strutturali vengono svolte con il metodo agli Stati Limite Ultimi (S.L.U.)

### **Coeff. parziali o di sicurezza sulle azioni (A)**

#### gruppo EQU

azioni permanenti aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Gi}=0,9$

azioni permanenti aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Gs}=1,1$

azioni variabili aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Qi}=0$

azioni variabili aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Qs}=1,5$

#### gruppo A1

azioni permanenti aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Gi}=1$

azioni permanenti aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Gs}=1,3$

azioni variabili aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Qi}=0$

azioni variabili aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Qs}=1,5$

#### gruppo A2

azioni permanenti aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Gi}=1$

azioni permanenti aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Gs}=1$

azioni variabili aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Qi}=0$

azioni variabili aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Qs}=1,3$

### **Coeff. parziali o di sicurezza per i parametri geotecnici dei terreni (M)**

#### gruppo M1

tangente dell'angolo di resistenza al taglio  $g_f=1$

coesione efficace  $g_c=1$

coesione non drenata  $g_{cu}=1$

peso dell'unità di volume  $g_g=1$

#### gruppo M2

tangente dell'angolo di resistenza al taglio  $g_f=1,25$

coesione efficace  $g_c=1,25$

coesione non drenata  $g_{cu}=1,4$

peso dell'unità di volume  $g_g=1$

### **Coeff. parziali o di sicurezza sulle resistenze globali dei sistemi geotecnici (R)**

#### gruppo R3

Opera di sostegno:

coeff. sicurezza al ribaltamento  $g_{Rib}=1,15$

coeff. sicurezza allo scorrimento  $g_{Scorr}=1,1$

coeff. sicurezza al carico limite del complesso fondazione-terreno  $g_{Qlim}=1,4$

coeff. sicurezza resistenza del terreno a valle  $g_{Sp}=1,4$

Pali di fondazione:

coeff. sicurezza resistenza alla base  $g_b=1,35$

coeff. sicurezza resistenza laterale in compressione  $g_s=1,15$

coeff. sicurezza resistenza laterale in trazione  $g_{st}=1,25$

coeff. sicurezza resistenza a carichi trasversali  $g_T=1,3$

**La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno viene condotta secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2)**

**Le rimanenti verifiche SLU di tipo geotecnico e strutturale sono condotte in base all'Approccio 2 (A1+M1+R3)**

## **UNITA' DI MISURA**

### **Sistema Tecnico**

Lunghezze (coordinate, distanze, dimensioni, spostamenti ...): m

Aree sezioni: mq

Volumi: mc

Momenti di inerzia sezioni: m<sup>4</sup>

Forze, Resistenza alla punta e laterale, Sforzo normale, Taglio: kg

Momenti (stabilizzante, instabilizzante, flettente - per metro lineare di muro): kg\*m

Sovraccarico uniformemente ripartito: kg/mq

Coesione: kg/mq

Pesi unità di volume: kg/mc

Coefficienti di reazione del terreno o di Winkler: kg/cmc

tempi: secondi (s)

velocità: m/s

accelerazioni: m/s<sup>2</sup>

Latitudine, Longitudine: gradi sessadecimali

### calcoli strutturali

dimensioni, copriferro, interferro: cm

diametri tondini, staffe e spirali: mm

aree sezioni: cmq

volumi: cmc

Momenti di inerzia sezioni: cm<sup>4</sup>

Tensioni/pressioni, Moduli elastici, carico limite unitario, resistenze mater.: kg/cmq

## **METODI DI CALCOLO**

### **Muro**

calcolo della spinta: teoria di Coulomb generalizzata

calcolo del carico limite del complesso fondazione superficiale-terreno: teoria di Prandtl-Cacquot-Terzaghi

stabilità globale: metodo di Bishop

analisi sismica: metodo pseudostatico

calcolo spostamenti permanenti indotti dal sisma: metodo Newmark > Whitman e Liao

### **Pali di fondazione**

valori del fattore di forma  $N_q$  per il carico limite assiale: Berezantzev et al. (1961)

valori del fattore di forma  $N_q$  per pali trivallati di grande diametro: Berezantzev (1965)

Analisi del palo sotto carichi di esercizio (verifiche strutturali e calcolo spostamenti nel palo):

"Palo elastico su suolo elastico alla Winkler" - soluzione con il Metodo agli Elementi Finiti (F.E.M)

## **SISTEMA DI RIFERIMENTO ASSOLUTO**

Origine sull'estremo inferiore della fondazione di valle, asse X orizzontale verso monte, asse Y verticale verso l'alto, asse Z ortogonale al piano del disegno e uscente

## **INPUT DEL PROBLEMA**

### **CONDIZIONI DI ROTTURA**

Condizioni di rottura drenate - Assenza di pressioni neutre

### **TIPOLOGIA E SEZIONE MURO**

Muro a gravità in muratura



## DATI GEOMETRICI

### Sezione muro

scarpa esterna,  $Se=0,3$  m  
spessore muro in testa,  $Bm=0,8$  m  
scarpa interna,  $Si=0$  m  
altezza parte superiore muro,  $Hm=1$  m  
altezza complessiva muro,  $H=1,3$  m  
altezza fondazione,  $Hf=0,3$  m  
larghezza fondazione,  $B=1,1$  m  
sviluppo fondazione a monte,  $L=0$  m  
sviluppo longitudinale del muro (lungo l'asse Z),  $Lz=10$  m

### Terreni circostanti

inclinazione pendio di monte rispetto all'orizzontale,  $i(^{\circ})=0$   
affond. piano di posa fondazione,  $D=0,3$  m  
affond. terreno di monte rispetto al coronamento muro,  $Ha=0$  m  
angolo di rotazione del piano di posa della fondaz. rispetto all'orizzontale,  $\alpha(^{\circ})=0$   
spessore del magrone,  $Sm=0$  m

## DATI GEOTECNICI TERRENI

peso dell'unità di volume dell'acqua,  $gw=1000$  kg/mc

### Terreno spingente (1)

peso dell'unità di volume,  $g=1800$  kg/mc  
angolo di resistenza al taglio,  $Fi(^{\circ})=34$   
coesione drenata terreno spingente,  $c'=0$  kg/mq

### Terreno di fondazione (2)

peso dell'unità di volume,  $g=1800$  kg/mc  
angolo di resistenza al taglio,  $Fi(^{\circ})=34$   
coesione drenata terreno di fondazione,  $c'=0$  kg/mq  
costante di sottofondo o di Winkler del terreno di fondazione,  $kt=10$  kg/cm

## PROPRIETA' AL CONTATTO MURO-TERRENI E PALI-TERRENI

### Angoli di attrito sulle superfici di contatto muro-terreni

angolo di attrito terrapieno-muro,  $\delta=0^{\circ}$   
angolo di attrito muro-magrone o muro-terreno,  $\delta_1=30^{\circ}$   
adesione al contatto muro-magrone o muro-terreno  $ad_1=0$  kg/mq

## DATI MATERIALE MURO E PALI

peso dell'unità di volume,  $gm=2800$  kg/mc  
resistenza caratteristica a compressione,  $fk=30$  kg/cm<sup>2</sup>  
resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali,  $fvk_0=10$  kg/cm<sup>2</sup>  
coefficiente parziale di sicurezza,  $gM=2,5$   
resistenza di progetto a compressione,  $fd=fk/gM=12$  kg/cm<sup>2</sup>

## SOVRACCARICHI: 1) UNIFORMEMENTE RIPARTITO SUL TERRAPIENO; 2) CONCENTRATO SUL MURO

terrapieno: di tipo permanente,  $g_1=0$  kg/mq  
terrapieno: di tipo variabile,  $q_1=400$  kg/mq  
muro (di tipo permanente), componente orizz.  $H_2=0$  kg/m  
muro (di tipo permanente), componente vert.  $V_2=0$  kg/m

## AZIONE SISMICA

Localizzazione sito di costruzione: Longitudine=8,12; Latitudine=45,83  
Nodi della maglia elementare del reticolo sismico che contiene il sito di costruzione

Nodo	ID	Dist (km)
1	10248	4,1
2	10249	8,2
3	10692	7,1
4	10470	1,6

Vita nominale di progetto dell'opera,  $Vn=100$  anni  
Classe d'uso della costruzione = Classe II ( $Cu=1$ )

Categoria di sottosuolo = B  
Categoria topografica = T1  
Accelerazione di gravità,  $g=9,81 \text{ m/s}^2$   
Coefficiente di combinazione del sovraccarico saltuario in presenza di sisma = 0,6

#### VERIFICHE AGLI S.L.E.

valore massimo ammissibile della tangente dell'angolo di rotazione del piano di posa della  
fondazione = 0,005 ( $\beta_{\max}=0,29^\circ$ )  
spostamento permanente ammissibile per effetto del sisma = 2 cm

#### IMPOSTAZIONI DI CALCOLO

Terreni omogenei ed isotropi: spingente (1) - di fondazione (2) - di riporto sopra la fondaz. di monte (3)  
Condizioni di spinta "attiva"  
Non si tiene conto della spinta passiva a valle (a favore di sicurezza)

#### COMBINAZIONI DI CARICO

##### Combinazioni fondamentali (assenza di sisma)

Azioni permanenti G:

- peso proprio elementi strutturali (muro)
- peso proprio terreno
- peso proprio elementi non strutturali
- carico concentrato sul coronamento del muro e sovraccarico permanente sul terrapieno
- spinte del terreno

Azioni variabili Q:

- sovraccarico saltuario sul terrapieno  $q_1$  (es. derivante da traffico veicolare)
- spinta dovuta al sovraccarico saltuario

##### Combinazioni sismiche

Azione sismica E

Azioni permanenti G

Azioni variabili Q (con coeff. riduttivo di combinazione)

## OUTPUT DEL PROBLEMA

#### PARAMETRI SISMICI PER IL SITO DI COSTRUZIONE

Nel caso di sito non coincidente con uno dei nodi del reticolo sismico, i parametri sismici sono ottenuti per interpolazione con quelli dei quattro nodi della maglia elementare che contiene il sito

Tr (anni)	ag ( $\text{m/s}^2$ )	ag/g	Fo	Tc* (s)
30	0,199	0,02	2,555	0,164
50	0,257	0,026	2,526	0,193
72	0,297	0,03	2,55	0,212
101	0,335	0,034	2,573	0,229
140	0,371	0,038	2,599	0,241
201	0,416	0,042	2,603	0,259
475	0,537	0,055	2,669	0,29
975	0,647	0,066	2,744	0,309
2475	0,806	0,082	2,869	0,329

Periodo di riferimento,  $V_r = 100$  anni

coeff. di amplificazione topografica,  $S_t = 1$

Verifiche agli SLU (Stato Limite di salvaguardia della Vita - SLV)

percentuale di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr} = 10\%$

Tempo di ritorno  $T_r = 949$  anni

acc. orizz. max attesa al sito di rifer. ridotto ed orizz  $ag = 0,642 \text{ m/s}^2$

parametro  $F_o = 2,741$

coeff. di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,2$

acc. orizz. max attesa al sito  $a_{\max} = 0,771 \text{ m/s}^2$

coeff. di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito  $B_m = 0,38$

Coefficiente sismico orizzontale  $Ch = 0,0298$

Coefficiente sismico verticale  $C_v = 0,0149$   
Verifiche agli SLE (Stato Limite di Danno - SLD)  
percentuale di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr} = 63\%$   
Tempo di ritorno  $T_r = 101$  anni  
acc. orizz. max attesa al sito di rifer. ridotto ed orizz  $a_g = 0,335 \text{ m/s}^2$   
parametro  $F_o = 2,573$   
coeff. di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,2$   
acc. orizz. max attesa al sito  $a_{max} = 0,402 \text{ m/s}^2$   
coeff. di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito  $B_m = 0,47$   
Coefficiente sismico orizzontale  $C_h = 0,0192$   
Coefficiente sismico verticale  $C_v = 0,0096$

**AREE, PESI E BRACCI (rispetto all'origine del sist. di riferimento)**

Muro

area = 1,28 mq  
peso = 3.584,00 kg  
ascissa baricentro muro = 0,6 m  
ordinata baricentro muro = 0,61 m  
Terreno di riporto sopra la fondazione a monte  
area = 0 mq  
peso = 0,00 kg  
ascissa baricentro terreno = 0 m  
ordinata baricentro terreno = 0 m

**VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI**

**COMBINAZ. FONDAMENTALE 1 (assenza di sovraccarico accidentale)**

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO (rispetto all'estremo di fondazione di valle)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico  
coeff. carichi permanenti favorevoli alla sicurezza = 1  
coeff. carichi permanenti sfavorevoli alla sicurezza = 1,3  
coeff. carichi variabili favorevoli alla sicurezza = 0  
coeff. carichi variabili sfavorevoli alla sicurezza = 1,5  
angolo di resistenza al taglio drenato di progetto terreno spingente,  $\phi_{1d} = 34^\circ$   
coesione drenata di progetto terreno spingente,  $C_{1d} = 0 \text{ kg/mq}$   
Coeff. di spinta attiva,  $K_a = 0,282715$   
Coeff. di spinta a riposo,  $K_o = 0,440807$   
Coeff. di spinta passiva,  $K_p = 3,537132$   
Spinta dovuta al terrapieno,  $St = 430,01 \text{ kg}$   
    componente orizzontale,  $St_h = 430,01 \text{ kg}$   
    braccio componente orizzontale,  $Y_{St} = 0,43 \text{ m}$   
    componente verticale,  $St_v = 0,00 \text{ kg}$   
    braccio componente verticale,  $X_{St} = 1,1 \text{ m}$   
Spinta complessiva,  $St_T = 430,01 \text{ kg}$   
Momento ribaltante,  $M_{rib} = 242,24 \text{ kg}\cdot\text{m}$   
Momento stabilizzante,  $M_{stab} = 2.160,20 \text{ kg}\cdot\text{m}$   
Coeff. di sicurezza = 8,92  
VERIFICA SODDISFATTA

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (piano di posa)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico  
angolo di resistenza al taglio di progetto terreno spingente,  $\phi_{1d} = 34^\circ$   
Coeff. di spinta attiva,  $K_a = 0,282715$   
Coeff. di spinta a riposo,  $K_o = 0,440807$   
Coeff. di spinta passiva,  $K_p = 3,537132$   
Spinta dovuta al terrapieno,  $St = 430,01 \text{ kg}$   
    componente orizzontale,  $St_h = 430,01 \text{ kg}$   
    braccio componente orizzontale,  $Y_{St} = 0,43 \text{ m}$   
    componente verticale,  $St_v = 0,00 \text{ kg}$

braccio componente verticale,  $X_{St} = 1,1 \text{ m}$   
 Spinta complessiva,  $StT=430,01 \text{ kg}$   
 Resistenza lungo la superficie di scorrimento,  $T_{lim}=2.069,22 \text{ kg}$   
 Componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano alla base del muro,  $R_h=559,01 \text{ kg}$   
 coeff. di sicurezza superf. separazione muro-magrone o muro-terreno = 3,7  
**VERIFICA SODDISFATTA**

## **VERIFICA AL CARICO LIMITE**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

Parametri geotecnici di progetto

angolo di resistenza al taglio drenato del terreno di fondazione,  $Fi2d (^{\circ})=34$

coesione drenata terreno di fondazione,  $c'2d=0 \text{ kg/mq}$

peso dell'unità di volume del terreno superficiale,  $g1=1800 \text{ kg/mc}$

peso dell'unità di volume del terreno di fondazione,  $g2=1800 \text{ kg/mc}$

Risultante dei carichi in fondazione,  $R=3.627,33 \text{ kg}$

componente normale al piano posa fondazione,  $R_n=3.584,00 \text{ kg}$

componente tangenziale al piano posa fondazione,  $R_t=559,01 \text{ kg}$

angolo di inclinazione di R rispetto alla normale al piano di posa fondaz. =  $8,87^{\circ}$

eccentricità di R,  $E_c=-0,01 \text{ m}$

$B/6 = 0,18 \text{ m}$

base del muro non parzializzata

larghezza ridotta della fondazione,  $B'=1,07 \text{ m}$

Fattori del carico limite

$N_c=42,16$

$N_q=29,44$

$N_g=41,06$

Fattori di inclinazione del carico

$i_c=0,81$

$i_q=0,81$

$i_g=0,55$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$\alpha_c=1$

$\alpha_q=1$

$\alpha_g=1$

Carico limite unitario,  $q_{lim}=3,45 \text{ kg/cm}^2$

Carico limite,  $Q_{lim}=36.964,45 \text{ kg}$

Sottospinta,  $S_w=0,00 \text{ kg}$

Carico di esercizio,  $Q_{es}=R_n-S_w=3.584,00 \text{ kg}$

Coeff. di sicurezza = 10,31

**VERIFICA SODDISFATTA**

## **VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE**

n° di cerchi analizzati = 10

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno,  $Fid (^{\circ})=28,35$

coesione drenata di progetto,  $C'd=0 \text{ kg/mq}$

**Cerchio critico:  $X_c (m)= 0,6$   $Y_c (m)= 1,91$   $R_c (m)= 2,09$**

concio	Wt	Wq	alfa ( $^{\circ}$ )	u	DX	Fsh	B	Fsv	N	T
1	10,59	0	-37,75	0	0,12	0	1,91	0	16,61	4,16
2	30,26	0	-33,59	0	0,12	0	1,91	0	43,58	10,92
3	47,12	0	-29,62	0	0,12	0	1,91	0	63,21	15,84
4	61,51	0	-25,81	0	0,12	0	1,91	0	77,75	19,48
5	73,68	0	-22,11	0	0,12	0	1,91	0	88,55	22,18
6	83,82	0	-18,51	0	0,12	0	1,91	0	96,49	24,17
7	118,55	0	-14,79	0	0,14	0	1,91	0	131,3	32,9
8	157,27	0	-10,92	0	0,14	0	1,91	0	168,31	42,17
9	193,61	0	-7,11	0	0,14	0	1,91	0	201,41	50,46
10	227,66	0	-3,33	0	0,14	0	1,91	0	231,42	57,98
11	259,46	0	0,44	0	0,14	0	1,91	0	258,97	64,88

12	289,01	0	4,21	0	0,14	0	1,91	0	284,55	71,29
13	316,31	0	7,99	0	0,14	0	1,91	0	308,55	77,3
14	341,3	0	11,82	0	0,14	0	1,91	0	331,31	83,01
15	347,08	0	15,69	0	0,14	0	1,91	0	336,8	84,38
16	336,32	0	19,62	0	0,14	0	1,91	0	327,77	82,12
17	322,9	0	23,66	0	0,14	0	1,91	0	317,66	79,58
18	306,6	0	27,83	0	0,14	0	1,91	0	306,18	76,71
19	287,07	0	32,16	0	0,14	0	1,91	0	292,94	73,39
20	263,86	0	36,71	0	0,14	0	1,91	0	277,32	69,48
21	236,31	0	41,56	0	0,14	0	1,91	0	258,39	64,74
22	203,36	0	46,8	0	0,14	0	1,91	0	234,5	58,75
23	163,28	0	52,63	0	0,14	0	1,91	0	202,54	50,74
24	112,63	0	59,4	0	0,14	0	1,91	0	155,41	38,93
25	42,04	0	68,12	0	0,14	0	1,91	0	69,46	17,4

L (m) = 4,13

M\_resist = 5.740,25 kg\*m

M\_instab = 2.665,16 kg\*m

Coff. sicurezza del pendio (metodo di Bishop) = 2,154

VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICHE STRUTTURALI MURO (metodo agli SLU)**

**Sez. 1-1 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 1 m largh. sez B = 1,1 m)**

spinta dovuta al terrapieno, St=254,44 kg/m

spinta dovuta al sovraccarico, Sq=0,00 kg/m

spinta complessiva, S=254,44 kg/m

componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 330,78 kg

componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 2.660,00 kg

Momento ribaltante = 110,26 kg\*m

Momento stabilizzante = 1.652,00 kg\*m

eccentricità dello sforzo normale, e = 0,03 m (u = 0,58 m)

sforzo normale, Nx=-2.660,00 kg

taglio, Tz=-330,78 kg

momento flettente, My=-78,74 kg\*m

sezione non parzializzata (B/6 = 0,18 m)

tensione normale lembo esterno sezione = 0,2 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale lembo interno sezione = 0,28 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale media = 0,24 kg/cm<sup>2</sup>

tensione tangenziale max = 0,05 kg/cm<sup>2</sup>

resistenza di progetto a taglio, fvd=4,04 kg/cm<sup>2</sup>

Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

### **COMBINAZ. FONDAMENTALE 2 (presenza di sovraccarico accidentale)**

#### **VERIFICA AL RIBALTAMENTO (rispetto all'estremo di fondazione di valle)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

coeff. carichi permanenti favorevoli alla sicurezza = 1

coeff. carichi permanenti sfavorevoli alla sicurezza = 1,3

coeff. carichi variabili favorevoli alla sicurezza = 0

coeff. carichi variabili sfavorevoli alla sicurezza = 1,5

angolo di resistenza al taglio drenato di progetto terreno spingente, Fi1d=34°

coesione drenata di progetto terreno spingente, C1d=0 kg/m<sup>2</sup>

Coeff. di spinta attiva, Ka=0,282715

Coeff. di spinta a riposo, Ko=0,440807

Coeff. di spinta passiva, Kp=3,537132

Spinta dovuta al terrapieno, St=430,01 kg

componente orizzontale, Sth=430,01 kg

braccio componente orizzontale, YSt= 0,43 m

componente verticale, Stv=0,00 kg

braccio componente verticale, XSt = 1,1 m

Spinta dovuta al sovraccarico sul terrepiano, Sq=147,01 kg

componente orizzontale,  $S_{qh}=147,01$  kg  
braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq}=0,65$  m  
componente verticale,  $S_{qv}=0,00$  kg  
braccio componente verticale,  $X_{Sq}=1,1$  m

Spinta complessiva,  $StT=577,02$  kg  
Momento ribaltante,  $M_{rib}=385,58$  kg\*m  
Momento stabilizzante,  $M_{stab}=2.160,20$  kg\*m  
Coeff. di sicurezza = 5,6  
VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (piano di posa)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno spingente,  $Fi1d=34^\circ$

Coeff. di spinta attiva,  $K_a=0,282715$

Coeff. di spinta a riposo,  $K_o=0,440807$

Coeff. di spinta passiva,  $K_p=3,537132$

Spinta dovuta al terrapieno,  $St=430,01$  kg

componente orizzontale,  $S_{th}=430,01$  kg  
braccio componente orizzontale,  $Y_{St}=0,43$  m  
componente verticale,  $S_{tv}=0,00$  kg  
braccio componente verticale,  $X_{St}=1,1$  m

Spinta dovuta al sovraccarico sul terrepiano,  $S_q=147,01$  kg

componente orizzontale,  $S_{qh}=147,01$  kg  
braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq}=0,65$  m  
componente verticale,  $S_{qv}=0,00$  kg  
braccio componente verticale,  $X_{Sq}=1,1$  m

Spinta complessiva,  $StT=577,02$  kg

Resistenza lungo la superficie di scorrimento,  $T_{lim}=2.069,22$  kg

Componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano alla base del muro,  $R_h=779,53$  kg

coeff. di sicurezza superf. separazione muro-magrone o muro-terreno = 2,65

VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICA AL CARICO LIMITE**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

Parametri geotecnici di progetto

angolo di resistenza al taglio drenato del terreno di fondazione,  $Fi2d(^{\circ})=34$

coesione drenata terreno di fondazione,  $c'2d=0$  kg/mq

peso dell'unità di volume del terreno superficiale,  $g_1=1800$  kg/mc

peso dell'unità di volume del terreno di fondazione,  $g_2=1800$  kg/mc

Risultante dei carichi in fondazione,  $R=3.667,80$  kg

componente normale al piano posa fondazione,  $R_n=3.584,00$  kg

componente tangenziale al piano posa fondazione,  $R_t=779,53$  kg

angolo di inclinazione di R rispetto alla normale al piano di posa fondaz. =  $12,27^\circ$

eccentricità di R,  $E_c=-0,05$  m

$B/6=0,18$  m

base del muro non parzializzata

larghezza ridotta della fondazione,  $B'=0,99$  m

Fattori del carico limite

$N_c=42,16$

$N_q=29,44$

$N_g=41,06$

Fattori di inclinazione del carico

$i_c=0,75$

$i_q=0,75$

$i_g=0,41$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$\alpha_c=1$

$\alpha_q=1$

$\alpha_g=1$

Carico limite unitario,  $q_{lim}=2,68 \text{ kg/cm}^2$   
 Carico limite,  $Q_{lim}=26.546,56 \text{ kg}$   
 Sottospinta,  $S_w=0,00 \text{ kg}$   
 Carico di esercizio,  $Q_{es}=R_n-S_w=3.584,00 \text{ kg}$   
 Coeff. di sicurezza = 7,41  
 VERIFICA SODDISFATTA

## **VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE**

n° di cerchi analizzati = 10

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno,  $Fid(^{\circ})=28,35$

coesione drenata di progetto,  $C'd=0 \text{ kg/m}^2$

**Cerchio critico:  $X_c(m)=0,6$   $Y_c(m)=1,91$   $R_c(m)=2,09$**

concio	Wt	Wq	alfa ( $^{\circ}$ )	u	DX	Fsh	B	Fsv	N	T
1	10,59	0	-37,75	0	0,12	0	1,91	0	17,38	5,15
2	30,26	0	-33,59	0	0,12	0	1,91	0	45,23	13,4
3	47,12	0	-29,62	0	0,12	0	1,91	0	65,19	19,32
4	61,51	0	-25,81	0	0,12	0	1,91	0	79,75	23,63
5	73,68	0	-22,11	0	0,12	0	1,91	0	90,42	26,79
6	83,82	0	-18,51	0	0,12	0	1,91	0	98,13	29,08
7	118,55	0	-14,79	0	0,14	0	1,91	0	133,02	39,42
8	157,27	0	-10,92	0	0,14	0	1,91	0	169,88	50,34
9	193,61	0	-7,11	0	0,14	0	1,91	0	202,6	60,04
10	227,66	0	-3,33	0	0,14	0	1,91	0	232,04	68,76
11	259,46	0	0,44	0	0,14	0	1,91	0	258,88	76,72
12	289,01	0	4,21	0	0,14	0	1,91	0	283,61	84,04
13	316,31	0	7,99	0	0,14	0	1,91	0	306,65	90,87
14	341,3	0	11,82	0	0,14	0	1,91	0	328,33	97,3
15	347,08	71,22	15,69	0	0,14	0	1,91	0	401,1	118,86
16	336,32	71,22	19,62	0	0,14	0	1,91	0	391,32	115,96
17	322,9	71,22	23,66	0	0,14	0	1,91	0	380,84	112,86
18	306,6	71,22	27,83	0	0,14	0	1,91	0	369,43	109,48
19	287,07	71,22	32,16	0	0,14	0	1,91	0	356,75	105,72
20	263,86	71,22	36,71	0	0,14	0	1,91	0	342,34	101,45
21	236,31	71,22	41,56	0	0,14	0	1,91	0	325,46	96,45
22	203,36	71,22	46,8	0	0,14	0	1,91	0	304,9	90,35
23	163,28	71,22	52,63	0	0,14	0	1,91	0	278,34	82,48
24	112,63	71,22	59,4	0	0,14	0	1,91	0	240,61	71,3
25	42,04	71,22	68,12	0	0,14	0	1,91	0	174,88	51,82

$L(m) = 4,13$

$M_{resist} = 6.639,65 \text{ kg} \cdot \text{m}$

$M_{instab} = 3.646,33 \text{ kg} \cdot \text{m}$

Coff. sicurezza del pendio (metodo di Bishop) = 1,821

VERIFICA SODDISFATTA

## **VERIFICHE STRUTTURALI MURO (metodo agli SLU)**

**Sez. 1-1 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 1 m largh. sez B = 1,1 m)**

spinta dovuta al terrapieno,  $St=254,44 \text{ kg/m}$

spinta dovuta al sovraccarico,  $Sq=113,09 \text{ kg/m}$

spinta complessiva,  $S=367,53 \text{ kg/m}$

componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 500,41 kg

componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 2.660,00 kg

Momento ribaltante = 195,07  $\text{kg} \cdot \text{m}$

Momento stabilizzante = 1.652,00  $\text{kg} \cdot \text{m}$

eccentricità dello sforzo normale,  $e = 0 \text{ m}$  ( $u = 0,55 \text{ m}$ )

sforzo normale,  $N_x=-2.660,00 \text{ kg}$

taglio,  $T_z=-500,41 \text{ kg}$

momento flettente,  $M_y=6,07 \text{ kg} \cdot \text{m}$

sezione non parzializzata ( $B/6 = 0,18 \text{ m}$ )

tensione normale lembo esterno sezione = 0,24 kg/cm<sup>2</sup>  
tensione normale lembo interno sezione = 0,24 kg/cm<sup>2</sup>  
tensione normale media = 0,24 kg/cm<sup>2</sup>  
tensione tangenziale max = 0,07 kg/cm<sup>2</sup>  
resistenza di progetto a taglio,  $f_{vd}=4,04$  kg/cm<sup>2</sup>  
Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

### **COMBINAZ. SISMICA (sovraccarico accidentale con coeff. di combinaz.)**

#### **VERIFICA AL RIBALTAMENTO (rispetto all'estremo di fondazione di valle)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

coeff. carichi permanenti favorevoli alla sicurezza = 1

coeff. carichi permanenti sfavorevoli alla sicurezza = 1

coeff. carichi variabili favorevoli alla sicurezza = 0

coeff. carichi variabili sfavorevoli alla sicurezza = 1

angolo di resistenza al taglio drenato di progetto terreno spingente,  $\phi_{1d}=34^\circ$

coesione drenata di progetto terreno spingente,  $c_{1d}=0$  kg/m<sup>2</sup>

Coeff. di spinta attiva,  $K_a=0,282715$

Coeff. di spinta a riposo,  $K_o=0,440807$

Coeff. di spinta passiva,  $K_p=3,537132$

Spinta dovuta al terrapieno,  $S_t=430,01$  kg

componente orizzontale,  $S_{th}=430,01$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{St}=0,43$  m

componente verticale,  $S_{tv}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{St}=1,1$  m

Spinta dovuta al sovraccarico sul terreggiato,  $S_q=88,21$  kg

componente orizzontale,  $S_{qh}=88,21$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq}=0,65$  m

componente verticale,  $S_{qv}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{Sq}=1,1$  m

Spinta complessiva,  $S_{tT}=518,22$  kg

coeff. di spinta dinamico,  $K_{ad}=0,307839$

Incremento di spinta dovuto al sisma,  $D_{St}=39,06$  kg

componente orizzontale,  $D_{StH}=39,06$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{St}=0,43$  m

componente verticale,  $D_{StV}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{DSt}=1,1$  m

Forza d'inerzia,  $F_i=160,47$  kg

braccio forza d'inerzia,  $Y_{Fin}=0,61$  m

Momento ribaltante,  $M_{rib}=358,95$  kg\*m

Momento stabilizzante,  $M_{stab}=2.127,96$  kg\*m

Coeff. di sicurezza = 5,93

VERIFICA SODDISFATTA

condizione di sisma verticale più gravosa: dal basso verso l'alto

#### **VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (piano di posa)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno spingente,  $\phi_{1d}=34^\circ$

Coeff. di spinta attiva,  $K_a=0,282715$

Coeff. di spinta a riposo,  $K_o=0,440807$

Coeff. di spinta passiva,  $K_p=3,537132$

Spinta dovuta al terrapieno,  $S_t=430,01$  kg

componente orizzontale,  $S_{th}=430,01$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{St}=0,43$  m

componente verticale,  $S_{tv}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{St}=1,1$  m

Spinta dovuta al sovraccarico sul terreggiato,  $S_q=88,21$  kg

componente orizzontale,  $S_{qh}=88,21$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq}=0,65$  m

componente verticale,  $S_{qv}=0,00$  kg



braccio componente verticale,  $X_{Sq}=1,1$  m  
Spinta complessiva,  $StT=518,22$  kg  
coeff. di spinta dinamico,  $Kad=0,299247$   
Incremento di spinta dovuto al sisma,  $DSt=23,51$  kg  
componente orizzontale,  $DStH=23,51$  kg  
braccio componente orizzontale,  $YSt=0,43$  m  
componente verticale,  $DStV=0,00$  kg  
braccio componente verticale,  $XDSt=1,1$  m  
Forza d'inerzia,  $Fi=106,98$  kg  
braccio forza d'inerzia,  $YFin=0,61$  m  
Resistenza lungo la superficie di scorrimento,  $Tlim=2.038,34$  kg  
Componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano alla base del muro,  $Rh=648,71$  kg  
coeff. di sicurezza superf. separazione muro-magrone o muro-terreno = 3,14  
**VERIFICA SODDISFATTA**  
condizione di sisma verticale più gravosa: dal basso verso l'alto

## **VERIFICA AL CARICO LIMITE**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

Parametri geotecnici di progetto

angolo di resistenza al taglio drenato del terreno di fondazione,  $Fi2d(^{\circ})=34$   
coesione drenata terreno di fondazione,  $c'2d=0$  kg/mq  
peso dell'unità di volume del terreno superficiale,  $g1=1800$  kg/mc  
peso dell'unità di volume del terreno di fondazione,  $g2=1800$  kg/mc  
Risultante dei carichi in fondazione,  $R=3.697,13$  kg  
componente normale al piano posa fondazione,  $Rn=3.637,49$  kg  
componente tangenziale al piano posa fondazione,  $Rt=661,37$  kg  
angolo di inclinazione di R rispetto alla normale al piano di posa fondaz. =  $10,3^{\circ}$   
eccentricità di R,  $Ec=-0,04$  m  
 $B/6 = 0,18$  m  
base del muro non parzializzata  
larghezza ridotta della fondazione,  $B'=1,03$  m  
Fattori del carico limite  
 $Nc=42,16$   
 $Nq=29,44$   
 $Ng=41,06$

Fattori di inclinazione del carico

$ic=0,78$   
 $iq=0,78$   
 $ig=0,49$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$\alpha_c=1$   
 $\alpha_q=1$   
 $\alpha_g=1$

Carico limite unitario,  $qlim=3,09$  kg/cm<sup>2</sup>

Carico limite,  $Qlim=31.725,36$  kg

Sottospinta,  $Sw=0,00$  kg

Carico di esercizio,  $Qes=Rn-Sw=3.637,49$  kg

Coeff. di sicurezza = 8,72

**VERIFICA SODDISFATTA**

condizione di sisma verticale più gravosa: dall'alto verso il basso

## **VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE**

n° di cerchi analizzati = 10

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno,  $Fid(^{\circ})=28,35$

coesione drenata di progetto,  $C'd=0$  kg/mq

condizione di sisma verticale più gravosa: dal basso verso l'alto

**Cerchio critico:  $Xc(m)=0,6$   $Yc(m)=1,91$   $Rc(m)=2,09$**

concio	Wt	Wq	alfa (°)	u	DX	Fsh	B	Fsv	N	T
1	10,59	0	-37,75	0	0,12	0,32	1,64	0,16	17,57	5,13
2	30,26	0	-33,59	0	0,12	0,9	1,68	0,45	45,75	13,37
3	47,12	0	-29,62	0	0,12	1,41	1,71	0,7	65,98	19,29
4	61,51	0	-25,81	0	0,12	1,84	1,75	0,92	80,76	23,61
5	73,68	0	-22,11	0	0,12	2,2	1,77	1,1	91,6	26,77
6	83,82	0	-18,51	0	0,12	2,5	1,8	1,25	99,45	29,07
7	118,55	0	-14,79	0	0,14	3,54	1,78	1,77	134,85	39,41
8	157,27	0	-10,92	0	0,14	4,69	1,74	2,35	172,28	50,35
9	193,61	0	-7,11	0	0,14	5,78	1,68	2,89	205,52	60,07
10	227,66	0	-3,33	0	0,14	6,8	1,63	3,4	235,45	68,82
11	259,46	0	0,44	0	0,14	7,74	1,57	3,87	262,75	76,79
12	289,01	0	4,21	0	0,14	8,63	1,5	4,31	287,92	84,15
13	316,31	0	7,99	0	0,14	9,44	1,43	4,72	311,39	91,01
14	341,3	0	11,82	0	0,14	10,19	1,36	5,09	333,49	97,47
15	347,08	32,87	15,69	0	0,14	11,34	1,25	5,67	370,14	108,18
16	336,32	32,87	19,62	0	0,14	11,02	1,23	5,51	360,25	105,29
17	322,9	32,87	23,66	0	0,14	10,62	1,2	5,31	349,45	102,14
18	306,6	32,87	27,83	0	0,14	10,13	1,17	5,07	337,49	98,64
19	287,07	32,87	32,16	0	0,14	9,55	1,13	4,78	324	94,7
20	263,86	32,87	36,71	0	0,14	8,86	1,08	4,43	308,43	90,15
21	236,31	32,87	41,56	0	0,14	8,03	1,03	4,02	289,93	84,74
22	203,36	32,87	46,8	0	0,14	7,05	0,96	3,53	267,08	78,06
23	163,28	32,87	52,63	0	0,14	5,86	0,88	2,93	237,18	69,32
24	112,63	32,87	59,4	0	0,14	4,34	0,79	2,17	194,12	56,74
25	42,04	32,87	68,12	0	0,14	2,24	0,67	1,12	118,06	34,51

L (m) = 4,13

M\_resist = 6.214,68 kg\*m

M\_instab = 3.366,13 kg\*m

Coff. sicurezza del pendio (metodo di Bishop) = 1,846

VERIFICA SODDISFATTA

## VERIFICHE STRUTTURALI MURO (metodo agli SLU)

**Sez. 1-1 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 1 m largh. sez B = 1,1 m)**

spinta dovuta al terrapieno, St=254,44 kg/m

spinta dovuta al sovraccarico, Sq=67,85 kg/m

spinta complessiva, S=322,30 kg/m

incremento di spinta attiva dovuto al sisma, DSa=22,29 kg/m

forza d'inerzia, Fi=79,40 kg/m

componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 423,99 kg

componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 2.660,00 kg

Momento ribaltante = 163,78 kg\*m

Momento stabilizzante = 1.652,00 kg\*m

eccentricità dello sforzo normale, e = 0,01 m (u = 0,56 m)

sforzo normale, Nx=-2.660,00 kg

taglio, Tz=-423,99 kg

momento flettente, My=-25,22 kg\*m

sezione non parzializzata (B/6 = 0,18 m)

tensione normale lembo esterno sezione = 0,23 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale lembo interno sezione = 0,25 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale media = 0,24 kg/cm<sup>2</sup>

tensione tangenziale max = 0,06 kg/cm<sup>2</sup>

resistenza di progetto a taglio, fvd=4,04 kg/cm<sup>2</sup>

Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

## VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

### COMBINAZ. FONDAMENTALE 1 (assenza di sovraccarico accidentale)

Risultante dei carichi in fondazione, R=3.609,70 kg

componente orizzontale dei carichi in fondazione, Rh=430,01 kg

componente verticale dei carichi in fondazione,  $R_v=3.584,00$  kg  
angolo di inclinazione di R rispetto alla verticale =  $6,84^\circ$   
eccentricità di R,  $E_c=0$  m  
limite del nocciolo centrale d'inerzia della base di fondaz.  $B/6=0,18$  m  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di valle,  $p_1=3.245,0$  kg/mq  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di monte,  $p_2=3.271,4$  kg/mq  
cedimento all'estremo di fondazione di valle,  $w_1=0,03$  cm  
cedimento all'estremo di fondazione di monte,  $w_2=0,03$  cm  
tangente dell'angolo di rotaz. della base della fondaz. =  $-0,000002$  ( $\beta=0^\circ$ )  
Verifica allo S.L.E. soddisfatta

### **COMBINAZ. FONDAMENTALE 2 (presenza di sovraccarico accidentale)**

Risultante dei carichi in fondazione,  $R=3.630,15$  kg  
componente orizzontale dei carichi in fondazione,  $R_h=577,02$  kg  
componente verticale dei carichi in fondazione,  $R_v=3.584,00$  kg  
angolo di inclinazione di R rispetto alla verticale =  $9,15^\circ$   
eccentricità di R,  $E_c=-0,03$  m  
limite del nocciolo centrale d'inerzia della base di fondaz.  $B/6=0,18$  m  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di valle,  $p_1=3.718,8$  kg/mq  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di monte,  $p_2=2.797,5$  kg/mq  
cedimento all'estremo di fondazione di valle,  $w_1=0,04$  cm  
cedimento all'estremo di fondazione di monte,  $w_2=0,03$  cm  
tangente dell'angolo di rotaz. della base della fondaz. =  $0,000084$  ( $\beta=0^\circ$ )  
Verifica allo S.L.E. soddisfatta

### **COMBINAZ. SISMICA (sovraccarico accidentale con coeff. di combinaz.)**

accelerazione orizz. max attesa al sito,  $a_{max}=0,402$  m/s<sup>2</sup>  
accelerazione critica,  $a_c=6,6$  m/s<sup>2</sup>  
rapporto  $a_c/a_{max}=16,43$   
velocità orizz. max attesa al sito,  $V_{max}=0,0205$  m/s  
spostamento permanente indotto dal sisma =  $0$  cm  
Verifica allo S.L.E. soddisfatta

---

---

---

# MURI IN PIETRA A GRAVITA' H = 150 cm

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. 17/01/2018

Le verifiche di tipo geotecnico (ribaltamento, scorrimento, carico limite, stabilità globale) e strutturali vengono svolte con il metodo agli Stati Limite Ultimi (S.L.U.)

### **Coeff. parziali o di sicurezza sulle azioni (A)**

#### gruppo EQU

azioni permanenti aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Gi}=0,9$

azioni permanenti aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Gs}=1,1$

azioni variabili aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Qi}=0$

azioni variabili aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Qs}=1,5$

#### gruppo A1

azioni permanenti aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Gi}=1$

azioni permanenti aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Gs}=1,3$

azioni variabili aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Qi}=0$

azioni variabili aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Qs}=1,5$

#### gruppo A2

azioni permanenti aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Gi}=1$

azioni permanenti aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Gs}=1$

azioni variabili aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Qi}=0$

azioni variabili aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Qs}=1,3$

### **Coeff. parziali o di sicurezza per i parametri geotecnici dei terreni (M)**

#### gruppo M1

tangente dell'angolo di resistenza al taglio  $g_f=1$

coesione efficace  $g_c=1$

coesione non drenata  $g_{cu}=1$

peso dell'unità di volume  $g_g=1$

#### gruppo M2

tangente dell'angolo di resistenza al taglio  $g_f=1,25$

coesione efficace  $g_c=1,25$

coesione non drenata  $g_{cu}=1,4$

peso dell'unità di volume  $g_g=1$

### **Coeff. parziali o di sicurezza sulle resistenze globali dei sistemi geotecnici (R)**

#### gruppo R3

Opera di sostegno:

coeff. sicurezza al ribaltamento  $g_{Rib}=1,15$

coeff. sicurezza allo scorrimento  $g_{Scorr}=1,1$

coeff. sicurezza al carico limite del complesso fondazione-terreno  $g_{Qlim}=1,4$

coeff. sicurezza resistenza del terreno a valle  $g_{Sp}=1,4$

Pali di fondazione:

coeff. sicurezza resistenza alla base  $g_b=1,35$

coeff. sicurezza resistenza laterale in compressione  $g_s=1,15$

coeff. sicurezza resistenza laterale in trazione  $g_{st}=1,25$

coeff. sicurezza resistenza a carichi trasversali  $g_T=1,3$

**La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno viene condotta secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2)**

**Le rimanenti verifiche SLU di tipo geotecnico e strutturale sono condotte in base all'Approccio 2 (A1+M1+R3)**

## **UNITA' DI MISURA**

### **Sistema Tecnico**

Lunghezze (coordinate, distanze, dimensioni, spostamenti ...): m

Aree sezioni: mq

Volumi: mc

Momenti di inerzia sezioni: m<sup>4</sup>

Forze, Resistenza alla punta e laterale, Sforzo normale, Taglio: kg

Momenti (stabilizzante, instabilizzante, flettente - per metro lineare di muro): kg\*m

Sovraccarico uniformemente ripartito: kg/mq

Coesione: kg/mq

Pesi unità di volume: kg/mc

Coefficienti di reazione del terreno o di Winkler: kg/cmc

tempi: secondi (s)

velocità: m/s

accelerazioni: m/s<sup>2</sup>

Latitudine, Longitudine: gradi sessadecimali

### calcoli strutturali

dimensioni, copriferro, interferro: cm

diametri tondini, staffe e spirali: mm

aree sezioni: cmq

volumi: cmc

Momenti di inerzia sezioni: cm<sup>4</sup>

Tensioni/pressioni, Moduli elastici, carico limite unitario, resistenze mater.: kg/cmq

## **METODI DI CALCOLO**

### **Muro**

calcolo della spinta: teoria di Coulomb generalizzata

calcolo del carico limite del complesso fondazione superficiale-terreno: teoria di Prandtl-Cacquot-Terzaghi

stabilità globale: metodo di Bishop

analisi sismica: metodo pseudostatico

calcolo spostamenti permanenti indotti dal sisma: metodo Newmark > Whitman e Liao

### **Pali di fondazione**

valori del fattore di forma  $N_q$  per il carico limite assiale: Berezantzev et al. (1961)

valori del fattore di forma  $N_q$  per pali trivallati di grande diametro: Berezantzev (1965)

Analisi del palo sotto carichi di esercizio (verifiche strutturali e calcolo spostamenti nel palo):

"Palo elastico su suolo elastico alla Winkler" - soluzione con il Metodo agli Elementi Finiti (F.E.M)

## **SISTEMA DI RIFERIMENTO ASSOLUTO**

Origine sull'estremo inferiore della fondazione di valle, asse X orizzontale verso monte, asse Y verticale verso l'alto, asse Z ortogonale al piano del disegno e uscente

## **INPUT DEL PROBLEMA**

### **CONDIZIONI DI ROTTURA**

Condizioni di rottura drenate - Assenza di pressioni neutre

### **TIPOLOGIA E SEZIONE MURO**

Muro a gravità in muratura

## DATI GEOMETRICI

### Sezione muro

scarpa esterna,  $Se=0,5$  m  
spessore muro in testa,  $Bm=0,8$  m  
scarpa interna,  $Si=0$  m  
altezza parte superiore muro,  $Hm=1,5$  m  
altezza complessiva muro,  $H=1,85$  m  
altezza fondazione,  $Hf=0,35$  m  
larghezza fondazione,  $B=1,3$  m  
sviluppo fondazione a monte,  $L=0$  m  
sviluppo longitudinale del muro (lungo l'asse Z),  $Lz=10$  m

### Terreni circostanti

inclinazione pendio di monte rispetto all'orizzontale,  $i(^{\circ})=0$   
affond. piano di posa fondazione,  $D=0,35$  m  
affond. terreno di monte rispetto al coronamento muro,  $Ha=0$  m  
angolo di rotazione del piano di posa della fondaz. rispetto all'orizzontale,  $\alpha(^{\circ})=0$   
spessore del magrone,  $Sm=0$  m

## DATI GEOTECNICI TERRENI

peso dell'unità di volume dell'acqua,  $gw=1000$  kg/mc

### Terreno spingente (1)

peso dell'unità di volume,  $g=1800$  kg/mc  
angolo di resistenza al taglio,  $Fi(^{\circ})=34$   
coesione drenata terreno spingente,  $c'=0$  kg/mq

### Terreno di fondazione (2)

peso dell'unità di volume,  $g=1800$  kg/mc  
angolo di resistenza al taglio,  $Fi(^{\circ})=34$   
coesione drenata terreno di fondazione,  $c'=0$  kg/mq  
costante di sottofondo o di Winkler del terreno di fondazione,  $kt=10$  kg/cm

## PROPRIETA' AL CONTATTO MURO-TERRENI E PALI-TERRENI

### Angoli di attrito sulle superfici di contatto muro-terreni

angolo di attrito terrapieno-muro,  $\delta=0^{\circ}$   
angolo di attrito muro-magrone o muro-terreno,  $\delta_1=30^{\circ}$   
adesione al contatto muro-magrone o muro-terreno  $ad_1=0$  kg/mq

## DATI MATERIALE MURO E PALI

peso dell'unità di volume,  $gm=2800$  kg/mc  
resistenza caratteristica a compressione,  $fk=30$  kg/cm<sup>2</sup>  
resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali,  $fvk_0=10$  kg/cm<sup>2</sup>  
coefficiente parziale di sicurezza,  $gM=2,5$   
resistenza di progetto a compressione,  $fd=fk/gM=12$  kg/cm<sup>2</sup>

## SOVRACCARICHI: 1) UNIFORMEMENTE RIPARTITO SUL TERRAPIENO; 2) CONCENTRATO SUL MURO

terrapieno: di tipo permanente,  $g_1=0$  kg/mq  
terrapieno: di tipo variabile,  $q_1=400$  kg/mq  
muro (di tipo permanente), componente orizz.  $H_2=0$  kg/m  
muro (di tipo permanente), componente vert.  $V_2=0$  kg/m

## AZIONE SISMICA

Localizzazione sito di costruzione: Longitudine=8,12; Latitudine=45,83  
Nodi della maglia elementare del reticolo sismico che contiene il sito di costruzione

Nodo	ID	Dist (km)
1	10248	4,1
2	10249	8,2
3	10692	7,1
4	10470	1,6

Vita nominale di progetto dell'opera,  $Vn=100$  anni  
Classe d'uso della costruzione = Classe II ( $Cu=1$ )

Categoria di sottosuolo = B  
Categoria topografica = T1  
Accelerazione di gravità,  $g=9,81 \text{ m/s}^2$   
Coefficiente di combinazione del sovraccarico saltuario in presenza di sisma = 0,6

#### VERIFICHE AGLI S.L.E.

valore massimo ammissibile della tangente dell'angolo di rotazione del piano di posa della  
fondazione = 0,005 ( $\beta_{\max}=0,29^\circ$ )  
spostamento permanente ammissibile per effetto del sisma = 2 cm

#### IMPOSTAZIONI DI CALCOLO

Terreni omogenei ed isotropi: spingente (1) - di fondazione (2) - di riporto sopra la fondaz. di monte (3)  
Condizioni di spinta "attiva"  
Non si tiene conto della spinta passiva a valle (a favore di sicurezza)

#### COMBINAZIONI DI CARICO

##### Combinazioni fondamentali (assenza di sisma)

Azioni permanenti G:

- peso proprio elementi strutturali (muro)
- peso proprio terreno
- peso proprio elementi non strutturali
- carico concentrato sul coronamento del muro e sovraccarico permanente sul terrapieno
- spinte del terreno

Azioni variabili Q:

- sovraccarico saltuario sul terrapieno  $q_1$  (es. derivante da traffico veicolare)
- spinta dovuta al sovraccarico saltuario

##### Combinazioni sismiche

Azione sismica E

Azioni permanenti G

Azioni variabili Q (con coeff. riduttivo di combinazione)

## OUTPUT DEL PROBLEMA

#### PARAMETRI SISMICI PER IL SITO DI COSTRUZIONE

Nel caso di sito non coincidente con uno dei nodi del reticolo sismico, i parametri sismici sono ottenuti per interpolazione con quelli dei quattro nodi della maglia elementare che contiene il sito

Tr (anni)	ag ( $\text{m/s}^2$ )	ag/g	Fo	Tc* (s)
30	0,199	0,02	2,555	0,164
50	0,257	0,026	2,526	0,193
72	0,297	0,03	2,55	0,212
101	0,335	0,034	2,573	0,229
140	0,371	0,038	2,599	0,241
201	0,416	0,042	2,603	0,259
475	0,537	0,055	2,669	0,29
975	0,647	0,066	2,744	0,309
2475	0,806	0,082	2,869	0,329

Periodo di riferimento,  $V_r = 100$  anni

coeff. di amplificazione topografica,  $S_t = 1$

Verifiche agli SLU (Stato Limite di salvaguardia della Vita - SLV)

percentuale di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr} = 10\%$

Tempo di ritorno  $T_r = 949$  anni

acc. orizz. max attesa al sito di rifer. ridotto ed orizz  $ag = 0,642 \text{ m/s}^2$

parametro  $F_o = 2,741$

coeff. di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,2$

acc. orizz. max attesa al sito  $a_{\max} = 0,771 \text{ m/s}^2$

coeff. di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito  $B_m = 0,38$

Coefficiente sismico orizzontale  $Ch = 0,0298$

Coefficiente sismico verticale  $C_v = 0,0149$   
Verifiche agli SLE (Stato Limite di Danno - SLD)  
percentuale di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr} = 63\%$   
Tempo di ritorno  $T_r = 101$  anni  
acc. orizz. max attesa al sito di rifer. ridotto ed orizz  $a_g = 0,335 \text{ m/s}^2$   
parametro  $F_o = 2,573$   
coeff. di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,2$   
acc. orizz. max attesa al sito  $a_{max} = 0,402 \text{ m/s}^2$   
coeff. di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito  $B_m = 0,47$   
Coefficiente sismico orizzontale  $C_h = 0,0192$   
Coefficiente sismico verticale  $C_v = 0,0096$

**AREE, PESI E BRACCI (rispetto all'origine del sist. di riferimento)**

Muro

area = 2,03 mq  
peso = 5.684,00 kg  
ascissa baricentro muro = 0,74 m  
ordinata baricentro muro = 0,85 m  
Terreno di riporto sopra la fondazione a monte  
area = 0 mq  
peso = 0,00 kg  
ascissa baricentro terreno = 0 m  
ordinata baricentro terreno = 0 m

**VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI**

**COMBINAZ. FONDAMENTALE 1 (assenza di sovraccarico accidentale)**

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO (rispetto all'estremo di fondazione di valle)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico  
coeff. carichi permanenti favorevoli alla sicurezza = 1  
coeff. carichi permanenti sfavorevoli alla sicurezza = 1,3  
coeff. carichi variabili favorevoli alla sicurezza = 0  
coeff. carichi variabili sfavorevoli alla sicurezza = 1,5  
angolo di resistenza al taglio drenato di progetto terreno spingente,  $\phi_{1d} = 34^\circ$   
coesione drenata di progetto terreno spingente,  $C_{1d} = 0 \text{ kg/mq}$   
Coeff. di spinta attiva,  $K_a = 0,282715$   
Coeff. di spinta a riposo,  $K_o = 0,440807$   
Coeff. di spinta passiva,  $K_p = 3,537132$   
Spinta dovuta al terrapieno,  $St = 870,83 \text{ kg}$   
    componente orizzontale,  $St_h = 870,83 \text{ kg}$   
    braccio componente orizzontale,  $Y_{St} = 0,62 \text{ m}$   
    componente verticale,  $St_v = 0,00 \text{ kg}$   
    braccio componente verticale,  $X_{St} = 1,3 \text{ m}$   
Spinta complessiva,  $St_T = 870,83 \text{ kg}$   
Momento ribaltante,  $M_{rib} = 698,12 \text{ kg}\cdot\text{m}$   
Momento stabilizzante,  $M_{stab} = 4.202,10 \text{ kg}\cdot\text{m}$   
Coeff. di sicurezza = 6,02  
VERIFICA SODDISFATTA

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (piano di posa)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico  
angolo di resistenza al taglio di progetto terreno spingente,  $\phi_{1d} = 34^\circ$   
Coeff. di spinta attiva,  $K_a = 0,282715$   
Coeff. di spinta a riposo,  $K_o = 0,440807$   
Coeff. di spinta passiva,  $K_p = 3,537132$   
Spinta dovuta al terrapieno,  $St = 870,83 \text{ kg}$   
    componente orizzontale,  $St_h = 870,83 \text{ kg}$   
    braccio componente orizzontale,  $Y_{St} = 0,62 \text{ m}$   
    componente verticale,  $St_v = 0,00 \text{ kg}$



braccio componente verticale,  $X_{St} = 1,3 \text{ m}$   
 Spinta complessiva,  $StT=870,83 \text{ kg}$   
 Resistenza lungo la superficie di scorrimento,  $T_{lim}=3.281,66 \text{ kg}$   
 Componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano alla base del muro,  $R_h=1.132,08 \text{ kg}$   
 coeff. di sicurezza superf. separazione muro-magrone o muro-terreno = 2,9  
**VERIFICA SODDISFATTA**

## **VERIFICA AL CARICO LIMITE**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

Parametri geotecnici di progetto

angolo di resistenza al taglio drenato del terreno di fondazione,  $Fi2d (^{\circ})=34$

coesione drenata terreno di fondazione,  $c'2d=0 \text{ kg/mq}$

peso dell'unità di volume del terreno superficiale,  $g1=1800 \text{ kg/mc}$

peso dell'unità di volume del terreno di fondazione,  $g2=1800 \text{ kg/mc}$

Risultante dei carichi in fondazione,  $R=5.795,64 \text{ kg}$

componente normale al piano posa fondazione,  $R_n=5.684,00 \text{ kg}$

componente tangenziale al piano posa fondazione,  $R_t=1.132,08 \text{ kg}$

angolo di inclinazione di R rispetto alla normale al piano di posa fondaz. =  $11,26^{\circ}$

eccentricità di R,  $E_c=-0,03 \text{ m}$

$B/6 = 0,22 \text{ m}$

base del muro non parzializzata

larghezza ridotta della fondazione,  $B'=1,23 \text{ m}$

Fattori del carico limite

$N_c=42,16$

$N_q=29,44$

$N_g=41,06$

Fattori di inclinazione del carico

$i_c=0,77$

$i_q=0,77$

$i_g=0,45$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$\alpha_c=1$

$\alpha_q=1$

$\alpha_g=1$

Carico limite unitario,  $q_{lim}=3,46 \text{ kg/cm}^2$

Carico limite,  $Q_{lim}=42.622,57 \text{ kg}$

Sottospinta,  $S_w=0,00 \text{ kg}$

Carico di esercizio,  $Q_{es}=R_n-S_w=5.684,00 \text{ kg}$

Coeff. di sicurezza = 7,5

**VERIFICA SODDISFATTA**

## **VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE**

n° di cerchi analizzati = 10

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno,  $Fid (^{\circ})=28,35$

coesione drenata di progetto,  $C'd=0 \text{ kg/mq}$

**Cerchio critico:  $X_c (m)= 0,74$   $Y_c (m)= 2,22$   $R_c (m)= 2,41$**

concio	Wt	Wq	alfa ( $^{\circ}$ )	u	DX	Fsh	B	Fsv	N	T
1	16,6	0	-36,85	0	0,16	0	2,22	0	26,39	7,53
2	47,22	0	-32,31	0	0,16	0	2,22	0	68,18	19,45
3	73,02	0	-28	0	0,16	0	2,22	0	97,48	27,81
4	94,59	0	-23,85	0	0,16	0	2,22	0	118,35	33,76
5	112,38	0	-19,83	0	0,16	0	2,22	0	133,16	37,99
6	158,82	0	-15,84	0	0,16	0	2,22	0	179,63	51,25
7	225,4	0	-11,86	0	0,16	0	2,22	0	245	69,9
8	288,55	0	-7,94	0	0,16	0	2,22	0	303,42	86,57
9	348,39	0	-4,06	0	0,16	0	2,22	0	356,48	101,7
10	405	0	-0,19	0	0,16	0	2,22	0	405,39	115,66
11	458,4	0	3,67	0	0,16	0	2,22	0	451,08	128,69

12	508,56	0	7,55	0	0,16	0	2,22	0	494,31	141,03
13	555,43	0	11,47	0	0,16	0	2,22	0	535,73	152,85
14	534,7	0	15,31	0	0,15	0	2,22	0	514,21	146,7
15	521,82	0	19,09	0	0,15	0	2,22	0	502,56	143,38
16	505,83	0	22,96	0	0,15	0	2,22	0	490,11	139,83
17	486,47	0	26,95	0	0,15	0	2,22	0	476,59	135,97
18	463,39	0	31,08	0	0,15	0	2,22	0	461,66	131,71
19	436,12	0	35,4	0	0,15	0	2,22	0	444,83	126,91
20	403,95	0	39,97	0	0,15	0	2,22	0	425,35	121,35
21	365,87	0	44,87	0	0,15	0	2,22	0	402,04	114,7
22	320,23	0	50,24	0	0,15	0	2,22	0	372,82	106,36
23	264,11	0	56,31	0	0,15	0	2,22	0	333,44	95,13
24	191,05	0	63,63	0	0,15	0	2,22	0	273,02	77,89
25	74,58	0	74,44	0	0,15	0	2,22	0	137,3	39,17

L (m) = 5,07

M\_resist = 10.736,82 kg\*m

M\_instab = 5.676,78 kg\*m

Coff. sicurezza del pendio (metodo di Bishop) = 1,891

VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICHE STRUTTURALI MURO (metodo agli SLU)**

**Sez. 1-1 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 1,5 m largh. sez B = 1,3 m)**

spinta dovuta al terrapieno, St=572,50 kg/m

spinta dovuta al sovraccarico, Sq=0,00 kg/m

spinta complessiva, S=572,50 kg/m

componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 744,25 kg

componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 4.410,00 kg

Momento ribaltante = 372,12 kg\*m

Momento stabilizzante = 3.374,00 kg\*m

eccentricità dello sforzo normale, e = 0,03 m (u = 0,68 m)

sforzo normale, Nx=-4.410,00 kg

taglio, Tz=-744,25 kg

momento flettente, My=-135,38 kg\*m

sezione non parzializzata (B/6 = 0,22 m)

tensione normale lembo esterno sezione = 0,29 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale lembo interno sezione = 0,39 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale media = 0,34 kg/cm<sup>2</sup>

tensione tangenziale max = 0,09 kg/cm<sup>2</sup>

resistenza di progetto a taglio, fvd=4,05 kg/cm<sup>2</sup>

Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

### **COMBINAZ. FONDAMENTALE 2 (presenza di sovraccarico accidentale)**

#### **VERIFICA AL RIBALTAMENTO (rispetto all'estremo di fondazione di valle)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

coeff. carichi permanenti favorevoli alla sicurezza = 1

coeff. carichi permanenti sfavorevoli alla sicurezza = 1,3

coeff. carichi variabili favorevoli alla sicurezza = 0

coeff. carichi variabili sfavorevoli alla sicurezza = 1,5

angolo di resistenza al taglio drenato di progetto terreno spingente, Fi1d=34°

coesione drenata di progetto terreno spingente, C1d=0 kg/m<sup>2</sup>

Coeff. di spinta attiva, Ka=0,282715

Coeff. di spinta a riposo, Ko=0,440807

Coeff. di spinta passiva, Kp=3,537132

Spinta dovuta al terrapieno, St=870,83 kg

componente orizzontale, Sth=870,83 kg

braccio componente orizzontale, YSt= 0,62 m

componente verticale, Stv=0,00 kg

braccio componente verticale, XSt = 1,3 m

Spinta dovuta al sovraccarico sul terrepiano, Sq=209,21 kg

componente orizzontale,  $S_{qh}=209,21$  kg  
braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq}=0,92$  m  
componente verticale,  $S_{qv}=0,00$  kg  
braccio componente verticale,  $X_{Sq}=1,3$  m

Spinta complessiva,  $StT=1.080,04$  kg  
Momento ribaltante,  $M_{rib}=988,40$  kg\*m  
Momento stabilizzante,  $M_{stab}=4.202,10$  kg\*m  
Coeff. di sicurezza = 4,25  
VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (piano di posa)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno spingente,  $Fi1d=34^\circ$

Coeff. di spinta attiva,  $K_a=0,282715$

Coeff. di spinta a riposo,  $K_o=0,440807$

Coeff. di spinta passiva,  $K_p=3,537132$

Spinta dovuta al terrapieno,  $St=870,83$  kg

componente orizzontale,  $S_{th}=870,83$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{St}=0,62$  m

componente verticale,  $S_{tv}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{St}=1,3$  m

Spinta dovuta al sovraccarico sul terrepiano,  $S_q=209,21$  kg

componente orizzontale,  $S_{qh}=209,21$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq}=0,92$  m

componente verticale,  $S_{qv}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{Sq}=1,3$  m

Spinta complessiva,  $StT=1.080,04$  kg

Resistenza lungo la superficie di scorrimento,  $T_{lim}=3.281,66$  kg

Componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano alla base del muro,  $R_h=1.445,90$  kg

coeff. di sicurezza superf. separazione muro-magrone o muro-terreno = 2,27

VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICA AL CARICO LIMITE**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

Parametri geotecnici di progetto

angolo di resistenza al taglio drenato del terreno di fondazione,  $Fi2d(^{\circ})=34$

coesione drenata terreno di fondazione,  $c'2d=0$  kg/mq

peso dell'unità di volume del terreno superficiale,  $g_1=1800$  kg/mc

peso dell'unità di volume del terreno di fondazione,  $g_2=1800$  kg/mc

Risultante dei carichi in fondazione,  $R=5.865,02$  kg

componente normale al piano posa fondazione,  $R_n=5.684,00$  kg

componente tangenziale al piano posa fondazione,  $R_t=1.445,90$  kg

angolo di inclinazione di R rispetto alla normale al piano di posa fondaz. =  $14,27^\circ$

eccentricità di R,  $E_c=-0,08$  m

$B/6=0,22$  m

base del muro non parzializzata

larghezza ridotta della fondazione,  $B'=1,13$  m

Fattori del carico limite

$N_c=42,16$

$N_q=29,44$

$N_g=41,06$

Fattori di inclinazione del carico

$i_c=0,71$

$i_q=0,71$

$i_g=0,34$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$\alpha_c=1$

$\alpha_q=1$

$\alpha_g=1$

Carico limite unitario,  $q_{lim}=2,72 \text{ kg/cmq}$   
 Carico limite,  $Q_{lim}=30.758,33 \text{ kg}$   
 Sottospinta,  $Sw=0,00 \text{ kg}$   
 Carico di esercizio,  $Q_{es}=R_n-Sw=5.684,00 \text{ kg}$   
 Coeff. di sicurezza = 5,41  
**VERIFICA SODDISFATTA**

## **VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE**

n° di cerchi analizzati = 10

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno,  $Fid(^{\circ})=28,35$

coesione drenata di progetto,  $C'd=0 \text{ kg/mq}$

**Cerchio critico:  $X_c(m)=0,74$   $Y_c(m)=2,22$   $R_c(m)=2,41$**

concio	Wt	Wq	alfa ( $^{\circ}$ )	u	DX	Fsh	B	Fsv	N	T
1	16,6	0	-36,85	0	0,16	0	2,22	0	27,25	8,67
2	47,22	0	-32,31	0	0,16	0	2,22	0	69,96	22,27
3	73,02	0	-28	0	0,16	0	2,22	0	99,54	31,68
4	94,59	0	-23,85	0	0,16	0	2,22	0	120,36	38,31
5	112,38	0	-19,83	0	0,16	0	2,22	0	134,95	42,95
6	158,82	0	-15,84	0	0,16	0	2,22	0	181,48	57,76
7	225,4	0	-11,86	0	0,16	0	2,22	0	246,82	78,56
8	288,55	0	-7,94	0	0,16	0	2,22	0	304,88	97,04
9	348,39	0	-4,06	0	0,16	0	2,22	0	357,33	113,74
10	405	0	-0,19	0	0,16	0	2,22	0	405,43	129,05
11	458,4	0	3,67	0	0,16	0	2,22	0	450,14	143,28
12	508,56	0	7,55	0	0,16	0	2,22	0	492,24	156,68
13	555,43	0	11,47	0	0,16	0	2,22	0	532,36	169,45
14	534,7	79	15,31	0	0,15	0	2,22	0	585,27	186,29
15	521,82	79	19,09	0	0,15	0	2,22	0	572,69	182,28
16	505,83	79	22,96	0	0,15	0	2,22	0	559,67	178,14
17	486,47	79	26,95	0	0,15	0	2,22	0	545,98	173,78
18	463,39	79	31,08	0	0,15	0	2,22	0	531,34	169,12
19	436,12	79	35,4	0	0,15	0	2,22	0	515,35	164,03
20	403,95	79	39,97	0	0,15	0	2,22	0	497,42	158,33
21	365,87	79	44,87	0	0,15	0	2,22	0	476,65	151,72
22	320,23	79	50,24	0	0,15	0	2,22	0	451,45	143,69
23	264,11	79	56,31	0	0,15	0	2,22	0	418,65	133,26
24	191,05	79	63,63	0	0,15	0	2,22	0	370,26	117,85
25	74,58	79	74,44	0	0,15	0	2,22	0	267,1	85,02

$L(m) = 5,07$

$M_{resist} = 11.994,28 \text{ kg}\cdot\text{m}$

$M_{instab} = 7.075,05 \text{ kg}\cdot\text{m}$

Coff. sicurezza del pendio (metodo di Bishop) = 1,695

**VERIFICA SODDISFATTA**

## **VERIFICHE STRUTTURALI MURO (metodo agli SLU)**

**Sez. 1-1 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 1,5 m largh. sez B = 1,3 m)**

spinta dovuta al terrapieno,  $St=572,50 \text{ kg/m}$

spinta dovuta al sovraccarico,  $Sq=169,63 \text{ kg/m}$

spinta complessiva,  $S=742,13 \text{ kg/m}$

componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 998,69 kg

componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 4.410,00 kg

Momento ribaltante = 562,96  $\text{kg}\cdot\text{m}$

Momento stabilizzante = 3.374,00  $\text{kg}\cdot\text{m}$

eccentricità dello sforzo normale,  $e = -0,01 \text{ m}$  ( $u = 0,64 \text{ m}$ )

sforzo normale,  $N_x=-4.410,00 \text{ kg}$

taglio,  $T_z=-998,69 \text{ kg}$

momento flettente,  $M_y=55,46 \text{ kg}\cdot\text{m}$

sezione non parzializzata ( $B/6 = 0,22 \text{ m}$ )

tension<sup>^</sup> normale lembo esterno sezione = 0,36 kg/cm<sup>2</sup>  
tensione normale lembo interno sezione = 0,32 kg/cm<sup>2</sup>  
tensione normale media = 0,34 kg/cm<sup>2</sup>  
tensione tangenziale max = 0,12 kg/cm<sup>2</sup>  
resistenza di progetto a taglio,  $f_{vd}=4,05$  kg/cm<sup>2</sup>  
Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

### **COMBINAZ. SISMICA (sovraccarico accidentale con coeff. di combinaz.)**

#### **VERIFICA AL RIBALTAMENTO (rispetto all'estremo di fondazione di valle)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

coeff. carichi permanenti favorevoli alla sicurezza = 1

coeff. carichi permanenti sfavorevoli alla sicurezza = 1

coeff. carichi variabili favorevoli alla sicurezza = 0

coeff. carichi variabili sfavorevoli alla sicurezza = 1

angolo di resistenza al taglio drenato di progetto terreno spingente,  $\phi_{1d}=34^\circ$

coesione drenata di progetto terreno spingente,  $c_{1d}=0$  kg/m<sup>2</sup>

Coeff. di spinta attiva,  $K_a=0,282715$

Coeff. di spinta a riposo,  $K_o=0,440807$

Coeff. di spinta passiva,  $K_p=3,537132$

Spinta dovuta al terrapieno,  $S_t=870,83$  kg

componente orizzontale,  $S_{th}=870,83$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{St}=0,62$  m

componente verticale,  $S_{tv}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{St}=1,3$  m

Spinta dovuta al sovraccarico sul terrepieno,  $S_q=125,53$  kg

componente orizzontale,  $S_{qh}=125,53$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq}=0,92$  m

componente verticale,  $S_{qv}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{Sq}=1,3$  m

Spinta complessiva,  $S_{tT}=996,36$  kg

coeff. di spinta dinamico,  $K_{ad}=0,307839$

Incremento di spinta dovuto al sisma,  $D_{St}=74,39$  kg

componente orizzontale,  $D_{StH}=74,39$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{St}=0,62$  m

componente verticale,  $D_{StV}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{DSt}=1,3$  m

Forza d'inerzia,  $F_i=254,50$  kg

braccio forza d'inerzia,  $Y_{Fin}=0,85$  m

Momento ribaltante,  $M_{rib}=914,43$  kg\*m

Momento stabilizzante,  $M_{stab}=4.139,38$  kg\*m

Coeff. di sicurezza = 4,53

VERIFICA SODDISFATTA

condizione di sisma verticale più gravosa: dal basso verso l'alto

#### **VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (piano di posa)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno spingente,  $\phi_{1d}=34^\circ$

Coeff. di spinta attiva,  $K_a=0,282715$

Coeff. di spinta a riposo,  $K_o=0,440807$

Coeff. di spinta passiva,  $K_p=3,537132$

Spinta dovuta al terrapieno,  $S_t=870,83$  kg

componente orizzontale,  $S_{th}=870,83$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{St}=0,62$  m

componente verticale,  $S_{tv}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{St}=1,3$  m

Spinta dovuta al sovraccarico sul terrepieno,  $S_q=125,53$  kg

componente orizzontale,  $S_{qh}=125,53$  kg

braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq}=0,92$  m

componente verticale,  $S_{qv}=0,00$  kg

braccio componente verticale,  $X_{Sq}=1,3$  m  
Spinta complessiva,  $StT=996,36$  kg  
coeff. di spinta dinamico,  $Kad=0,299247$   
Incremento di spinta dovuto al sisma,  $DSt=44,50$  kg  
componente orizzontale,  $DStH=44,50$  kg  
braccio componente orizzontale,  $YSt=0,62$  m  
componente verticale,  $DStV=0,00$  kg  
braccio componente verticale,  $XDSt=1,3$  m  
Forza d'inerzia,  $Fi=169,66$  kg  
braccio forza d'inerzia,  $YFin=0,85$  m  
Resistenza lungo la superficie di scorrimento,  $Tlim=3.232,68$  kg  
Componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano alla base del muro,  $Rh=1.210,53$  kg  
coeff. di sicurezza superf. separazione muro-magrone o muro-terreno = 2,67  
**VERIFICA SODDISFATTA**  
condizione di sisma verticale più gravosa: dal basso verso l'alto

## **VERIFICA AL CARICO LIMITE**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

Parametri geotecnici di progetto

angolo di resistenza al taglio drenato del terreno di fondazione,  $Fi2d(^{\circ})=34$   
coesione drenata terreno di fondazione,  $c'2d=0$  kg/mq  
peso dell'unità di volume del terreno superficiale,  $g1=1800$  kg/mc  
peso dell'unità di volume del terreno di fondazione,  $g2=1800$  kg/mc  
Risultante dei carichi in fondazione,  $R=5.899,81$  kg  
componente normale al piano posa fondazione,  $Rn=5.768,83$  kg  
componente tangenziale al piano posa fondazione,  $Rt=1.236,26$  kg  
angolo di inclinazione di R rispetto alla normale al piano di posa fondaz. =  $12,1^{\circ}$   
eccentricità di R,  $Ec=-0,06$  m  
 $B/6 = 0,22$  m  
base del muro non parzializzata  
larghezza ridotta della fondazione,  $B'=1,19$  m

Fattori del carico limite

$Nc=42,16$   
 $Nq=29,44$   
 $Ng=41,06$

Fattori di inclinazione del carico

$ic=0,75$   
 $iq=0,75$   
 $ig=0,42$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$\alpha_c=1$   
 $\alpha_q=1$   
 $\alpha_g=1$

Carico limite unitario,  $qlim=3,21$  kg/cmq

Carico limite,  $Qlim=38.124,93$  kg

Sottospinta,  $Sw=0,00$  kg

Carico di esercizio,  $Qes=Rn-Sw=5.768,83$  kg

Coeff. di sicurezza = 6,61

**VERIFICA SODDISFATTA**

condizione di sisma verticale più gravosa: dall'alto verso il basso

## **VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE**

n° di cerchi analizzati = 10

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno,  $Fid(^{\circ})=28,35$

coesione drenata di progetto,  $C'd=0$  kg/mq

condizione di sisma verticale più gravosa: dal basso verso l'alto

**Cerchio critico:  $Xc(m)=0,74$   $Yc(m)=2,22$   $Rc(m)=2,41$**

Asi	8a	11m	11m	11m	11m	11m	11m	11m	11m	11m	11m
1	16,6	0	-36,85	0	0,16	0,5	1,91	0,25	27,67	8,82	
2	47,22	0	-32,31	0	0,16	1,41	1,96	0,7	71,04	22,65	
3	73,02	0	-28	0	0,16	2,18	2	1,09	101,06	32,22	
4	94,59	0	-23,85	0	0,16	2,82	2,04	1,41	122,19	38,96	
5	112,38	0	-19,83	0	0,16	3,35	2,07	1,68	136,99	43,68	
6	158,82	0	-15,84	0	0,16	4,74	2,05	2,37	184,22	58,74	
7	225,4	0	-11,86	0	0,16	6,73	1,97	3,36	250,53	79,88	
8	288,55	0	-7,94	0	0,16	8,61	1,89	4,31	309,45	98,67	
9	348,39	0	-4,06	0	0,16	10,4	1,81	5,2	362,68	115,64	
10	405	0	-0,19	0	0,16	12,09	1,72	6,04	411,48	131,2	
11	458,4	0	3,67	0	0,16	13,68	1,62	6,84	456,84	145,66	
12	508,56	0	7,55	0	0,16	15,18	1,52	7,59	499,55	159,28	
13	555,43	0	11,47	0	0,16	16,58	1,41	8,29	540,25	172,25	
14	534,7	36,46	15,31	0	0,15	17,05	1,29	8,52	552,76	176,24	
15	521,82	36,46	19,09	0	0,15	16,66	1,26	8,33	539,99	172,17	
16	505,83	36,46	22,96	0	0,15	16,19	1,23	8,09	526,6	167,9	
17	486,47	36,46	26,95	0	0,15	15,61	1,2	7,8	512,33	163,35	
18	463,39	36,46	31,08	0	0,15	14,92	1,16	7,46	496,85	158,41	
19	436,12	36,46	35,4	0	0,15	14,11	1,11	7,05	479,7	152,95	
20	403,95	36,46	39,97	0	0,15	13,15	1,05	6,57	460,22	146,74	
21	365,87	36,46	44,87	0	0,15	12,01	0,98	6	437,33	139,44	
22	320,23	36,46	50,24	0	0,15	10,65	0,9	5,32	409,18	130,46	
23	264,11	36,46	56,31	0	0,15	8,97	0,8	4,49	372,03	118,62	
24	191,05	36,46	63,63	0	0,15	6,79	0,67	3,4	316,39	100,88	
25	74,58	36,46	74,44	0	0,15	3,31	0,49	1,66	195,83	62,44	

L (m) = 5,07

M\_resist = 11.419,71 kg\*m

M\_instab = 6.747,59 kg\*m

Coff. sicurezza del pendio (metodo di Bishop) = 1,692

VERIFICA SODDISFATTA

## VERIFICHE STRUTTURALI MURO (metodo agli SLU)

**Sez. 1-1 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 1,5 m largh. sez B = 1,3 m)**

spinta dovuta al terrapieno,  $St=572,50$  kg/m

spinta dovuta al sovraccarico,  $Sq=101,78$  kg/m

spinta complessiva,  $S=674,28$  kg/m

incremento di spinta attiva dovuto al sisma,  $DSa=47,27$  kg/m

forza d'inerzia,  $Fi=131,64$  kg/m

componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 853,18 kg

componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 4.410,00 kg

Momento ribaltante = 477,11 kg\*m

Momento stabilizzante = 3.374,00 kg\*m

eccentricità dello sforzo normale,  $e = 0,01$  m ( $u = 0,66$  m)

sforzo normale,  $Nx=-4.410,00$  kg

taglio,  $Tz=-853,18$  kg

momento flettente,  $My=-30,39$  kg\*m

sezione non parzializzata ( $B/6 = 0,22$  m)

tensione normale lembo esterno sezione = 0,33 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale lembo interno sezione = 0,35 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale media = 0,34 kg/cm<sup>2</sup>

tensione tangenziale max = 0,1 kg/cm<sup>2</sup>

resistenza di progetto a taglio,  $fvd=4,05$  kg/cm<sup>2</sup>

Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

## VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

### COMBINAZ. FONDAMENTALE 1 (assenza di sovraccarico accidentale)

Risultante dei carichi in fondazione,  $R=5.750,32$  kg

componente orizzontale dei carichi in fondazione,  $Rh=870,83$  kg

componente verticale dei carichi in fondazione,  $R_v=5.684,00$  kg  
angolo di inclinazione di R rispetto alla verticale =  $8,71^\circ$   
eccentricità di R,  $E_c=-0,01$  m  
limite del nocciolo centrale d'inerzia della base di fondaz.  $B/6=0,22$  m  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di valle,  $p_1=4.477,1$  kg/mq  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di monte,  $p_2=4.267,5$  kg/mq  
cedimento all'estremo di fondazione di valle,  $w_1=0,04$  cm  
cedimento all'estremo di fondazione di monte,  $w_2=0,04$  cm  
tangente dell'angolo di rotaz. della base della fondaz. =  $0,000016$  ( $\beta=0^\circ$ )  
Verifica allo S.L.E. soddisfatta

### **COMBINAZ. FONDAMENTALE 2 (presenza di sovraccarico accidentale)**

Risultante dei carichi in fondazione,  $R=5.785,70$  kg  
componente orizzontale dei carichi in fondazione,  $R_h=1.080,04$  kg  
componente verticale dei carichi in fondazione,  $R_v=5.684,00$  kg  
angolo di inclinazione di R rispetto alla verticale =  $10,76^\circ$   
eccentricità di R,  $E_c=-0,04$  m  
limite del nocciolo centrale d'inerzia della base di fondaz.  $B/6=0,22$  m  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di valle,  $p_1=5.164,1$  kg/mq  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di monte,  $p_2=3.580,5$  kg/mq  
cedimento all'estremo di fondazione di valle,  $w_1=0,05$  cm  
cedimento all'estremo di fondazione di monte,  $w_2=0,04$  cm  
tangente dell'angolo di rotaz. della base della fondaz. =  $0,000122$  ( $\beta=0,01^\circ$ )  
Verifica allo S.L.E. soddisfatta

### **COMBINAZ. SISMICA (sovraccarico accidentale con coeff. di combinaz.)**

accelerazione orizz. max attesa al sito,  $a_{max}=0,402$  m/s<sup>2</sup>  
accelerazione critica,  $a_c=5,873$  m/s<sup>2</sup>  
rapporto  $a_c/a_{max}=14,62$   
velocità orizz. max attesa al sito,  $V_{max}=0,0205$  m/s  
spostamento permanente indotto dal sisma =  $0$  cm  
Verifica allo S.L.E. soddisfatta

\_\_\_\_\_



# MURI IN PIETRA A GRAVITA' H = 240 cm

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. 17/01/2018

Le verifiche di tipo geotecnico (ribaltamento, scorrimento, carico limite, stabilità globale) e strutturali vengono svolte con il metodo agli Stati Limite Ultimi (S.L.U.)

### **Coeff. parziali o di sicurezza sulle azioni (A)**

#### gruppo EQU

azioni permanenti aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Gi}=0,9$

azioni permanenti aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Gs}=1,1$

azioni variabili aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Qi}=0$

azioni variabili aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Qs}=1,5$

#### gruppo A1

azioni permanenti aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Gi}=1$

azioni permanenti aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Gs}=1,3$

azioni variabili aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Qi}=0$

azioni variabili aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Qs}=1,5$

#### gruppo A2

azioni permanenti aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Gi}=1$

azioni permanenti aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Gs}=1$

azioni variabili aventi effetto favorevole alla sicurezza  $g_{Qi}=0$

azioni variabili aventi effetto sfavorevole alla sicurezza  $g_{Qs}=1,3$

### **Coeff. parziali o di sicurezza per i parametri geotecnici dei terreni (M)**

#### gruppo M1

tangente dell'angolo di resistenza al taglio  $g_f=1$

coesione efficace  $g_c=1$

coesione non drenata  $g_{cu}=1$

peso dell'unità di volume  $g_g=1$

#### gruppo M2

tangente dell'angolo di resistenza al taglio  $g_f=1,25$

coesione efficace  $g_c=1,25$

coesione non drenata  $g_{cu}=1,4$

peso dell'unità di volume  $g_g=1$

### **Coeff. parziali o di sicurezza sulle resistenze globali dei sistemi geotecnici (R)**

#### gruppo R3

Opera di sostegno:

coeff. sicurezza al ribaltamento  $g_{Rib}=1,15$

coeff. sicurezza allo scorrimento  $g_{Scorr}=1,1$

coeff. sicurezza al carico limite del complesso fondazione-terreno  $g_{Qlim}=1,4$

coeff. sicurezza resistenza del terreno a valle  $g_{Sp}=1,4$

Pali di fondazione:

coeff. sicurezza resistenza alla base  $g_b=1,35$

coeff. sicurezza resistenza laterale in compressione  $g_s=1,15$

coeff. sicurezza resistenza laterale in trazione  $g_{st}=1,25$

coeff. sicurezza resistenza a carichi trasversali  $g_T=1,3$

**La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno viene condotta secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2)**

**Le rimanenti verifiche SLU di tipo geotecnico e strutturale sono condotte in base all'Approccio 2 (A1+M1+R3)**

## **UNITA' DI MISURA**

### **Sistema Tecnico**

Lunghezze (coordinate, distanze, dimensioni, spostamenti ...): m

Aree sezioni: mq

Volumi: mc

Momenti di inerzia sezioni:  $m^4$

Forze, Resistenza alla punta e laterale, Sforzo normale, Taglio: kg

Momenti (stabilizzante, instabilizzante, flettente - per metro lineare di muro):  $kg \cdot m$

Sovraccarico uniformemente ripartito:  $kg/mq$

Coesione:  $kg/mq$

Pesi unità di volume:  $kg/mc$

Coefficienti di reazione del terreno o di Winkler:  $kg/cm$

tempi: secondi (s)

velocità: m/s

accelerazioni:  $m/s^2$

Latitudine, Longitudine: gradi sessadecimali

### calcoli strutturali

dimensioni, copriferro, interferro: cm

diametri tondini, staffe e spirali: mm

aree sezioni:  $cm^2$

volumi:  $cm^3$

Momenti di inerzia sezioni:  $cm^4$

Tensioni/pressioni, Moduli elastici, carico limite unitario, resistenze mater.:  $kg/cm^2$

## **METODI DI CALCOLO**

### **Muro**

calcolo della spinta: teoria di Coulomb generalizzata

calcolo del carico limite del complesso fondazione superficiale-terreno: teoria di Prandtl-Cacquot-Terzaghi

stabilità globale: metodo di Bishop

analisi sismica: metodo pseudostatico

calcolo spostamenti permanenti indotti dal sisma: metodo Newmark > Whitman e Liao

### **Pali di fondazione**

valori del fattore di forma  $N_q$  per il carico limite assiale: Berezantzev et al. (1961)

valori del fattore di forma  $N_q$  per pali trivallati di grande diametro: Berezantzev (1965)

Analisi del palo sotto carichi di esercizio (verifiche strutturali e calcolo spostamenti nel palo):

"Palo elastico su suolo elastico alla Winkler" - soluzione con il Metodo agli Elementi Finiti (F.E.M)

## **SISTEMA DI RIFERIMENTO ASSOLUTO**

Origine sull'estremo inferiore della fondazione di valle, asse X orizzontale verso monte, asse Y verticale verso l'alto, asse Z ortogonale al piano del disegno e uscente

## **INPUT DEL PROBLEMA**

### **CONDIZIONI DI ROTTURA**

Condizioni di rottura drenate - Assenza di pressioni neutre

### **TIPOLOGIA E SEZIONE MURO**

Muro a gravità in muratura

## DATI GEOMETRICI

### Sezione muro

scarpa esterna,  $Se=0,8$  m  
spessore muro in testa,  $Bm=0,8$  m  
scarpa interna,  $Si=0$  m  
altezza parte superiore muro,  $Hm=2,4$  m  
altezza complessiva muro,  $H=2,9$  m  
altezza fondazione,  $Hf=0,5$  m  
larghezza fondazione,  $B=1,6$  m  
sviluppo fondazione a monte,  $L=0$  m  
sviluppo longitudinale del muro (lungo l'asse Z),  $Lz=10$  m

### Terreni circostanti

inclinazione pendio di monte rispetto all'orizzontale,  $i(^{\circ})=0$   
affond. piano di posa fondazione,  $D=0,5$  m  
affond. terreno di monte rispetto al coronamento muro,  $Ha=0$  m  
angolo di rotazione del piano di posa della fondaz. rispetto all'orizzontale,  $\alpha(^{\circ})=0$   
spessore del magrone,  $Sm=0$  m

## DATI GEOTECNICI TERRENI

peso dell'unità di volume dell'acqua,  $gw=1000$  kg/mc

### Terreno spingente (1)

peso dell'unità di volume,  $g=1800$  kg/mc  
angolo di resistenza al taglio,  $Fi(^{\circ})=34$   
coesione drenata terreno spingente,  $c'=0$  kg/mq

### Terreno di fondazione (2)

peso dell'unità di volume,  $g=1800$  kg/mc  
angolo di resistenza al taglio,  $Fi(^{\circ})=34$   
coesione drenata terreno di fondazione,  $c'=0$  kg/mq  
costante di sottofondo o di Winkler del terreno di fondazione,  $kt=10$  kg/cm

## PROPRIETA' AL CONTATTO MURO-TERRENI E PALI-TERRENI

### Angoli di attrito sulle superfici di contatto muro-terreni

angolo di attrito terrapieno-muro,  $\delta=0^{\circ}$   
angolo di attrito muro-magrone o muro-terreno,  $\delta_1=30^{\circ}$   
adesione al contatto muro-magrone o muro-terreno  $ad_1=0$  kg/mq

## DATI MATERIALE MURO E PALI

peso dell'unità di volume,  $gm=2800$  kg/mc  
resistenza caratteristica a compressione,  $fk=30$  kg/cm<sup>2</sup>  
resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali,  $fvk_0=10$  kg/cm<sup>2</sup>  
coefficiente parziale di sicurezza,  $gM=2,5$   
resistenza di progetto a compressione,  $fd=fk/gM=12$  kg/cm<sup>2</sup>

## SOVRACCARICHI: 1) UNIFORMEMENTE RIPARTITO SUL TERRAPIENO; 2) CONCENTRATO SUL MURO

terrapieno: di tipo permanente,  $g_1=0$  kg/mq  
terrapieno: di tipo variabile,  $q_1=400$  kg/mq  
muro (di tipo permanente), componente orizz.  $H_2=0$  kg/m  
muro (di tipo permanente), componente vert.  $V_2=0$  kg/m

## AZIONE SISMICA

Localizzazione sito di costruzione: Longitudine=8,12; Latitudine=45,83  
Nodi della maglia elementare del reticolo sismico che contiene il sito di costruzione

Nodo	ID	Dist (km)
1	10248	4,1
2	10249	8,2
3	10692	7,1
4	10470	1,6

Vita nominale di progetto dell'opera,  $Vn=100$  anni  
Classe d'uso della costruzione = Classe II ( $Cu=1$ )

Categoria di sottosuolo = B  
Categoria topografica = T1  
Accelerazione di gravità,  $g=9,81 \text{ m/s}^2$   
Coefficiente di combinazione del sovraccarico saltuario in presenza di sisma = 0,6

#### VERIFICHE AGLI S.L.E.

valore massimo ammissibile della tangente dell'angolo di rotazione del piano di posa della  
fondazione = 0,005 ( $\beta_{\max}=0,29^\circ$ )  
spostamento permanente ammissibile per effetto del sisma = 2 cm

#### IMPOSTAZIONI DI CALCOLO

Terreni omogenei ed isotropi: spingente (1) - di fondazione (2) - di riporto sopra la fondaz. di monte (3)  
Condizioni di spinta "attiva"  
Non si tiene conto della spinta passiva a valle (a favore di sicurezza)

#### COMBINAZIONI DI CARICO

Combinazioni fondamentali (assenza di sisma)

Azioni permanenti G:

- peso proprio elementi strutturali (muro)
- peso proprio terreno
- peso proprio elementi non strutturali
- carico concentrato sul coronamento del muro e sovraccarico permanente sul terrapieno
- spinte del terreno

Azioni variabili Q:

- sovraccarico saltuario sul terrapieno  $q_1$  (es. derivante da traffico veicolare)
- spinta dovuta al sovraccarico saltuario

Combinazioni sismiche

Azione sismica E

Azioni permanenti G

Azioni variabili Q (con coeff. riduttivo di combinazione)

## OUTPUT DEL PROBLEMA

#### PARAMETRI SISMICI PER IL SITO DI COSTRUZIONE

Nel caso di sito non coincidente con uno dei nodi del reticolo sismico, i parametri sismici sono ottenuti per interpolazione con quelli dei quattro nodi della maglia elementare che contiene il sito

Tr (anni)	ag ( $\text{m/s}^2$ )	ag/g	Fo	Tc* (s)
30	0,199	0,02	2,555	0,164
50	0,257	0,026	2,526	0,193
72	0,297	0,03	2,55	0,212
101	0,335	0,034	2,573	0,229
140	0,371	0,038	2,599	0,241
201	0,416	0,042	2,603	0,259
475	0,537	0,055	2,669	0,29
975	0,647	0,066	2,744	0,309
2475	0,806	0,082	2,869	0,329

Periodo di riferimento,  $V_r = 100$  anni

coeff. di amplificazione topografica,  $S_t = 1$

Verifiche agli SLU (Stato Limite di salvaguardia della Vita - SLV)

percentuale di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr} = 10\%$

Tempo di ritorno  $T_r = 949$  anni

acc. orizz. max attesa al sito di rifer. ridotto ed orizz  $ag = 0,642 \text{ m/s}^2$

parametro  $F_o = 2,741$

coeff. di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,2$

acc. orizz. max attesa al sito  $a_{\max} = 0,771 \text{ m/s}^2$

coeff. di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito  $B_m = 0,38$

Coefficiente sismico orizzontale  $Ch = 0,0298$

Coefficiente sismico verticale  $C_v = 0,0149$   
Verifiche agli SLE (Stato Limite di Danno - SLD)  
percentuale di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr} = 63\%$   
Tempo di ritorno  $T_r = 101$  anni  
acc. orizz. max attesa al sito di rifer. ridotto ed orizz  $a_g = 0,335 \text{ m/s}^2$   
parametro  $F_o = 2,573$   
coeff. di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,2$   
acc. orizz. max attesa al sito  $a_{max} = 0,402 \text{ m/s}^2$   
coeff. di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito  $B_m = 0,47$   
Coefficiente sismico orizzontale  $C_h = 0,0192$   
Coefficiente sismico verticale  $C_v = 0,0096$

**AREE, PESI E BRACCI (rispetto all'origine del sist. di riferimento)**

Muro

area = 3,68 mq  
peso = 10.304,00 kg  
ascissa baricentro muro = 0,94 m  
ordinata baricentro muro = 1,28 m  
Terreno di riporto sopra la fondazione a monte  
area = 0 mq  
peso = 0,00 kg  
ascissa baricentro terreno = 0 m  
ordinata baricentro terreno = 0 m

**VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI**

**COMBINAZ. FONDAMENTALE 1 (assenza di sovraccarico accidentale)**

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO (rispetto all'estremo di fondazione di valle)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico  
coeff. carichi permanenti favorevoli alla sicurezza = 1  
coeff. carichi permanenti sfavorevoli alla sicurezza = 1,3  
coeff. carichi variabili favorevoli alla sicurezza = 0  
coeff. carichi variabili sfavorevoli alla sicurezza = 1,5  
angolo di resistenza al taglio drenato di progetto terreno spingente,  $\phi_{1d} = 34^\circ$   
coesione drenata di progetto terreno spingente,  $C_{1d} = 0 \text{ kg/mq}$   
Coeff. di spinta attiva,  $K_a = 0,282715$   
Coeff. di spinta a riposo,  $K_o = 0,440807$   
Coeff. di spinta passiva,  $K_p = 3,537132$   
Spinta dovuta al terrapieno,  $St = 2.139,87 \text{ kg}$   
    componente orizzontale,  $St_h = 2.139,87 \text{ kg}$   
    braccio componente orizzontale,  $Y_{St} = 0,97 \text{ m}$   
    componente verticale,  $St_v = 0,00 \text{ kg}$   
    braccio componente verticale,  $X_{St} = 1,6 \text{ m}$   
Spinta complessiva,  $St_T = 2.139,87 \text{ kg}$   
Momento ribaltante,  $M_{rib} = 2.689,10 \text{ kg}\cdot\text{m}$   
Momento stabilizzante,  $M_{stab} = 9.676,80 \text{ kg}\cdot\text{m}$   
Coeff. di sicurezza = 3,6  
VERIFICA SODDISFATTA

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (piano di posa)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico  
angolo di resistenza al taglio di progetto terreno spingente,  $\phi_{1d} = 34^\circ$   
Coeff. di spinta attiva,  $K_a = 0,282715$   
Coeff. di spinta a riposo,  $K_o = 0,440807$   
Coeff. di spinta passiva,  $K_p = 3,537132$   
Spinta dovuta al terrapieno,  $St = 2.139,87 \text{ kg}$   
    componente orizzontale,  $St_h = 2.139,87 \text{ kg}$   
    braccio componente orizzontale,  $Y_{St} = 0,97 \text{ m}$   
    componente verticale,  $St_v = 0,00 \text{ kg}$

braccio componente verticale,  $X_{St} = 1,6 \text{ m}$   
 Spinta complessiva,  $StT=2.139,87 \text{ kg}$   
 Resistenza lungo la superficie di scorrimento,  $T_{lim}=5.949,02 \text{ kg}$   
 Componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano alla base del muro,  $R_h=2.781,83 \text{ kg}$   
 coeff. di sicurezza superf. separazione muro-magrone o muro-terreno = 2,14  
**VERIFICA SODDISFATTA**

## **VERIFICA AL CARICO LIMITE**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

Parametri geotecnici di progetto

angolo di resistenza al taglio drenato del terreno di fondazione,  $F_{i2d} (^{\circ})=34$

coesione drenata terreno di fondazione,  $c'_{2d}=0 \text{ kg/mq}$

peso dell'unità di volume del terreno superficiale,  $g_1=1800 \text{ kg/mc}$

peso dell'unità di volume del terreno di fondazione,  $g_2=1800 \text{ kg/mc}$

Risultante dei carichi in fondazione,  $R=10.672,91 \text{ kg}$

componente normale al piano posa fondazione,  $R_n=10.304,00 \text{ kg}$

componente tangenziale al piano posa fondazione,  $R_t=2.781,83 \text{ kg}$

angolo di inclinazione di R rispetto alla normale al piano di posa fondaz. =  $15,11^{\circ}$

eccentricità di R,  $E_c=-0,12 \text{ m}$

$B/6 = 0,27 \text{ m}$

base del muro non parzializzata

larghezza ridotta della fondazione,  $B'=1,36 \text{ m}$

Fattori del carico limite

$N_c=42,16$

$N_q=29,44$

$N_g=41,06$

Fattori di inclinazione del carico

$i_c=0,69$

$i_q=0,69$

$i_g=0,31$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$\alpha_c=1$

$\alpha_q=1$

$\alpha_g=1$

Carico limite unitario,  $q_{lim}=3,38 \text{ kg/cmq}$

Carico limite,  $Q_{lim}=45.873,44 \text{ kg}$

Sottospinta,  $S_w=0,00 \text{ kg}$

Carico di esercizio,  $Q_{es}=R_n-S_w=10.304,00 \text{ kg}$

Coeff. di sicurezza = 4,45

**VERIFICA SODDISFATTA**

## **VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE**

n° di cerchi analizzati = 10

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno,  $F_{id} (^{\circ})=28,35$

coesione drenata di progetto,  $C'_{d}=0 \text{ kg/mq}$

**Cerchio critico:  $X_c (m)= 0,94$   $Y_c (m)= 3,48$   $R_c (m)= 3,66$**

concio	Wt	Wq	alfa ( $^{\circ}$ )	u	DX	Fsh	B	Fsv	N	T
1	33,21	0	-33,27	0	0,24	0	3,48	0	49,85	15,44
2	94,39	0	-28,93	0	0,24	0	3,48	0	130,12	40,3
3	145,7	0	-24,76	0	0,24	0	3,48	0	187,2	57,98
4	188,2	0	-20,73	0	0,24	0	3,48	0	227,96	70,61
5	222,65	0	-16,81	0	0,24	0	3,48	0	256,59	79,47
6	310,75	0	-13,03	0	0,23	0	3,48	0	343,6	106,42
7	470,46	0	-9,38	0	0,23	0	3,48	0	502,56	155,66
8	624,04	0	-5,77	0	0,23	0	3,48	0	647,48	200,55
9	771,65	0	-2,18	0	0,23	0	3,48	0	781,42	242,03
10	913,35	0	1,4	0	0,23	0	3,48	0	906,75	280,85
11	1049,15	0	4,99	0	0,23	0	3,48	0	1025,42	317,6

12	1179,01	0	8,59	0	0,23	0	3,48	0	1139,07	352,81
13	1224,6	0	12,22	0	0,23	0	3,48	0	1174,22	363,69
14	1201,33	0	15,89	0	0,23	0	3,48	0	1147,84	355,52
15	1171,55	0	19,63	0	0,23	0	3,48	0	1120,09	346,92
16	1134,84	0	23,45	0	0,23	0	3,48	0	1090,49	337,76
17	1090,63	0	27,4	0	0,23	0	3,48	0	1058,48	327,84
18	1038,13	0	31,48	0	0,23	0	3,48	0	1023,23	316,93
19	976,26	0	35,76	0	0,23	0	3,48	0	983,64	304,66
20	903,46	0	40,28	0	0,23	0	3,48	0	938,04	290,54
21	817,45	0	45,14	0	0,23	0	3,48	0	883,75	273,72
22	714,57	0	50,45	0	0,23	0	3,48	0	816,09	252,77
23	588,29	0	56,46	0	0,23	0	3,48	0	725,68	224,76
24	424,29	0	63,7	0	0,23	0	3,48	0	588,64	182,32
25	165,17	0	74,3	0	0,23	0	3,48	0	290,37	89,94

L (m) = 7,43

M\_resist = 35.625,14 kg\*m

M\_instab = 20.448,55 kg\*m

Coff. sicurezza del pendio (metodo di Bishop) = 1,742

VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICHE STRUTTURALI MURO (metodo agli SLU)**

**Sez. 1-1 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 2,4 m largh. sez B = 1,6 m)**

spinta dovuta al terrapieno, St=1.465,59 kg/m

spinta dovuta al sovraccarico, Sq=0,00 kg/m

spinta complessiva, S=1.465,59 kg/m

componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 1.905,27 kg

componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 8.064,00 kg

Momento ribaltante = 1.524,22 kg\*m

Momento stabilizzante = 7.884,80 kg\*m

eccentricità dello sforzo normale, e = -0,01 m (u = 0,79 m)

sforzo normale, Nx=-8.064,00 kg

taglio, Tz=-1.905,27 kg

momento flettente, My=90,62 kg\*m

sezione non parzializzata (B/6 = 0,27 m)

tensione normale lembo esterno sezione = 0,53 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale lembo interno sezione = 0,48 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale media = 0,5 kg/cm<sup>2</sup>

tensione tangenziale max = 0,18 kg/cm<sup>2</sup>

resistenza di progetto a taglio, fvd=4,08 kg/cm<sup>2</sup>

Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

**Sez. 2-2 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 1,2 m largh. sez B = 1,2 m)**

spinta dovuta al terrapieno, St=366,40 kg/m

spinta dovuta al sovraccarico, Sq=0,00 kg/m

spinta complessiva, S=366,40 kg/m

componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 476,32 kg

componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 3.360,00 kg

Momento ribaltante = 190,53 kg\*m

Momento stabilizzante = 2.329,60 kg\*m

eccentricità dello sforzo normale, e = 0,04 m (u = 0,64 m)

sforzo normale, Nx=-3.360,00 kg

taglio, Tz=-476,32 kg

momento flettente, My=-123,07 kg\*m

sezione non parzializzata (B/6 = 0,2 m)

tensione normale lembo esterno sezione = 0,23 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale lembo interno sezione = 0,33 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale media = 0,28 kg/cm<sup>2</sup>

tensione tangenziale max = 0,06 kg/cm<sup>2</sup>

resistenza di progetto a taglio, fvd=4,04 kg/cm<sup>2</sup>

Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

## **COMBINAZ. FONDAMENTALE 2 (presenza di sovraccarico accidentale)**

### **VERIFICA AL RIBALTAMENTO (rispetto all'estremo di fondazione di valle)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

coeff. carichi permanenti favorevoli alla sicurezza = 1

coeff. carichi permanenti sfavorevoli alla sicurezza = 1,3

coeff. carichi variabili favorevoli alla sicurezza = 0

coeff. carichi variabili sfavorevoli alla sicurezza = 1,5

angolo di resistenza al taglio drenato di progetto terreno spingente,  $\text{Fi1d}=34^\circ$

coesione drenata di progetto terreno spingente,  $\text{C1d}=0 \text{ kg/mq}$

Coeff. di spinta attiva,  $\text{Ka}=0,282715$

Coeff. di spinta a riposo,  $\text{Ko}=0,440807$

Coeff. di spinta passiva,  $\text{Kp}=3,537132$

Spinta dovuta al terrapieno,  $\text{St}=2.139,87 \text{ kg}$

componente orizzontale,  $\text{Sth}=2.139,87 \text{ kg}$

braccio componente orizzontale,  $\text{YSt}= 0,97 \text{ m}$

componente verticale,  $\text{Stv}=0,00 \text{ kg}$

braccio componente verticale,  $\text{XSt}= 1,6 \text{ m}$

Spinta dovuta al sovraccarico sul terrepiano,  $\text{Sq}=327,95 \text{ kg}$

componente orizzontale,  $\text{Sqh}=327,95 \text{ kg}$

braccio componente orizzontale,  $\text{YSq}= 1,45 \text{ m}$

componente verticale,  $\text{Sqv}=0,00 \text{ kg}$

braccio componente verticale,  $\text{XSq}=1,6 \text{ m}$

Spinta complessiva,  $\text{StT}=2.467,82 \text{ kg}$

Momento ribaltante,  $\text{Mrib}=3.402,39 \text{ kg}\cdot\text{m}$

Momento stabilizzante,  $\text{Mstab}=9.676,80 \text{ kg}\cdot\text{m}$

Coeff. di sicurezza = 2,84

VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (piano di posa)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno spingente,  $\text{Fi1d}= 34^\circ$

Coeff. di spinta attiva,  $\text{Ka}=0,282715$

Coeff. di spinta a riposo,  $\text{Ko}=0,440807$

Coeff. di spinta passiva,  $\text{Kp}=3,537132$

Spinta dovuta al terrapieno,  $\text{St}=2.139,87 \text{ kg}$

componente orizzontale,  $\text{Sth}=2.139,87 \text{ kg}$

braccio componente orizzontale,  $\text{YSt}= 0,97 \text{ m}$

componente verticale,  $\text{Stv}=0,00 \text{ kg}$

braccio componente verticale,  $\text{XSt}= 1,6 \text{ m}$

Spinta dovuta al sovraccarico sul terrepiano,  $\text{Sq}=327,95 \text{ kg}$

componente orizzontale,  $\text{Sqh}=327,95 \text{ kg}$

braccio componente orizzontale,  $\text{YSq}= 1,45 \text{ m}$

componente verticale,  $\text{Sqv}=0,00 \text{ kg}$

braccio componente verticale,  $\text{XSq}=1,6 \text{ m}$

Spinta complessiva,  $\text{StT}=2.467,82 \text{ kg}$

Resistenza lungo la superficie di scorrimento,  $\text{Tlim}=5.949,02 \text{ kg}$

Componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano alla base del muro,  $\text{Rh}=3.273,75 \text{ kg}$

coeff. di sicurezza superf. separazione muro-magrone o muro-terreno = 1,82

VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICA AL CARICO LIMITE**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

Parametri geotecnici di progetto

angolo di resistenza al taglio drenato del terreno di fondazione,  $\text{Fi2d} (^\circ)=34$

coesione drenata terreno di fondazione,  $\text{c'2d}=0 \text{ kg/mq}$

peso dell'unità di volume del terreno superficiale,  $\text{g1}=1800 \text{ kg/mc}$

peso dell'unità di volume del terreno di fondazione,  $\text{g2}=1800 \text{ kg/mc}$

Risultante dei carichi in fondazione,  $\text{R}=10.811,56 \text{ kg}$

componente normale al piano posa fondazione,  $\text{Rn}=10.304,00 \text{ kg}$



componente tangenziale al piano posa fondazione,  $R_t=3.273,75 \text{ kg}$   
 angolo di inclinazione di R rispetto alla normale al piano di posa fondaz. =  $17,63^\circ$   
 eccentricità di R,  $E_c=-0,19 \text{ m}$   
 $B/6 = 0,27 \text{ m}$   
 base del muro non parzializzata  
 larghezza ridotta della fondazione,  $B'=1,22 \text{ m}$   
 Fattori del carico limite  
 $N_c=42,16$   
 $N_q=29,44$   
 $N_g=41,06$   
 Fattori di inclinazione del carico  
 $i_c=0,65$   
 $i_q=0,65$   
 $i_g=0,23$   
 Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione  
 $\alpha_c=1$   
 $\alpha_q=1$   
 $\alpha_g=1$   
 Carico limite unitario,  $q_{lim}=2,76 \text{ kg/cm}^2$   
 Carico limite,  $Q_{lim}=33.579,86 \text{ kg}$   
 Sottospinta,  $S_w=0,00 \text{ kg}$   
 Carico di esercizio,  $Q_{es}=R_n-S_w=10.304,00 \text{ kg}$   
 Coeff. di sicurezza = 3,26  
**VERIFICA SODDISFATTA**

## **VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE**

n° di cerchi analizzati = 10  
 Trattasi di SLU di tipo geotecnico  
 angolo di resistenza al taglio di progetto terreno,  $F_{id} (^\circ)=28,35$   
 coesione drenata di progetto,  $C'd=0 \text{ kg/m}^2$

**Cerchio critico:  $X_c (m)=0,94$   $Y_c (m)=3,48$   $R_c (m)=3,66$**

concio	Wt	Wq	alfa (°)	u	DX	Fsh	B	Fsv	N	T
1	33,21	0	-33,27	0	0,24	0	3,48	0	50,75	16,81
2	94,39	0	-28,93	0	0,24	0	3,48	0	132,01	43,73
3	145,7	0	-24,76	0	0,24	0	3,48	0	189,4	62,74
4	188,2	0	-20,73	0	0,24	0	3,48	0	230,09	76,21
5	222,65	0	-16,81	0	0,24	0	3,48	0	258,45	85,61
6	310,75	0	-13,03	0	0,23	0	3,48	0	345,45	114,43
7	470,46	0	-9,38	0	0,23	0	3,48	0	504,45	167,1
8	624,04	0	-5,77	0	0,23	0	3,48	0	648,94	214,96
9	771,65	0	-2,18	0	0,23	0	3,48	0	782,07	259,05
10	913,35	0	1,4	0	0,23	0	3,48	0	906,28	300,2
11	1049,15	0	4,99	0	0,23	0	3,48	0	1023,55	339,04
12	1179,01	0	8,59	0	0,23	0	3,48	0	1135,55	376,14
13	1224,6	118,11	12,22	0	0,23	0	3,48	0	1281,87	424,61
14	1201,33	118,11	15,89	0	0,23	0	3,48	0	1253,63	415,26
15	1171,55	118,11	19,63	0	0,23	0	3,48	0	1224,54	405,62
16	1134,84	118,11	23,45	0	0,23	0	3,48	0	1194,16	395,56
17	1090,63	118,11	27,4	0	0,23	0	3,48	0	1161,94	384,88
18	1038,13	118,11	31,48	0	0,23	0	3,48	0	1127,16	373,36
19	976,26	118,11	35,76	0	0,23	0	3,48	0	1088,85	360,67
20	903,46	118,11	40,28	0	0,23	0	3,48	0	1045,56	346,34
21	817,45	118,11	45,14	0	0,23	0	3,48	0	995,03	329,6
22	714,57	118,11	50,45	0	0,23	0	3,48	0	933,29	309,15
23	588,29	118,11	56,46	0	0,23	0	3,48	0	852,51	282,39
24	424,29	118,11	63,7	0	0,23	0	3,48	0	732,89	242,76
25	165,17	118,11	74,3	0	0,23	0	3,48	0	480,5	159,16

$L (m) = 7,43$

$M_{resist} = 38.667,18 \text{ kg} \cdot \text{m}$

$M_{instab} = 23.736,24 \text{ kg} \cdot \text{m}$

Coff. sicurezza del pendio (metodo di Bishop) = 1,629

VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICHE STRUTTURALI MURO (metodo agli SLU)**

**Sez. 1-1 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 2,4 m largh. sez B = 1,6 m)**

spinta dovuta al terrapieno,  $St=1.465,59 \text{ kg/m}$

spinta dovuta al sovraccarico,  $Sq=271,41 \text{ kg/m}$

spinta complessiva,  $S=1.737,00 \text{ kg/m}$

componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 2.312,38 kg

componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 8.064,00 kg

Momento ribaltante = 2.012,75 kg\*m

Momento stabilizzante = 7.884,80 kg\*m

eccentricità dello sforzo normale,  $e = -0,07 \text{ m}$  ( $u = 0,73 \text{ m}$ )

sforzo normale,  $Nx=-8.064,00 \text{ kg}$

taglio,  $Tz=-2.312,38 \text{ kg}$

momento flettente,  $My=579,15 \text{ kg*m}$

sezione non parzializzata ( $B/6 = 0,27 \text{ m}$ )

tensione normale lembo esterno sezione = 0,64 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale lembo interno sezione = 0,37 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale media = 0,5 kg/cm<sup>2</sup>

tensione tangenziale max = 0,22 kg/cm<sup>2</sup>

resistenza di progetto a taglio,  $fvd=4,08 \text{ kg/cm}^2$

Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

**Sez. 2-2 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 1,2 m largh. sez B = 1,2 m)**

spinta dovuta al terrapieno,  $St=366,40 \text{ kg/m}$

spinta dovuta al sovraccarico,  $Sq=135,70 \text{ kg/m}$

spinta complessiva,  $S=502,10 \text{ kg/m}$

componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 679,87 kg

componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 3.360,00 kg

Momento ribaltante = 312,66 kg\*m

Momento stabilizzante = 2.329,60 kg\*m

eccentricità dello sforzo normale,  $e = 0 \text{ m}$  ( $u = 0,6 \text{ m}$ )

sforzo normale,  $Nx=-3.360,00 \text{ kg}$

taglio,  $Tz=-679,87 \text{ kg}$

momento flettente,  $My=-0,94 \text{ kg*m}$

sezione non parzializzata ( $B/6 = 0,2 \text{ m}$ )

tensione normale lembo esterno sezione = 0,28 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale lembo interno sezione = 0,28 kg/cm<sup>2</sup>

tensione normale media = 0,28 kg/cm<sup>2</sup>

tensione tangenziale max = 0,08 kg/cm<sup>2</sup>

resistenza di progetto a taglio,  $fvd=4,04 \text{ kg/cm}^2$

Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

### **COMBINAZ. SISMICA (sovraccarico accidentale con coeff. di combinaz.)**

#### **VERIFICA AL RIBALTAMENTO (rispetto all'estremo di fondazione di valle)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

coeff. carichi permanenti favorevoli alla sicurezza = 1

coeff. carichi permanenti sfavorevoli alla sicurezza = 1

coeff. carichi variabili favorevoli alla sicurezza = 0

coeff. carichi variabili sfavorevoli alla sicurezza = 1

angolo di resistenza al taglio drenato di progetto terreno spingente,  $\phi_{1d}=34^\circ$

coesione drenata di progetto terreno spingente,  $c_{1d}=0 \text{ kg/m}^2$

Coeff. di spinta attiva,  $Ka=0,282715$

Coeff. di spinta a riposo,  $Ko=0,440807$

Coeff. di spinta passiva,  $Kp=3,537132$

Spinta dovuta al terrapieno,  $St=2.139,87 \text{ kg}$

componente orizzontale,  $St_h=2.139,87 \text{ kg}$

braccio componente orizzontale,  $YSt=0,97 \text{ m}$

componente verticale,  $St_v=0,00 \text{ kg}$

braccio componente verticale,  $X_{St} = 1,6 \text{ m}$   
Spinta dovuta al sovraccarico sul terzapieno,  $S_q = 196,77 \text{ kg}$   
componente orizzontale,  $S_{qh} = 196,77 \text{ kg}$   
braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq} = 1,45 \text{ m}$   
componente verticale,  $S_{qv} = 0,00 \text{ kg}$   
braccio componente verticale,  $X_{Sq} = 1,6 \text{ m}$   
Spinta complessiva,  $StT = 2.336,64 \text{ kg}$   
coeff. di spinta dinamico,  $K_d = 0,307839$   
Incremento di spinta dovuto al sisma,  $DSt = 172,87 \text{ kg}$   
componente orizzontale,  $DStH = 172,87 \text{ kg}$   
braccio componente orizzontale,  $Y_{St} = 0,97 \text{ m}$   
componente verticale,  $DStV = 0,00 \text{ kg}$   
braccio componente verticale,  $XDSt = 1,6 \text{ m}$   
Forza d'inerzia,  $Fi = 461,35 \text{ kg}$   
braccio forza d'inerzia,  $Y_{Fin} = 1,28 \text{ m}$   
Momento ribaltante,  $M_{rib} = 3.111,70 \text{ kg} \cdot \text{m}$   
Momento stabilizzante,  $M_{stab} = 9.532,38 \text{ kg} \cdot \text{m}$   
Coeff. di sicurezza = 3,06  
VERIFICA SODDISFATTA  
condizione di sisma verticale piú gravosa: dal basso verso l'alto

### **VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (piano di posa)**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico  
angolo di resistenza al taglio di progetto terreno spingente,  $Fi1d = 34^\circ$   
Coeff. di spinta attiva,  $K_a = 0,282715$   
Coeff. di spinta a riposo,  $K_o = 0,440807$   
Coeff. di spinta passiva,  $K_p = 3,537132$   
Spinta dovuta al terzapieno,  $St = 2.139,87 \text{ kg}$   
componente orizzontale,  $StH = 2.139,87 \text{ kg}$   
braccio componente orizzontale,  $Y_{St} = 0,97 \text{ m}$   
componente verticale,  $StV = 0,00 \text{ kg}$   
braccio componente verticale,  $X_{St} = 1,6 \text{ m}$   
Spinta dovuta al sovraccarico sul terzapieno,  $S_q = 196,77 \text{ kg}$   
componente orizzontale,  $S_{qh} = 196,77 \text{ kg}$   
braccio componente orizzontale,  $Y_{Sq} = 1,45 \text{ m}$   
componente verticale,  $S_{qv} = 0,00 \text{ kg}$   
braccio componente verticale,  $X_{Sq} = 1,6 \text{ m}$   
Spinta complessiva,  $StT = 2.336,64 \text{ kg}$   
coeff. di spinta dinamico,  $K_d = 0,299247$   
Incremento di spinta dovuto al sisma,  $DSt = 102,83 \text{ kg}$   
componente orizzontale,  $DStH = 102,83 \text{ kg}$   
braccio componente orizzontale,  $Y_{St} = 0,97 \text{ m}$   
componente verticale,  $DStV = 0,00 \text{ kg}$   
braccio componente verticale,  $XDSt = 1,6 \text{ m}$   
Forza d'inerzia,  $Fi = 307,57 \text{ kg}$   
braccio forza d'inerzia,  $Y_{Fin} = 1,28 \text{ m}$   
Resistenza lungo la superficie di scorrimento,  $T_{lim} = 5.860,23 \text{ kg}$   
Componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano alla base del muro,  $R_h = 2.747,04 \text{ kg}$   
coeff. di sicurezza superf. separazione muro-magrone o muro-terreno = 2,13  
VERIFICA SODDISFATTA  
condizione di sisma verticale piú gravosa: dal basso verso l'alto

### **VERIFICA AL CARICO LIMITE**

Trattasi di SLU di tipo geotecnico  
Parametri geotecnici di progetto  
angolo di resistenza al taglio drenato del terreno di fondazione,  $Fi2d (^\circ) = 34$   
coesione drenata terreno di fondazione,  $c'2d = 0 \text{ kg/mq}$   
peso dell'unità di volume del terreno superficiale,  $g_1 = 1800 \text{ kg/mc}$   
peso dell'unità di volume del terreno di fondazione,  $g_2 = 1800 \text{ kg/mc}$

risultante dei carichi in fondazione,  $R=10.828,85 \text{ kg}$   
 componente normale al piano posa fondazione,  $R_n=10.457,78 \text{ kg}$   
 componente tangenziale al piano posa fondazione,  $R_t=2.810,47 \text{ kg}$   
 angolo di inclinazione di R rispetto alla normale al piano di posa fondaz. =  $15,04^\circ$   
 eccentricità di R,  $E_c=-0,14 \text{ m}$   
 $B/6 = 0,27 \text{ m}$   
 base del muro non parzializzata  
 larghezza ridotta della fondazione,  $B'=1,32 \text{ m}$   
 Fattori del carico limite  
 $N_c=42,16$   
 $N_q=29,44$   
 $N_g=41,06$   
 Fattori di inclinazione del carico  
 $i_c=0,69$   
 $i_q=0,69$   
 $i_g=0,31$   
 Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione  
 $\alpha_c=1$   
 $\alpha_q=1$   
 $\alpha_g=1$   
 Carico limite unitario,  $q_{lim}=3,36 \text{ kg/cm}^2$   
 Carico limite,  $Q_{lim}=44.379,45 \text{ kg}$   
 Sottospinta,  $S_w=0,00 \text{ kg}$   
 Carico di esercizio,  $Q_{es}=R_n-S_w=10.457,78 \text{ kg}$   
 Coeff. di sicurezza =  $4,24$   
**VERIFICA SODDISFATTA**  
 condizione di sisma verticale più gravosa: dall'alto verso il basso

## **VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE**

n° di cerchi analizzati = 10

Trattasi di SLU di tipo geotecnico

angolo di resistenza al taglio di progetto terreno,  $F_{id} (^\circ)=28,35$

coesione drenata di progetto,  $C'd=0 \text{ kg/m}^2$

condizione di sisma verticale più gravosa: dal basso verso l'alto

**Cerchio critico:  $X_c (m)=0,94$   $Y_c (m)=3,48$   $R_c (m)=3,66$**

concio	Wt	Wq	alfa (°)	u	DX	Fsh	B	Fsv	N	T
1	33,21	0	-33,27	0	0,24	0,99	3,03	0,5	51,8	17,51
2	94,39	0	-28,93	0	0,24	2,82	3,09	1,41	134,6	45,5
3	145,7	0	-24,76	0	0,24	4,35	3,15	2,17	192,94	65,22
4	188,2	0	-20,73	0	0,24	5,62	3,2	2,81	234,21	79,18
5	222,65	0	-16,81	0	0,24	6,65	3,24	3,32	262,91	88,88
6	310,75	0	-13,03	0	0,23	9,28	3,18	4,64	351,21	118,73
7	470,46	0	-9,38	0	0,23	14,04	3,03	7,02	512,59	173,28
8	624,04	0	-5,77	0	0,23	18,63	2,88	9,31	659,09	222,81
9	771,65	0	-2,18	0	0,23	23,03	2,72	11,52	793,95	268,39
10	913,35	0	1,4	0	0,23	27,26	2,54	13,63	919,65	310,89
11	1049,15	0	4,99	0	0,23	31,32	2,37	15,66	1038,23	350,97
12	1179,01	0	8,59	0	0,23	35,19	2,18	17,6	1151,37	389,22
13	1224,6	54,51	12,22	0	0,23	38,18	2,01	19,09	1237,68	418,4
14	1201,33	54,51	15,89	0	0,23	37,49	1,99	18,74	1208,88	408,66
15	1171,55	54,51	19,63	0	0,23	36,6	1,95	18,3	1178,97	398,55
16	1134,84	54,51	23,45	0	0,23	35,5	1,9	17,75	1147,5	387,91
17	1090,63	54,51	27,4	0	0,23	34,18	1,85	17,09	1113,88	376,55
18	1038,13	54,51	31,48	0	0,23	32,61	1,79	16,31	1077,33	364,19
19	976,26	54,51	35,76	0	0,23	30,77	1,71	15,38	1036,78	350,48
20	903,46	54,51	40,28	0	0,23	28,6	1,62	14,3	990,64	334,89
21	817,45	54,51	45,14	0	0,23	26,03	1,52	13,01	936,42	316,56
22	714,57	54,51	50,45	0	0,23	22,96	1,39	11,48	869,76	294,02
23	588,29	54,51	56,46	0	0,23	19,19	1,24	9,59	781,98	264,35
24	424,29	54,51	63,7	0	0,23	14,29	1,05	7,15	651,24	220,15

25      165,17    54,51      74,3      0            0,23      6,56      0,78      3,28      374,03      126,44  
 L (m) = 7,43  
 M\_resist = 37.341,45 kg\*m  
 M\_instab = 23.393,56 kg\*m  
 Coff. sicurezza del pendio (metodo di Bishop) = 1,596  
 VERIFICA SODDISFATTA

### **VERIFICHE STRUTTURALI MURO (metodo agli SLU)**

**Sez. 1-1 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 2,4 m largh. sez B = 1,6 m)**

spinta dovuta al terrapieno,  $St=1.465,59$  kg/m  
 spinta dovuta al sovraccarico,  $Sq=162,84$  kg/m  
 spinta complessiva,  $S=1.628,44$  kg/m  
 incremento di spinta attiva dovuto al sisma,  $DSa=115,47$  kg/m  
 forza d'inerzia,  $Fi=240,71$  kg/m  
 componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 1.984,61 kg  
 componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 8.064,00 kg  
 Momento ribaltante = 1.717,01 kg\*m  
 Momento stabilizzante = 7.884,80 kg\*m  
 eccentricità dello sforzo normale,  $e = -0,04$  m ( $u = 0,76$  m)  
 sforzo normale,  $Nx=-8.064,00$  kg  
 taglio,  $Tz=-1.984,61$  kg  
 momento flettente,  $My=283,41$  kg\*m  
 sezione non parzializzata ( $B/6 = 0,27$  m)  
 tensione normale lembo esterno sezione = 0,57 kg/cm<sup>2</sup>  
 tensione normale lembo interno sezione = 0,44 kg/cm<sup>2</sup>  
 tensione normale media = 0,5 kg/cm<sup>2</sup>  
 tensione tangenziale max = 0,19 kg/cm<sup>2</sup>  
 resistenza di progetto a taglio,  $fvd=4,08$  kg/cm<sup>2</sup>  
 Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

**Sez. 2-2 (altezza terrapieno per la sezione in esame = 1,2 m largh. sez B = 1,2 m)**

spinta dovuta al terrapieno,  $St=366,40$  kg/m  
 spinta dovuta al sovraccarico,  $Sq=81,42$  kg/m  
 spinta complessiva,  $S=447,82$  kg/m  
 incremento di spinta attiva dovuto al sisma,  $DSa=31,18$  kg/m  
 forza d'inerzia,  $Fi=100,29$  kg/m  
 componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 579,29 kg  
 componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = 3.360,00 kg  
 Momento ribaltante = 264,05 kg\*m  
 Momento stabilizzante = 2.329,60 kg\*m  
 eccentricità dello sforzo normale,  $e = 0,01$  m ( $u = 0,61$  m)  
 sforzo normale,  $Nx=-3.360,00$  kg  
 taglio,  $Tz=-579,29$  kg  
 momento flettente,  $My=-49,55$  kg\*m  
 sezione non parzializzata ( $B/6 = 0,2$  m)  
 tensione normale lembo esterno sezione = 0,26 kg/cm<sup>2</sup>  
 tensione normale lembo interno sezione = 0,3 kg/cm<sup>2</sup>  
 tensione normale media = 0,28 kg/cm<sup>2</sup>  
 tensione tangenziale max = 0,07 kg/cm<sup>2</sup>  
 resistenza di progetto a taglio,  $fvd=4,04$  kg/cm<sup>2</sup>  
 Verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

### **VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO**

#### **COMBINAZ. FONDAMENTALE 1 (assenza di sovraccarico accidentale)**

Risultante dei carichi in fondazione,  $R=10.523,85$  kg  
 componente orizzontale dei carichi in fondazione,  $Rh=2.139,87$  kg  
 componente verticale dei carichi in fondazione,  $Rv=10.304,00$  kg  
 angolo di inclinazione di R rispetto alla verticale = 11,73°  
 eccentricità di R,  $Ec=-0,06$  m

limite del nocciolo centrale d'inerzia della base di fondaz.  $B/6=0,27$  m  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di valle,  $p_1=7.928,1$  kg/mq  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di monte,  $p_2=4.951,9$  kg/mq  
cedimento all'estremo di fondazione di valle,  $w_1=0,08$  cm  
cedimento all'estremo di fondazione di monte,  $w_2=0,05$  cm  
tangente dell'angolo di rotaz. della base della fondaz. =  $0,000186$  ( $\beta=0,01^\circ$ )  
Verifica allo S.L.E. soddisfatta

### **COMBINAZ. FONDAMENTALE 2 (presenza di sovraccarico accidentale)**

Risultante dei carichi in fondazione,  $R=10.595,40$  kg  
componente orizzontale dei carichi in fondazione,  $R_h=2.467,82$  kg  
componente verticale dei carichi in fondazione,  $R_v=10.304,00$  kg  
angolo di inclinazione di R rispetto alla verticale =  $13,47^\circ$   
eccentricità di R,  $E_c=-0,11$  m  
limite del nocciolo centrale d'inerzia della base di fondaz.  $B/6=0,27$  m  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di valle,  $p_1=9.042,7$  kg/mq  
pressione di contatto all'estremo di fondazione di monte,  $p_2=3.837,3$  kg/mq  
cedimento all'estremo di fondazione di valle,  $w_1=0,09$  cm  
cedimento all'estremo di fondazione di monte,  $w_2=0,04$  cm  
tangente dell'angolo di rotaz. della base della fondaz. =  $0,000325$  ( $\beta=0,02^\circ$ )  
Verifica allo S.L.E. soddisfatta

### **COMBINAZ. SISMICA (sovraccarico accidentale con coeff. di combinaz.)**

accelerazione orizz. max attesa al sito,  $a_{max}=0,402$  m/s<sup>2</sup>  
accelerazione critica,  $a_c=4,796$  m/s<sup>2</sup>  
rapporto  $a_c/a_{max}=11,94$   
velocità orizz. max attesa al sito,  $V_{max}=0,0205$  m/s  
spostamento permanente indotto dal sisma =  $0$  cm  
Verifica allo S.L.E. soddisfatta

---

---

---