



**STUDIO MACRI'
TECNICI ASSOCIATI**

Progetti integrati
d' Ingegneria
ed Architettura

RECAPITI e - mail:
studiomacriz@outlook.com
studiomacriassociati@hotmail.it
[pec: domenico.macri1@ingpec.eu](mailto:pec:domenico.macri1@ingpec.eu)

SEDE OPERATIVA ED
AMM.VA
Centro Lucrezia della Valle
Via Lucrezia della Valle n.19/40

88100 CATANZARO (CZ)

Tel. e Fax 0961 753475

COMUNE DI CARDINALE

(PROVINCIA DI CATANZARO)

PERIZIA DI VARIANTE E SUPPLETIVA

DATA:		
FEBBRAIO 2026	PROGETTISTA :	DIRETTORE DEI LAVORI:
	ING. DOMENICO MACRI'	ING. DOMENICO MACRI'

	TITOLO DEL PROGETTO:
	INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DELLE PENDICI SOVRASTANTI IL CENTRO STORICO DEL COMUNE DI CARDINALE – CODICE CZ042A/10.

Prot. Dis.	Modifiche:	1
	Sostituisce il N.	2
	Sostituito dal N.	3
ALL. N.	Oggetto del Disegno:	
A7.1.	OPERE DI SOSTEGNO ZONA MARCHESE - RELAZIONE GEOTECNICA - VARIANTE	
4.V		

SCALA:	ENTE APPALTANTE:
	COMMISSARIO DEL GOVERNO per il contrasto dissesto R. Calabria- info@pec.dissestocalabria.it
	RESPONSABILE U.P. – Geom. A. FALVO- e-mail: a.falvo@dissestocalabria.it

A TERMINI DI LEGGE – ART. 2578 DEL C.C. CI RISERVIAMO L'ESCLUSIVA PROPRIETA' DI QUESTO ELABORATO TECNICO, CON DIVIETO DI COPIARLO O RIPRODURLO SENZA IL NOSTRO CONSENSO SCRITTO

MURO DI SOSTEGNO in c.a. ANCORATO altezza 6.60 ml.

Progetto: Muro di sostegno altezza 6.6 m
Ditta:
Comune: Cardinale (CZ)
Progettista: ing. Macrì
Direttore dei Lavori: ing. Macrì
Impresa:

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

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

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

- Calcolo della spinta del terreno

- Verifica a ribaltamento

- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa

- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)

- Verifica della stabilità globale

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

Verifica al carico limite

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

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

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_q \geq 1.0$
Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione

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

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \tan \phi}$$

$$N_q = A \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

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

Fattori di profondità

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

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

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

Fattori di inclinazione

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

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

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

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \phi = 0$$

Verifica alla stabilità globale

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

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

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

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

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

dove il termine m è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

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

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

FONDAZIONE SUPERFICIALE

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

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

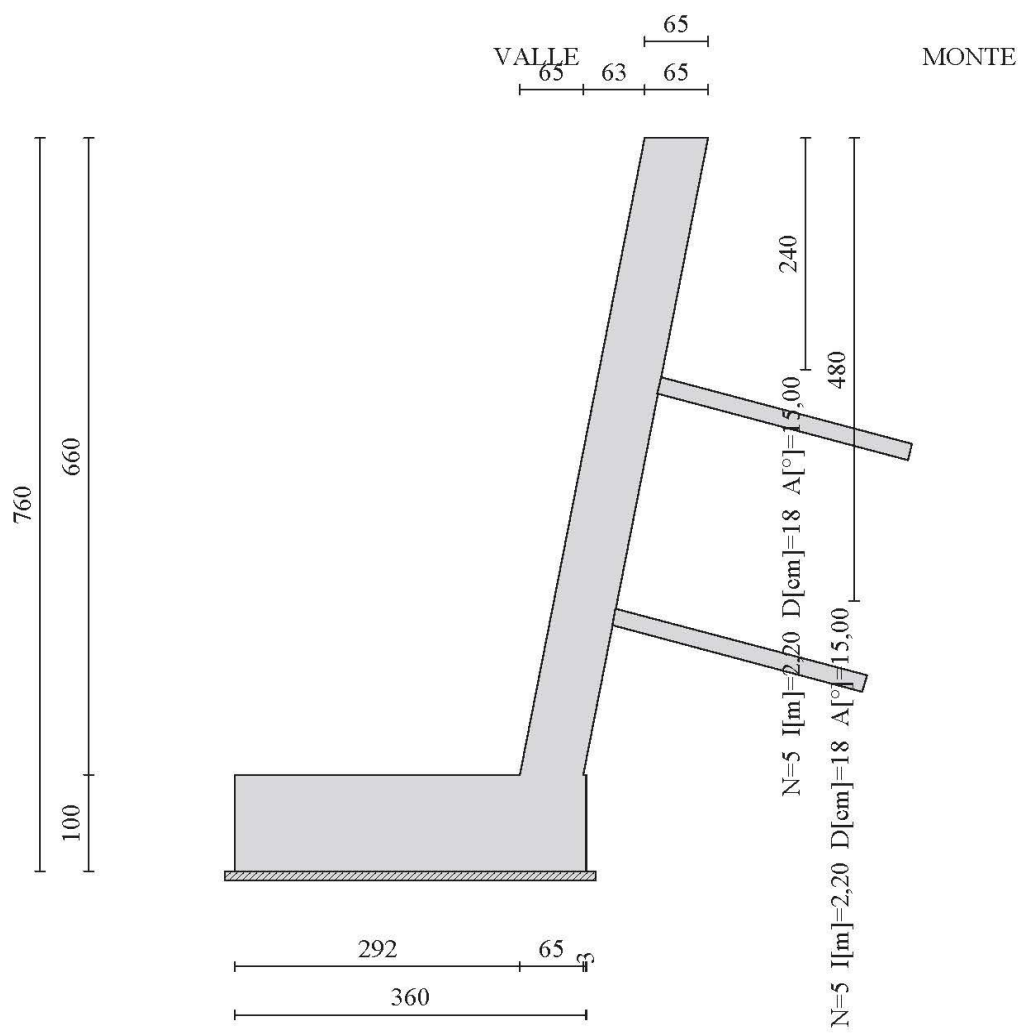
TIRANTI DI ANCORAGGIO

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche dei tiranti

Resistenza	Tiranti
Laterale γ_{st}	1,20

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

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



Geometria muro e fondazione

Descrizione **Muro a mensola in c.a.**

Altezza del paramento	6,60 [m]
Spessore in sommità	0,65 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,65 [m]
Inclinazione paramento esterno	11,00 [°]
Inclinazione paramento interno	-11,00 [°]
Lunghezza del muro	11,00 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	2,92 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0,03 [m]
Lunghezza totale fondazione	3,60 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [°]
Spessore fondazione	1,00 [m]
Spessore magrone	0,10 [m]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata e sistema di riferimento

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

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	1,00	0,00	0,00
2	10,00	0,00	0,00

Terreno a valle del muro

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

Falda

Quota della falda a monte del muro rispetto al piano di posa della fondazione	2,00 [m]
Quota della falda a valle del muro rispetto al piano di posa della fondazione	0,00 [m]

Descrizione terreni

Simbologia adottata

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

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a	σ_d
Terreno 1	19,00	20,00	38,00	25.33	0,0	0,0	280
Terreno 2	19,00	20,00	38,00	25.33	0,0	0,0	350

Parametri medi

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a	σ_d
Terreno 1	19,00	20,00	38,00	25.33	0,0	0,0	280
Terreno 2	19,00	20,00	38,00	25.33	0,0	0,0	350

Parametri minimi

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a	σ_d
Terreno 1	19,00	20,00	38,00	25.33	0,0	0,0	280
Terreno 2	19,00	20,00	38,00	25.33	0,0	0,0	350

Stratigrafia

Simbologia adottata

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

Nr.	H	α	Kw	Ks	Terreno
1	12,00	0,00	11,88	0,00	Terreno 1

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

X	Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
F_x	Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]
F_y	Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]
M	Momento espresso in [kNm]
X_i	Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]

X_f Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
 Q_i Intensità del carico per $x=X_i$ espressa in [kN/m]
 Q_f Intensità del carico per $x=X_f$ espressa in [kN/m]
 D / C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

Condizione n° 1 (Condizione 1)

D Profilo $X_i=0,20$ $X_f=2,30$ $Q_i=10,0000$ $Q_f=10,0000$

Impostazioni di analisi

Calcolo della portanza metodo di Meyerhof

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

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

Impostazioni avanzate

Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni

Terreno a monte a elevata permeabilità

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

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 18

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W peso della striscia espresso in [kN]

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

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

c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro $X[m]= 0,00$ $Y[m]= 5,15$

Raggio del cerchio $R[m]= 13,64$

Ascissa a valle del cerchio $X_i[m]= -6,95$

Ascissa a monte del cerchio $X_s[m]= 12,64$

Larghezza della striscia $dx[m]= 0,78$

Coefficiente di sicurezza $C= 1.54$

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W \sin \alpha$	$b / \cos \alpha$	ϕ	c	u
1	11,8861	63.87	10,6709	0,0174	38.00	0	0

2	32,8631	57.32	27,6609	0,0142	38.00	0	0
3	49,3169	51.62	38,6596	0,0124	38.00	0	0
4	62,8408	46.57	45,6382	0,0112	38.00	0	0
5	74,2462	41.96	49,6462	0,0103	38.00	0	0
6	84,0701	37.67	51,3774	0,0097	38.00	0	0
7	92,8466	33.61	51,4004	0,0092	38.00	0	6
8	100,4349	29.74	49,8259	0,0088	38.00	0	11
9	106,9383	26.02	46,9040	0,0085	38.00	0	15
10	112,4649	22.40	42,8628	0,0083	38.00	0	18
11	117,0952	18.88	37,8967	0,0081	38.00	0	21
12	120,8900	15.44	32,1763	0,0080	38.00	0	23
13	123,8949	12.05	25,8553	0,0079	38.00	0	25
14	126,1439	8.70	19,0748	0,0078	38.00	0	27
15	127,6609	5.38	11,9674	0,0077	38.00	0	28
16	128,4617	2.08	4,6597	0,0077	38.00	0	28
17	133,3801	-1.21	-2,8273	0,0077	38.00	0	9
18	108,8013	-4.51	-8,5592	0,0077	38.00	0	8
19	44,5568	-7.82	-6,0659	0,0078	38.00	0	7
20	28,7595	-11.16	-5,5682	0,0078	38.00	0	6
21	26,0151	-14.54	-6,5320	0,0079	38.00	0	4
22	22,5326	-17.97	-6,9527	0,0081	38.00	0	2
23	15,4056	-21.47	-5,6391	0,0083	38.00	0	0
24	8,9727	-25.06	-3,8002	0,0085	38.00	0	0
25	3,0466	-28.75	-1,4655	0,0088	38.00	0	0

$\Sigma W_i = 1863,5249$ [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 498,8665$ [kN]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 1455,9452$ [kN]

$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 6.57$

Analisi dei tiranti

Combinazione n° 18

Nr.	numero della fila
Nt	numero di tiranti della fila
D	diametro dei tiranti della fila espresso in cm
α	inclinazione dei tiranti della fila espressa gradi
N	sforzo in ogni tirante della fila espresso in [kN]
L_f	lunghezza di fondazione del tirante espressa in [m]
L	lunghezza totale del tirante espressa in [m]
σ_f	tensione nell'acciaio del tirante espressa in [kPa]

Nr.	NT	D	α	N	L_f	L	σ_f
1	5	18,00	15.00	550,00	6,84	14,00	791367
2	5	18,00	15.00	650,00	8,08	12,20	935252

COMBINAZIONE n° 19

Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica	90,8929	[kN]	
Componente orizzontale della spinta statica	87,3856	[kN]	
Componente verticale della spinta statica	25,0056	[kN]	
Punto d'applicazione della spinta	X = -0,79	[m]	Y = -4,82 [m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	25,33	[°]	
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	58,14	[°]	
Incremento sismico della spinta	277,4409	[kN]	
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = -0,63	[m]	Y = -3,80 [m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	32,20	[°]	
Spinta falda	19,6136	[kN]	
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = -1,25	[m]	Y = -6,93 [m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	13,7836	[kN]	
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = -0,84	[m]	Y = -4,69 [m]
Inerzia del muro	71,6247	[kN]	
Inerzia verticale del muro	35,8124	[kN]	
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	5,1037	[kN]	
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	2,5518	[kN]	
Sforzo tiranti in direzione X	-439,0572	[kN]	
Sforzo tiranti in direzione Y	117,6450	[kN]	
Punto d'applicazione dello sforzo dei tiranti	X = -1,37	[m]	Y = -3,70 [m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	11,4056	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	464,5647	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	464,5647	[kN]

Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	11,4056	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,60	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Risultante in fondazione	464,7047	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	1,41	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-278,7388	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	604,8000	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,00	[kPa]
Tensione terreno allo spigolo di monte	258,09	[kPa]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.46
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	1.30

Analisi dei tiranti

Combinazione n° 19

Nr.	numero della fila
Nt	numero di tiranti della fila
D	diametro dei tiranti della fila espresso in cm
α	inclinazione dei tiranti della fila espressa gradi
N	sforzo in ogni tirante della fila espresso in [kN]
L_f	lunghezza di fondazione del tirante espressa in [m]
L	lunghezza totale del tirante espressa in [m]
σ_f	tensione nell'acciaio del tirante espressa in [kPa]

Nr.	NT	D	α	N	L_f	L	σ_f
1	5	18,00	15.00	550,00	6,84	14,00	791367
2	5	18,00	15.00	650,00	8,08	12,20	935252

COMBINAZIONE n° 20

Valore della spinta statica	90,8929	[kN]	
Componente orizzontale della spinta statica	87,3856	[kN]	
Componente verticale della spinta statica	25,0056	[kN]	
Punto d'applicazione della spinta	X = -0,79	[m]	Y = -4,82 [m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	25,33	[°]	
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	58,14	[°]	
Incremento sismico della spinta	351,2302	[kN]	
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = -0,63	[m]	Y = -3,80 [m]

Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	25,89	[°]	
Spinta falda	19,6136	[kN]	
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = -1,25	[m]	Y = -6,93 [m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	13,7836	[kN]	
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = -0,84	[m]	Y = -4,69 [m]
Inerzia del muro	71,6247	[kN]	
Inerzia verticale del muro	-35,8124	[kN]	
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	5,1037	[kN]	
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	-2,5518	[kN]	
Sforzo tiranti in direzione X	-439,0572	[kN]	
Sforzo tiranti in direzione Y	117,6450	[kN]	
Punto d'applicazione dello sforzo dei tiranti	X = -1,37	[m]	Y = -3,70 [m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	82,3475	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	408,1365	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	408,1365	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	82,3475	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0,60	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Risultante in fondazione	416,3611	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	11,41	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-244,8819	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	604,8000	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,00	[kPa]
Tensione terreno allo spigolo di monte	226,74	[kPa]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.21
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	1.48