



COMUNE DI CAIRANO
PROVINCIA DI AVELLINO

PROGETTO ESECUTIVO

**REALIZZAZIONE DELLA STRADA COMUNALE
CAIRANO – S.S. OFANTINA AREE INDUSTRIALI
“2° LOTTO DI COMPLETAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA”**

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE D'ARTI, GEOTECNICA
E ANALISI DI STABILITA' GLOBALE**

Titolo tavola / Elaborato

Maggio 2018

Tavola 10

**Il tecnico
Ing. Michele Squarciafico**



REGIONE CAMPANIA

SETTORE PROV. LE DEL GENIO CIVILE - AVELLINO

Progetto costituito in data 9 all'atto, depositato presso questo settore in data 02 AGO. 2006

N. 63150 ai sensi dall'art. 2 della legge regionale e dell'art. 4 della legge 5-11-71 n. 1056.

L'inizio dei lavori è subordinato all'acquisizione della netta attestante l'avvenuto deposito.



IL DIRIGENTE DEL SETTORE

Provincia di Avellino

Settore Viabilità

Lavori di ristrutturazione ed ammodernamento della strada "Cairano Ofantina" in agro del Comune di Cairano (Av)

Tavola n° 5

RELAZIONE DI CALCOLO, GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI

IL PROGETTISTA E DIRETTORE DEI LAVORI.
Ing. Amato NITTOLI



IL COMMITTENTE
Dirigente settore LL. PP.
Ing. Liliana MONACO



IL COLLAUDATORE IN C.O.
Arch. Michele COLUCCI



RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO IN C.A.

Normativa di riferimento

Per le fasi di calcolo viene fatto riferimento alla normativa:

- I) Provvedimenti per le costruzioni con prescrizioni per zone sismiche (Legge 2/2/74, D.M. 16/1/96 e D.M. 11/3/1988)
- II) Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi (D.M. 16/1/96)
- III) Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, e strutture metalliche (Legge 5/11/71, n.1086 e D.M. 14/2/92)

Con particolare riferimento al:

D.M. 11/3/88; 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Calcolo della spinta attiva con Coulomb

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

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

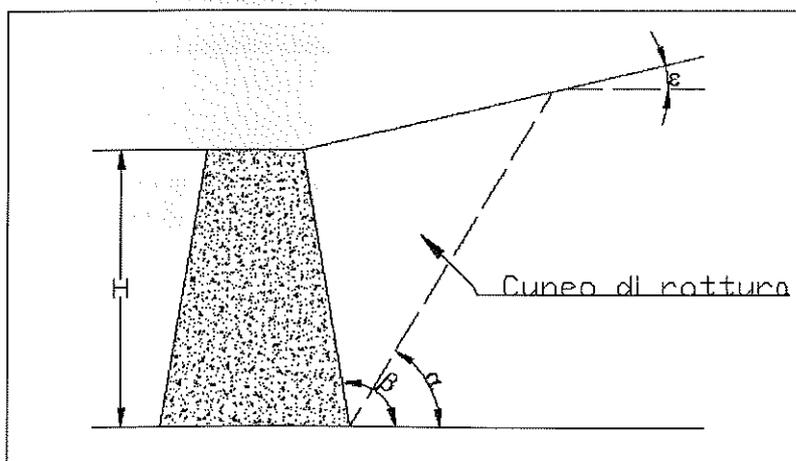
$$P_t = K_a \times \gamma_t \times z$$

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

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

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\beta - \phi)}{\text{sen}^2\beta \times \text{sen}^2(\beta + \delta) \times \left[1 + \frac{\text{sen}(\delta + \phi) \times \text{sen}(\phi - \varepsilon)}{\text{sen}(\beta + \delta) \times \text{sen}(\beta - \varepsilon)} \right]^2}$$



Valori limiti di K_A :

$$\delta < (\beta - \phi - \varepsilon) \text{ secondo Muller-Breslau}$$

- γ_t = Peso unità di volume del terreno;
 β = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;
 ϕ = Angolo di resistenza al taglio del terreno;
 δ = Angolo di attrito terra muro;
 ε = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;
 H = Altezza della parete.

Calcolo della spinta attiva con Rankine

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

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

che coincide con l'equazione di Rankine per il calcolo della spinta attiva del terreno con terrapieno orizzontale. In effetti Rankine adottò essenzialmente le stesse ipotesi fatte da Coulomb, ad eccezione del fatto che trascurò l'attrito terra-muro e la presenza di coesione. Nella sua formulazione generale l'espressione di K_a di Rankine si presenta come segue:

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

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

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

$$\operatorname{tg} \theta = k_H / (1 - k_V)$$

con k_H accelerazione sismica orizzontale e k_V accelerazione sismica verticale.

Effetto dovuto alla coesione

La coesione induce delle pressioni negative costanti pari a:

$$P_c = -2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

Non essendo possibile stabilire a priori quale sia il decremento indotto nella spinta per effetto della coesione, è stata calcolata un'altezza critica Z_c come segue:

$$Z_c = \frac{2 \times c}{\gamma} \times \frac{1}{\sqrt{K_A}} - \frac{Q \times \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}}{\gamma}$$

dove

Q = Carico agente sul terrapieno;

Se $Z_c < 0$ è possibile sovrapporre direttamente gli effetti, con decremento pari a:

$$S_c = P_c \times H$$

con punto di applicazione pari a $H/2$;

Carico uniforme sul terrapieno

Un carico Q , uniformemente distribuito sul piano campagna induce delle pressioni costanti pari a:

$$P_q = K_A \times Q \times \text{sen} \beta / \text{sen}(\beta + \varepsilon)$$

Per integrazione, una spinta pari a S_q :

$$S_q = K_a \cdot Q \cdot H \frac{\text{sen} \beta}{\text{sen}(\beta + \varepsilon)}$$

Con punto di applicazione ad $H/2$, avendo indicato con K_a il coefficiente di spinta attiva secondo *Muller-Breslau*.

Spinta attiva in condizioni sismiche

In presenza di sisma vengono considerati due contributi:

- 1) Un incremento di spinta D_s pari alla differenza tra la spinta sismica S_s e quella statica S_t

$$S_s = A \times S'$$

$$D_s = S_s - S_t$$

$$A = \frac{\text{sen}^2(\beta - t)}{\cos^2 \beta \cdot \cos t}$$

$$t = \text{arctg } C$$

C = Coefficiente di intensità sismica:

S' = Spinta sismica calcolata staticamente per $\varepsilon' = \varepsilon + t$ e $\beta' = \beta + t$.

Tale incremento di spinta è applicato ad un'altezza dalla base dell'opera pari a $2/3 \times H$.

- 2) Una forza d'inerzia orizzontale, applicata nel baricentro della opera di sostegno, calcolata come:

$$S_i = C \times W$$

W = Peso del muro.

Spinta in presenza di falda acquifera

La falda con superficie distante H_w dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \times z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = 1/2 \times \gamma_w \times H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con γ'_t ($\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

In condizioni sismiche la sovrappinta esercitata dall'acqua viene valutata nel seguente modo:

$$D_{sw} = \frac{7}{12} \cdot \gamma_w \cdot H_w^2 \cdot C$$

applicata ad $2/3$ dell'altezza della falda H_w [*Matsuo O'Hara (1960) Geotecnica, R. Lancellotta*]

Resistenza passiva

Per terreno omogeneo il diagramma delle pressioni risulta lineare del tipo:

$$P_t = K_p \times \gamma \times z$$

per integrazione si ottiene la spinta passiva:

$$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p$$

Avendo indicato con:

$$K_p = \frac{\text{sen}^2(\phi + \beta)}{\text{sen}^2\beta \times \text{sen}(\beta - \delta) \times \left[1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\delta + \phi) \times \text{sen}(\phi + \varepsilon)}{\text{sen}(\beta - \delta) \times \text{sen}(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

(Muller-Breslau) con valori limiti di δ pari a:

$$\delta < \beta - \phi - \varepsilon$$

L'espressione di K_p secondo la formulazione di Rankine assume la seguente forma:

$$K_p = \frac{\cos \varepsilon + \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}{\cos \varepsilon - \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}$$

Analisi di stabilità globale

La stabilità globale determina il grado di sicurezza del complesso muro-terrapieno nei confronti di scorrimenti lungo superfici potenziali di rottura.

Il fattore di sicurezza può essere espresso secondo il metodo ordinario delle strisce come segue:

$$F_s = \frac{\sum c \cdot l + \sum [(W + Q + F) \cdot \cos \alpha - K_s \cdot (W + Q + F) \cdot \text{sen} \alpha + F_0 \text{sen} \alpha \cdot l \cdot u] \cdot \tan \phi}{\sum [(W + Q + F) \cdot \text{sen} \alpha + K_s \cdot (W + Q + F) \cdot \frac{e_s}{r_0}] - \sum (F_0 \cdot \frac{e_t}{r_0})}$$

- W = Peso del concio generico;
- Q = Carico distribuito;
- F = Carico concentrato;
- $K_s \times W$ = Forza inerziale;
- K_s = Coefficiente di intensità sismica;
- l = Lunghezza della base del concio generico;
- α = Angolo fra la base del concio ed il piano orizzontale;
- c = Coesione del terreno;
- ϕ = Angolo di resistenza al taglio del terreno;
- r_0 = Raggio superficie di scorrimento generica;
- u = Pressione indotta dalla falda;
- F_0 = Carico orizzontale indotto dai tiranti;
- e_t = Eccentricità della forza di ancoraggio rispetto al centro di rotazione;
- e_s = Eccentricità delle forze sismiche rispetto al centro di rotazione.

Sollecitazioni muro

Per il calcolo delle sollecitazioni il muro è stato discretizzato in n-tratti in funzione delle sezioni significative e per ogni tratto sono state calcolate le spinte del terreno (valutate secondo un piano di rottura

passante per il paramento lato monte), le risultanti delle forze orizzontali e verticali e le forze inerziali.

Calcolo delle spinte per le verifiche globali

Le spinte sono state valutate ipotizzando un piano di rottura passante per l'estradosso della mensola di fondazione lato monte, tale piano è stato discretizzato in n -tratti.

Convenzione segni

Forze verticali positive se dirette dall'alto verso il basso;
Forze orizzontali positive se dirette da monte verso valle;
Coppie positive se antiorarie;
Angoli positivi se antiorari.

Analisi palo di fondazione

Convenzioni

- La forza verticale F_y , positiva se diretta verso il basso.
- La forza orizzontale F_x positiva da sinistra verso destra.
- La coppia M è positiva se produce spostamenti concordi con quelli della forza orizzontale F_x .

Analisi del palo in condizioni di esercizio: Modello di Winkler

Il modello di Winkler consente di tenere conto in modo semplice della variabilità delle proprietà meccaniche del terreno e delle stratificazioni.

In presenza di mezzo omogeneo (K costante) è stata adottata la classifica di Hetényi che distingue tre possibili comportamenti del palo su mezzo alla Winkler, in funzione del valore che assume la rigidità relativa (λ) terreno palo ossia:

palo di tipo corto o rigido, palo relativamente flessibile, palo infinitamente flessibile

Carico limite verticale

Il carico limite verticale è stato calcolato con le formule statiche, che esprimono il medesimo in funzione della geometria del palo e delle caratteristiche del terreno e dell'interfaccia palo-terreno.

Ai fini del calcolo, il carico limite Q_{lim} viene convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta Q_p e la resistenza laterale Q_s .

Resistenza unitaria alla punta

Formula di Terzaghi

La soluzione proposta da Terzaghi assume che il terreno esistente al disopra della profondità raggiunta dalla punta del palo possa essere sostituito da un sovraccarico equivalente pari alla tensione verticale efficace (trascurando pertanto il fatto che l'interazione tra palo e terreno di fondazione possa modificare tale valore) e riconduce l'analisi al problema di capacità portante di una fondazione superficiale.

La formula di Terzaghi può essere scritta:

$$Q_p = c \times N_c \times s_c + \gamma \times L \times N_q + 0.5 \times \gamma \times D \times N_\gamma \times s_\gamma$$

dove:

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2(45 + \varphi/2)}$$

$$a = e^{(0.75\pi - \varphi/2) \tan \varphi}$$

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

$$N_\gamma = \frac{\tan \varphi}{2} \left(\frac{K_{py}}{\cos^2 \varphi} - 1 \right)$$

Metodo di Berezantzev

Fondamentalmente *Berezantzev* fa riferimento ad una superficie di scorrimento "alla Terzaghi" che si arresta sul piano di posa (punta del palo); tuttavia egli considera che il cilindro di terreno coassiale al palo ed avente diametro paria all'estensione in sezione della superficie di scorrimento sia in parte "sostenuto" per azione tangenziale dal rimanente terreno lungo la superficie laterale. Ne consegue un valore della pressione alla base inferiore a γD , e tanto minore quanto più questo "effetto silo" è marcato, cioè quanto più grande è il rapporto D/B ; di ciò tiene conto il coefficiente N_q , che quindi è funzione decrescente di D/B .

La resistenza unitaria Q_p alla punta, per il caso di terreno dotato di attrito (φ) e di coesione (c), è data dall'espressione:

$$Q_p = c \times N_c + \gamma \times L \times N_q$$

Avendo indicato con:

γ peso unità di volume del terreno;

L lunghezza del palo;

N_c e N_q sono i fattori di capacità portante già comprensivi dell'effetto forma (circolare);

Metodo di Vesic

Vesic ha assimilato il problema della rottura intorno alla punta del palo a quello di espansione di una cavità cilindrica in mezzo elasto-plastico, in modo da tener conto anche della compressibilità del mezzo.

Secondo *Vesic* i coefficienti di capacità portante N_q e N_c si possono calcolare come segue:

$$N_q = \frac{3}{3 - \sin \phi} \left\{ \exp \left[\left(\frac{\pi}{2} - \phi \right) \tan \phi \right] \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) I_{rr}^{(4 \sin \phi) / [3(1 + \sin \phi)]} \right\}$$

L'indice di rigidezza ridotto I_{rr} nella precedente espressione viene calcolato a partire dalla deformazione volumetrica ε_v .

L'indice di rigidezza I_r si calcola utilizzando il modulo di elasticità tangenziale G' e la resistenza a taglio s del terreno.

Quando si hanno condizioni non drenate o il suolo si trova in uno stato raddensato, il termine ε_v può essere assunto pari a zero e si ottiene $I_{rr} = I_r$.

E' possibile fare una stima di I_r con i valori seguenti:

TERRENO	I_r
Sabbia	75-150
Limo	50-75
Argilla	150-250

Il termine N_c della capacità portante viene calcolato:

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

Quando $\phi=0$ (condizioni non drenate)

$$N_c = \frac{4}{3} (\ln I_{rr} + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$$

Metodo di Janbu

Janbu calcola N_q (con l'angolo ψ espresso in radianti) come segue:

$$N_q = \left(\tan \phi + \sqrt{1 + \tan^2 \phi} \right)^2 \exp(2\psi \tan \phi)$$

N_c si può ricavare dalla (a) quando $\phi > 0$.

Per $\phi = 0$ si usa $N_c = 5.74$

Formula di Hansen

La formula di Hansen vale per qualsiasi rapporto D/B , quindi sia per fondazioni superficiali che profonde, ma lo stesso autore introdusse dei coefficienti per meglio interpretare il comportamento reale della fondazione, senza di essi, infatti, si avrebbe un aumento troppo forte del carico limite con la profondità.

Per valori $L/D > 1$:

$$d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1} \frac{L}{D}$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \frac{L}{D}$$

Nel caso $\phi = 0$

$\frac{D}{B}$	0	1	1.1	2	5	10	20	100
d'_c	0	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
		0	3	4	5	9	1	2

Nei fattori seguenti le espressioni con apici (') valgono quando $\phi=0$.

Fattore di forma:

$$s'_c = 0.2 \frac{D}{L}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q D}{N_c L}$$

$$s_q = 1 + \frac{D}{L} \tan \phi$$

$$s_q = 1 + \frac{D}{L} \tan \phi$$

$$s_y = 1 - 0.4 \frac{D}{L}$$

Fattore di profondità:

$$d'_c = 0.4k$$

$$d_c = 1 + 0.4k$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi) k$$

$$d_y = 1 \text{ per qualsiasi } \phi$$

$$k = \tan^{-1} \frac{L}{D} \text{ se } \frac{L}{D} > 1$$

Resistenza del fusto

Il metodo utilizzato per il calcolo della capacità portante laterale è il metodo A, proposto da Tomlinson (1971); la resistenza laterale viene calcolata nel seguente modo:

$$f_s = Ac + qK \tan \delta$$

c = valore medio della coesione o della resistenza a taglio in condizioni non drenate.

q = pressione verticale del terreno

K = coefficiente di spinta orizzontale dipendente dalla tecnologia del palo e dal precedente stato di addensamento calcolato come segue:

Per pali infissi

$$K = 1 + \tan^2 \phi$$

Per pali trivellati

$$K = 1 - \tan^2 \phi$$

δ attrito palo terreno funzione della scabrezza della superficie del palo

Per pali infissi

$$\delta = 3/4 \tan \phi$$

Per pali trivellati

$$\delta = \tan \phi$$

α è un coefficiente ricavato come di seguito riportato:

Coefficiente α per palo infisso	
$c < 0.25$	$\alpha = 1.00$
$0.25 < c < 0.5$	$\alpha = 0.85$
$0.5 < c < 0.75$	$\alpha = 0.65$
$0.75 < c < 2.4$	$\alpha = 0.50$
$c > 2.4$	$\alpha = 1.2 / c$

Coefficiente α per palo trivellato	
$c < 0.25$	$\alpha = 0.9$
$0.25 < c < 0.5$	$\alpha = 0.8$
$0.5 < c < 0.75$	$\alpha = 0.6$
$0.75 < c < 2$	$\alpha = 0.4$
$c > 2$	$\alpha = 0.8 / c$

Inoltre

a) Secondo le indicazioni di Okamoto, in presenza di effetti sismici la resistenza laterale viene ridotta in funzione del coefficiente sismico k_h come segue:

$$C_{coeffrid} = 1 - k_h$$

b) Per i pali trivellati sia le caratteristiche di resistenza (c, ϕ) sia il coefficiente del modulo orizzontale del terreno sono stati ridotti del 10%.

c) In caso azioni di trazione il carico alla punta è nullo mentre quello laterale è stato ridotto al 70%.

d) Nel coefficiente di sicurezza verticale si è tenuto in debito conto anche del peso palo.

Cedimenti

Il cedimento verticale è stato calcolato con il metodo Davis-Poulos, secondo il quale il palo viene considerato rigido (indeformabile) immerso in un mezzo elastico, semispazio o strato di spessore finito.

Si ipotizza che l'interazione palo terreno sia costante a tratti lungo n superfici cilindriche in cui viene suddivisa la superficie laterale del palo.

Il cedimento della generica superficie i per effetto del carico trasmesso dal palo al terreno lungo la superficie j esima può essere espresso:

$$W_{i,j} = (\tau_j / E) \times B \times I_{i,j}$$

Avendo indicato con:

τ_j = Incremento di tensione relativo al punto medio della striscia

E = Modulo elastico del terreno

B = Diametro del palo

$I_{i,j}$ = Coefficiente di influenza

Il cedimento complessivo si ottiene sommando $W_{i,j}$ per tutte le j aree

Carico limite orizzontale

Il carico limite orizzontale è stato calcolato secondo la teoria sviluppata da Broms il quale assume che il comportamento dell'interfaccia palo-terreno sia di tipo rigido perfettamente plastico, e cioè che la resistenza del terreno si mobiliti interamente per un qualsiasi valore non nullo dello spostamento a rimanga costante al crescere dello spostamento stesso.

Si assume che il comportamento flessionale del palo sia di tipo rigido-perfettamente plastico, vale a dire che le rotazioni elastiche del palo sono trascurabili finché il momento flettente non attinge al valore M_y di plasticizzazione.

Per i terreni coesivi Broms propone di adottare una reazione del terreno costante con la profondità pari a:

$$p = 9 \times c_u \times B$$

con reazione nulla fino alla profondità di 1.5 d ;

avendo indicato con:

c_u Coesione non drenata,

B Diametro del palo

p Reazione del terreno.

Per i terreni incoerenti si assume che la resistenza vari linearmente con la profondità secondo la legge:

$$P = 3K_p \gamma zB$$

avendo indicato con:

P Carico limite orizzontale;

K_p Coefficiente di spinta passiva;

γ Peso unità di volume del terreno

z Profondità.

B Diametro del palo

Palo in condizioni di esercizio

Il palo in condizioni di esercizio è stato esaminato con il modello di *Winkler*.

Tale modello consente di tenere conto in modo semplice della variabilità delle caratteristiche meccaniche del terreno.

Si ipotizza che in ogni punto del palo esista proporzionalità tra la pressione esercitata dal terreno p e lo

spostamento v :

$$p = k_h \times v$$

k_h rappresenta il coefficiente di sottofondo orizzontale.

L'espressione di sopra si combina con l'equazione differenziale che descrive il comportamento della trave di fondazione,

$$E_f J \frac{d^4 v}{dx^4} = q(x) - p(x)$$

dove $p(x)$ è la pressione di contatto terreno-fondazione e $q(x)$ il carico distribuito, generando, per carichi concentrati ($q(x) = 0$), la ben nota equazione differenziale di Winkler il cui integrale generale è:

$$v = e^{x/\lambda} \left(A \cos \frac{x}{\lambda} + B \sin \frac{x}{\lambda} \right) + e^{-x/\lambda} \left(C \cos \frac{x}{\lambda} + D \sin \frac{x}{\lambda} \right)$$

in cui A, B, C e D sono costanti da determinare imponendo opportune condizioni al contorno e λ è detta lunghezza caratteristica.

La caratteristica λ del sistema ha espressioni diverse a seconda della legge di variazione di k .

Per mezzo omogeneo (k costante):

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k \cdot B}{4 \cdot E \cdot I}}$$

Per k lineare con la profondità:

$$\lambda = \sqrt[5]{\frac{k_{hb}}{E \cdot I}}$$

Avendo indicato con:

k Modulo di Winkler

k_{hb} Coefficiente di sottofondo orizzontale del palo di dimensione b alla profondità b

I Momento d'inerzia della sezione trasversale;

E Modulo di Young del materiale del palo;

B Diametro del palo;

Nel caso di k costante:

$D\lambda < \pi/4$	Palo corto o rigido
$\pi/4 < D\lambda < \pi$	Palo relativamente flessibile
$\pi < D\lambda$	Palo lungo o infinitamente flessibile

Nel caso di k lineare con la profondità:

$D\lambda < 2$	Palo corto o rigido
$2 < D\lambda < 4$	Palo relativamente flessibile
$D\lambda > 4$	Palo lungo o infinitamente flessibile

Una volta determinato v , si ottiene la reazione del terreno ($p = kv$), il momento flettente ($M = E_f J d^2 v / dx^2$) e il taglio ($T = E_f J d^3 v / dx^3$).

Verifica della sezione

La verifica della sezione del palo è stata effettuata nei punti di massima sollecitazione tra cui la testa del palo ossia nel punto di applicazione delle azioni esterne

MURO SU PALI h=1,50 m

Dati generali

Descrizione del calcolo	APQ-Strada Comunale Cairano-Ofantina
Comune di Cairano	
Calcolo di resistenza	Tensioni ammissibili
Zona prima categoria	
Coefficiente sismico orizzontale (Kh)	0,1

Dati generali muro

Altezza muro	150,0 cm
Spessore testa muro	20,0 cm
Risega muro lato valle	15,0 cm
Risega muro lato monte	0,0 cm
Sporgenza mensola a valle	40,0 cm
Sporgenza mensola a monte	80,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Svaso mensola a monte	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	50,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	50,0 cm
Sezione dei pali	60,0 cm
Lunghezza dei pali	700,0 cm
Distanza asse da estremità mensola	75,0 cm
Sovraccarico sul terrapieno	1000,0 Kg/m ²

Caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati

Classe conglomerato Rck 250	
Tensione normale ammissibile	85,0 daN/cm ²
Tensione tangenziale ammissibile Tauco	5,33 daN/cm ²
Tensione tangenziale ammissibile TaucI	16,86 daN/cm ²
Acciaio Tipo FeB 38k	
Modulo elastico	210000 daN/cm ²
Tensione ammissibile acciaio	2200,0 daN/cm ²
Modulo di omogenizzazione (Es/Ec)	15,0
Copriferro	3,0 cm

Stratigrafia

DH	Spessore dello strato
Eps	Inclinazione dello strato
Gamma	Peso unità di volume
Fi	Angolo di resistenza a taglio
c	Coesione
Delta	Angolo di attrito terra muro

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

P.F.		Presenza di falda (Si/No)				c (daN/cm ²)	Delta (°)	P.F.	Litologia	Descrizione
Ns	DH (cm)	Eps (°)	Gamma (daN/m ³)	Fi (°)						
1	1200	0	1800	18	0,15	13	No		Argilla o argilla limosa media	

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

- Qi Quota iniziale strato (cm);
- Qf Quota finale strato (cm);
- Gamma Peso unità di volume (daN/m³);
- Eps Inclinazione dello strato (°);
- Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
- Delta Angolo di attrito terra muro (°);
- c Coesione (daN/cm²);
- β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
- Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
200,0	170,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
170,0	140,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
140,0	110,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
110,0	80,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
80,0	75,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
75,0	50,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

Zona	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	200,0	170,0	294,87	0,0	185,26	170,0
2	170,0	140,0	264,49	0,0	155,29	140,0
3	140,0	110,0	234,1	0,0	125,32	110,0
4	110,0	80,0	203,72	0,0	95,37	80,0
5	80,0	75,0	31,0	0,0	77,51	75,0
6	75,0	50,0	142,34	0,0	62,81	50,0

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

Py Peso del muro (daN);
 Px Forza inerziale (daN);
 Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
170,0	16,25	162,5	64,2	184,7
140,0	34,5	345,0	63,4	168,7
110,0	55,0	550,0	62,6	152,2
80,0	78,0	780,0	61,8	135,4
75,0	82,0	820,0	61,6	132,5
50,0	103,0	1030,0	60,9	118,2

Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
170,0	311,12	162,5	46,24	23,0
140,0	593,86	345,0	178,95	26,0
110,0	848,46	550,0	389,23	29,0
80,0	1075,18	780,0	668,29	32,0
75,0	1110,18	820,0	721,34	32,5
50,0	1273,52	1030,0	1008,06	35,0

Tensioni - Armature parete (T.A.)

Afv Area dei ferri lato valle;
 Afm Area dei ferri lato monte;
 σ_c Tensione calcestruzzo (daN/cm²);
 σ_{ft} Tensione acciaio teso (daN/cm²);
 σ_{fc} Tensione acciaio compresso (daN/cm²);
 τ Tensione tangenziale (daN/cm²);

Afv	Afm	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	0,9	34,04	10,13	0,17
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	2,81	134,6	31,35	0,29
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	5,09	271,19	57,39	0,36
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	7,43	425,27	85,02	0,41
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	7,82	452,19	89,68	0,42
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	9,68	586,22	112,43	0,44

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
 Qf Quota finale strato (cm);
 Gamma Peso unità di volume (daN/m³);
 Eps Inclinazione dello strato (°);
 Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
 Delta Angolo di attrito terra muro (°);
 c Coesione (daN/cm²);
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
215,6	200,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

200,0	170,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0
170,0	140,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0
140,0	110,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0
110,0	80,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0
80,0	50,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0
50,0	0,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

Zona	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	215,6	200,0	191,67	0,0	207,86	200,0
2	200,0	170,0	345,51	0,0	185,22	170,0
3	170,0	140,0	315,12	0,0	155,24	140,0
4	140,0	110,0	284,74	0,0	125,27	110,0
5	110,0	80,0	254,36	0,0	95,3	80,0
6	80,0	50,0	223,98	0,0	65,34	50,0
7	50,0	0,0	307,85	0,0	25,99	0,0

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

- Qi Quota iniziale strato (cm);
- Qf Quota finale strato (cm);
- Gamma Peso unità di volume (daN/m³);
- Eps Inclinazione dello strato (°);
- Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
- Delta Angolo di attrito terra muro (°);
- c Coesione (daN/cm²);
- β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
- Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
50,0	0,0	1800,0	191,0	18,0	0,0	0,15	180,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

- μ Angolo di direzione della spinta;
- Kp Coefficiente di resistenza passiva;

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

Kpx, Kpy Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva;

μ	Kp	Kpx	Kpy
180,0	0,42	-0,42	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

Zona	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	50,0	0,0	0,0	0,0	25,0	25,0

Sollecitazioni totali

Fx Forza in direzione x (daN);
 Fy Forza in direzione y (daN);
 M Momento (daNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	1923,23	0,0	2352,98
Peso muro	103,0	1030,0	-505,52
Peso fondazione	193,75	1937,5	-1453,13
Sovraccarico	51,43	514,29	-438,56
Terr. fondazione	227,34	2273,4	-2336,02
Spinte fondazione	0,0	0,0	0,0
	2498,75	5755,19	-2380,24

Momento stabilizzante -5349,51 daNm
 Momento ribaltante 2969,27 daNm

Verifica palo max sollecitato

Forza orizzontale 1999,0 daN
 Forza verticale 4604,15 daN
 Momento -1904,19 daNm

Dati palo

Lunghezza 700,0 cm
 Diametro 60,0 cm
 Copriferro 3,0 cm
Palo trivellato

Stratigrafia palo

Strato N° 1

Spessore strato 700,0 cm
 Peso unità di volume 1800,0 daN/m³
 Angolo di attrito 18,0 °
 Coesione 0,15 daN/cm²
 Modulo di elasticità 40,0 daN/cm²
 Modulo di reaz. orizzontale 3,0 daN/cm³

Spostamenti e rotazioni in testa al palo

Lunghezza d'onda 386,66 cm
 Cedimento del palo 0,32 cm
 Spostamento in x 0,24 cm
 Rotazione in testa 0,02 °

Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda 4,8 daN/cm²

Carico limite verticale

Carico limite di punta	10293,06 daN
Carico limite laterale	35741,43 daN
Carico limite totale	46034,49 daN
Fattore di sicurezza Fs	4,82
Palo verificato Fs > 2,5	

Verifica palo in testa

Momento	-1523,35 daNm
Sforzo normale	4604,15 daN
Area ferri	12,32 cm ²
Asse neutro	22,55 cm
Tensione cls	13,46 daN/cm ²
Tensione acciaio	308,43 daN/cm ²
Taglio	1999,0 daN
Tensione da taglio	0,93 daN/cm ²

Verifica palo alla profondità di cm 483,00

Momento	1312,95 daNm
Sforzo normale	8018,27 daN
Area ferri	12,32 cm ²
Asse neutro	24,61 cm
Tensione cls	11,17 daN/cm ²
Tensione acciaio	220,5 daN/cm ²

Verifiche palo alla profondità di cm 773,32

Momento	871,52 daNm
Sforzo normale	10068,16 daN
Area ferri	12,32 cm ²
Asse neutro	33,27 cm
Tensione cls	6,53 daN/cm ²
Tensione acciaio	69,84 daN/cm ²

MENSOLA A VALLE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
40,0	0,0	500,0	100,0	50,0

Armature - Tension i

Afi	Area dei ferri inferiori;
Afs	Area dei ferri superiori;
σc	Tensione calcestruzzo (daN/cm ²);
σft	Tensione acciaio teso (daN/cm ²);
σfc	Tensione acciaio compresso (daN/cm ²);
τ	Tensione tangenziale (daN/cm ²);

Afi	Afs	σc	σft	σfc	τ
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	0,53	46,81	6,27	0,12

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO
MENSOLA A MONTE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
75,0	307,85	3787,69	-1526,88	50,0
124,07	307,85	1462,04	-225,67	50,0

Armature - Tensioni (T.A.)

Afi Area dei ferri inferiori;
 Afs Area dei ferri superiori;
 σ_c Tensione calcestruzzo (daN/cm²);
 σ_{ft} Tensione acciaio teso (daN/cm²);
 σ_{fc} Tensione acciaio compresso (daN/cm²);
 τ Tensione tangenziale (daN/cm²);

Afi	Afs	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	8,03	746,1	93,62	0,9
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	1,08	137,55	11,41	0,35

Computo quantità materiali

Volume conglomerato	1,19 m ³
Barre di acciaio ø=14	34,621 daN
Numero pali a metro	1,25
Volume calcestruzzo pali	2,47 m ³
Barre di acciaio ø= 14	84,6 daN
Staffe ø= 10	78,4 daN

MURO SU PALI h=1,50 m

Dati generali

Descrizione del calcolo	APQ-Strada Comunale Cairano-Ofantina
Comune di Cairano	
Calcolo di resistenza	Tensioni ammissibili
Zona prima categoria	
Coefficiente sismico orizzontale (Kh)	0,1

Dati generali muro

Altezza muro	150,0 cm
Spessore testa muro	20,0 cm
Risega muro lato valle	15,0 cm
Risega muro lato monte	0,0 cm
Sporgenza mensola a valle	40,0 cm
Sporgenza mensola a monte	80,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Svaso mensola a monte	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	50,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	50,0 cm
Sezione dei pali	60,0 cm
Lunghezza dei pali	1000,0 cm
Distanza asse da estremità mensola	75,0 cm
Sovraccarico sul terrapieno	1000,0 Kg/m ²

Caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati

Classe conglomerato Rck 250	
Tensione normale ammissibile	85,0 daN/cm ²
Tensione tangenziale ammissibile Tauco	5,33 daN/cm ²
Tensione tangenziale ammissibile Taucl	16,86 daN/cm ²
Acciaio Tipo FeB 38k	
Modulo elastico	2100000 daN/cm ²
Tensione ammissibile acciaio	2200,0 daN/cm ²
Modulo di omogenizzazione (Es/Ec)	15,0
Copriferro	3,0 cm

Stratigrafia

DH	Spessore dello strato
Eps	Inclinazione dello strato
Gamma	Peso unità di volume
Fi	Angolo di resistenza a taglio
c	Coesione
Delta	Angolo di attrito terra muro
P.F.	Presenza di falda (Si/No)

Ns	DH (cm)	Eps (°)	Gamma (daN/m ³)	Fi (°)	c (daN/cm ²)	Delta (°)	P.F.	Litologia	Descrizione
1	1200	0	1800	18	0,15	13	No		Argilla o argilla limosa media

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);

Qf Quota finale strato (cm);
 Gamma Peso unità di volume (daN/m³);
 Eps Inclinazione dello strato (°);
 Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
 Delta Angolo di attrito terra muro (°);
 c Coesione (daN/cm²);
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
200,0	170,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
170,0	140,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
140,0	110,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
110,0	80,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
80,0	75,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
75,0	50,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

Zona	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	200,0	170,0	294,87	0,0	185,26	170,0
2	170,0	140,0	264,49	0,0	155,29	140,0
3	140,0	110,0	234,1	0,0	125,32	110,0
4	110,0	80,0	203,72	0,0	95,37	80,0
5	80,0	75,0	31,0	0,0	77,51	75,0
6	75,0	50,0	142,34	0,0	62,81	50,0

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

Py Peso del muro (daN);
 Px Forza inerziale (daN);
 Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
170,0	16,25	162,5	64,2	184,7
140,0	34,5	345,0	63,4	168,7
110,0	55,0	550,0	62,6	152,2
80,0	78,0	780,0	61,8	135,4

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

75,0	82,0	820,0	61,6	132,5
50,0	103,0	1030,0	60,9	118,2

Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
170,0	311,12	162,5	46,24	23,0
140,0	593,86	345,0	178,95	26,0
110,0	848,46	550,0	389,23	29,0
80,0	1075,18	780,0	668,29	32,0
75,0	1110,18	820,0	721,34	32,5
50,0	1273,52	1030,0	1008,06	35,0

Tensioni - Armature parete (T.A.)

Afv	Area dei ferri lato valle;
Afm	Area dei ferri lato monte;
σ_c	Tensione calcestruzzo (daN/cm ²);
σ_{ft}	Tensione acciaio teso (daN/cm ²);
σ_{fc}	Tensione acciaio compresso (daN/cm ²);
τ	Tensione tangenziale (daN/cm ²);

Afv	Afm	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	0,9	34,04	10,13	0,17
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	2,81	134,6	31,35	0,29
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	5,09	271,19	57,39	0,36
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	7,43	425,27	85,02	0,41
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	7,82	452,19	89,68	0,42
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	9,68	586,22	112,43	0,44

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);
Gamma	Peso unità di volume (daN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo di attrito terra muro (°);
c	Coesione (daN/cm ²);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
215,6	200,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
200,0	170,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
170,0	140,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
140,0	110,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
110,0	80,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
80,0	50,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
50,0	0,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta;
Ka	Coefficiente di spinta attiva;

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

Zona	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	215,6	200,0	191,67	0,0	207,86	200,0
2	200,0	170,0	345,51	0,0	185,22	170,0
3	170,0	140,0	315,12	0,0	155,24	140,0
4	140,0	110,0	284,74	0,0	125,27	110,0
5	110,0	80,0	254,36	0,0	95,3	80,0
6	80,0	50,0	223,98	0,0	65,34	50,0
7	50,0	0,0	307,85	0,0	25,99	0,0

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);
Gamma	Peso unità di volume (daN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo di attrito terra muro (°);
c	Coesione (daN/cm ²);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
50,0	0,0	1800,0	191,0	18,0	0,0	0,15	180,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta;
Kp	Coefficiente di resistenza passiva;
Kpx, Kpy	Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva;

μ	Kp	Kpx	Kpy
180,0	0,42	-0,42	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato;
Qf	Quota fine strato;
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (daN);

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

Zona	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	50,0	0,0	0,0	0,0	25,0	25,0

Sollecitazioni totali

Fx Forza in direzione x (daN);
 Fy Forza in direzione y (daN);
 M Momento (daNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	1923,23	0,0	2352,98
Peso muro	103,0	1030,0	-505,52
Peso fondazione	193,75	1937,5	-1453,13
Sovraccarico	51,43	514,29	-438,56
Terr. fondazione	227,34	2273,4	-2336,02
Spinte fondazione	0,0	0,0	0,0
	2498,75	5755,19	-2380,24

Momento stabilizzante -5349,51 daNm
 Momento ribaltante 2969,27 daNm

Verifica palo max sollecitato

Forza orizzontale 1999,0 daN
 Forza verticale 4604,15 daN
 Momento -1904,19 daNm

Dati palo

Lunghezza 1000,0 cm
 Diametro 60,0 cm
 Copriferro 3,0 cm
Palo trivellato

Stratigrafia palo

Strato N° 1

Spessore strato 1000,0 cm
 Peso unità di volume 1800,0 daN/m³
 Angolo di attrito 18,0 °
 Coesione 0,15 daN/cm²
 Modulo di elasticità 40,0 daN/cm²
 Modulo di reaz. orizzontale 3,0 daN/cm³

Spostamenti e rotazioni in testa al palo

Lunghezza d'onda 386,66 cm
 Cedimento del palo 0,31 cm
 Spostamento in x 0,24 cm
 Rotazione in testa 0,02 °

Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda 4,8 daN/cm²

Carico limite verticale

Carico limite di punta 12777,61 daN
 Carico limite laterale 61791,66 daN
 Carico limite totale 74569,27 daN
 Fattore di sicurezza Fs 6,39
Palo verificato Fs > 2,5

Verifica palo in testa

Momento	-1523,35 daNm
Sforzo normale	4604,15 daN
Area ferri	12,32 cm ²
Asse neutro	22,55 cm
Tensione cls	13,46 daN/cm ²
Tensione acciaio	308,43 daN/cm ²
Taglio	1999,0 daN
Tensione da taglio	0,93 daN/cm ²

Verifica palo alla profondità di cm 483,00

Momento	1312,95 daNm
Sforzo normale	8018,27 daN
Area ferri	12,32 cm ²
Asse neutro	24,61 cm
Tensione cls	11,17 daN/cm ²
Tensione acciaio	220,5 daN/cm ²

Verifiche palo alla profondità di cm 773,32

Momento	871,52 daNm
Sforzo normale	10068,16 daN
Area ferri	12,32 cm ²
Asse neutro	33,27 cm
Tensione cls	6,53 daN/cm ²
Tensione acciaio	69,84 daN/cm ²

MENSOLA A VALLE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
40,0	0,0	500,0	100,0	50,0

Armature - Tension i

Afi	Area dei ferri inferiori;
Afs	Area dei ferri superiori;
σ_c	Tensione calcestruzzo (daN/cm ²);
σ_{ft}	Tensione acciaio teso (daN/cm ²);
σ_{fc}	Tensione acciaio compresso (daN/cm ²);
τ	Tensione tangenziale (daN/cm ²);

Afi	Afs	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	0,53	46,81	6,27	0,12

MENSOLA A MONTE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
75,0	307,85	3787,69	-1526,88	50,0

124,07 307,85 1462,04 -225,67 50,0

Armature - Tensioni (T.A.)

Afi Area dei ferri inferiori;
 Afs Area dei ferri superiori;
 σ_c Tensione calcestruzzo (daN/cm²);
 σ_{ft} Tensione acciaio teso (daN/cm²);
 σ_{fc} Tensione acciaio compresso (daN/cm²);
 τ Tensione tangenziale (daN/cm²);

	Afi	Afs	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
	3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	8,03	746,1	93,62	0,9
	3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	1,08	137,55	11,41	0,35

Computo quantità materiali

Volume conglomerato	1,19 m ³
Barre di acciaio ø=14	34,621 daN
Numero pali a metro	1,25
Volume calcestruzzo pali	3,53 m ³
Barre di acciaio ø= 14	120,8 daN
Staffe ø= 10	78,4 daN

MURO h=2,00 m

Dati generali

Descrizione del calcolo	APQ-Strada Comunale Cairano-Ofantina
Comune di Cairano	
Calcolo di resistenza	Tensioni ammissibili
Zona prima categoria	
Coefficiente sismico orizzontale (Kh)	0,1

Dati generali muro

Altezza muro	200,0 cm
Spessore testa muro	20,0 cm
Risega muro lato valle	20,0 cm
Risega muro lato monte	0,0 cm
Sporgenza mensola a valle	50,0 cm
Sporgenza mensola a monte	120,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Svaso mensola a monte	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	40,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	40,0 cm
Sovraccarico sul terrapieno	1000,0 Kg/m ²

Caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati

Classe conglomerato Rck 250	
Tensione normale ammissibile	85,0 daN/cm ²
Tensione tangenziale ammissibile Tauco	5,33 daN/cm ²
Tensione tangenziale ammissibile Taucl	16,86 daN/cm ²
Acciaio Tipo FeB 38k	
Modulo elastico	2100000 daN/cm ²
Tensione ammissibile acciaio	2200,0 daN/cm ²
Modulo di omogenizzazione (Es/Ec)	15,0
Copriferro	3,0 cm

Stratigrafia

DH	Spessore dello strato
Eps	Inclinazione dello strato
Gamma	Peso unità di volume
Fi	Angolo di resistenza a taglio
c	Coesione
Delta	Angolo di attrito terra muro
P.F.	Presenza di falda (Si/No)

Ns	DH (cm)	Eps (°)	Gamma (daN/m ³)	Fi (°)	c (daN/cm ²)	Delta (°)	P.F.	Litologia	Descrizione
1	540	0	1700	18	0,15	13	No		Argilla o argilla limosa media

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

Gamma	Peso unità di volume (daN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo di attrito terra muro (°);
c	Coesione (daN/cm ²);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
240,0	200,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
200,0	160,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
160,0	120,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
120,0	90,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
90,0	80,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
80,0	40,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

Zona	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	240,0	200,0	421,77	0,0	220,35	200,0
2	200,0	160,0	378,08	0,0	180,39	160,0
3	160,0	120,0	334,39	0,0	140,44	120,0
4	120,0	90,0	222,13	0,0	105,28	90,0
5	90,0	80,0	68,58	0,0	85,03	80,0
6	80,0	40,0	247,02	0,0	60,59	40,0

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

Py	Peso del muro (daN);
Px	Forza inerziale (daN);
Xp, Yp	Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
200,0	22,0	220,0	79,0	219,4
160,0	48,0	480,0	77,9	197,8
120,0	78,0	780,0	76,8	175,4
90,0	103,0	1030,0	75,9	158,2
80,0	112,0	1120,0	75,6	152,4

40,0 150,0 1500,0 74,4 128,9

Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
200,0	443,77	220,0	87,88	24,0
160,0	847,85	480,0	340,61	28,0
120,0	1212,24	780,0	741,24	32,0
90,0	1459,37	1030,0	1129,3	35,0
80,0	1536,95	1120,0	1273,93	36,0
40,0	1821,97	1500,0	1921,35	40,0

Tensioni - Armature parete (T.A.)

Afv Area dei ferri lato valle;
 Afm Area dei ferri lato monte;
 σ_c Tensione calcestruzzo (daN/cm²);
 σ_{ft} Tensione acciaio teso (daN/cm²);
 σ_{fc} Tensione acciaio compresso (daN/cm²);
 τ Tensione tangenziale (daN/cm²);

Afv	Afm	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
4Ø14 (6,16)	4Ø14 (6,16)	1,39	52,27	15,92	0,23
4Ø14 (6,16)	4Ø14 (6,16)	4,11	188,25	47,57	0,38
4Ø14 (6,16)	4Ø14 (6,16)	7,17	363,26	84,38	0,46
4Ø14 (6,16)	4Ø14 (6,16)	9,43	505,97	112,5	0,51
4Ø14 (6,16)	4Ø14 (6,16)	10,17	554,26	121,75	0,52
4Ø14 (6,16)	4Ø14 (6,16)	12,94	747,33	157,36	0,55

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (210,0/0,0)
 Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (210,0/261,2)
 Centro di rotazione (xro,yro) = (0,0/0,0)

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
 Qf Quota finale strato (cm);
 Gamma Peso unità di volume (daN/m³);
 Eps Inclinazione dello strato (°);
 Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
 Delta Angolo di attrito terra muro (°);
 c Coesione (daN/cm²);
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
261,2	240,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
240,0	200,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
200,0	160,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
160,0	120,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
120,0	80,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
80,0	40,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	

40,0 0,0 1700,0 10,0 18,0 0,0 0,15 0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

Zona	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	261,2	240,0	264,4	0,0	250,68	240,0
2	240,0	200,0	465,46	0,0	220,31	200,0
3	200,0	160,0	421,77	0,0	180,35	160,0
4	160,0	120,0	378,08	0,0	140,39	120,0
5	120,0	80,0	334,39	0,0	100,44	80,0
6	80,0	40,0	290,71	0,0	60,5	40,0
7	40,0	0,0	318,53	0,0	18,73	0,0

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
 Qf Quota finale strato (cm);
 Gamma Peso unità di volume (daN/m³);
 Eps Inclinazione dello strato (°);
 Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
 Delta Angolo di attrito terra muro (°);
 c Coesione (daN/cm²);
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
40,0	0,0	1700,0	190,0	18,0	0,0	0,15	180,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta;
 Kp Coefficiente di resistenza passiva;
 Kpx, Kpy Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva;

μ	Kp	Kpx	Kpy
180,0	0,43	-0,43	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Q_i Quota inizio strato;
 Q_f Quota fine strato;
 R_{px}, R_{py} Componenti della spinta nella zona j-esima (daN);
 $Z(R_{px})$ Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 $Z(R_{py})$ Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

Zona	Q_i	Q_f	R_{px}	R_{py}	$z(R_{px})$	$z(R_{py})$
I	40,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0

Sollecitazioni totali

F_x Forza in direzione x (daN);
 F_y Forza in direzione y (daN);
 M Momento (daNm);

	F_x	F_y	M
Spinta terreno	2473,34	0,0	3551,06
Peso muro	150,0	1500,0	-922,65
Peso fondazione	210,0	2100,0	-2163,0
Sovraccarico	86,67	866,67	-1015,56
Terr. fondazione	429,59	4295,9	-5862,01
Spinte fondazione	0,0	0,0	0,0
	3349,6	8762,57	-6412,15

Momento stabilizzante -11108,03 daNm
 Momento ribaltante 4695,88 daNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	3349,6 daN
Sommatoria forze verticali	8762,57 daN
Coefficiente di attrito	0,32
Adesione	0,11 daN/cm ²
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	8762,57 daN
Forze parall. al piano di scorrimento	3349,6 daN
Resistenza terreno	5052,13 daN
Coeff. sicurezza alla traslazione C_{sd}	1,51
Traslazione verificata $C_{sd} > 1,3$	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-11108,03
Momento ribaltante	4695,88
Coeff. sicurezza al ribaltamento C_{sv}	2,37
Muro verificato a ribaltamento $C_{sv} > 1,5$	

Carico limite

Somma forze in direzione x	3349,6 daN
Somma forze in direzione y (F_y)	8762,57 daN
Somma momenti	-6412,15 daNm
Larghezza fondazione	210,0 cm
Lunghezza fondazione	5000,0 cm
Eccentricità su B	31,82 cm
Peso unità di volume	1700,0 daN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	18,0 °
Coesione	0,15 daN/cm ²
Terreno sulla fondazione	40,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	1700,0 daN/m ³

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

Nq	5,26
Nc	4,07
Ng	13,1
sq	1,01
sc	1,01
sg	0,99
iq	0,98
ic	0,98
ig	0,97
Carico limite verticale (Qlim)	40713,45 daN
Fattore di sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	4,65
Carico limite verificato Csq>2	

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	73,18 cm
Larghezza della fondazione	210,0 cm

x = 0,0 cm Tensione...	0,8 daN/cm ²
x = 210,0 cm Tensione...	0,04 daN/cm ²

MENSOLA A VALLE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
50,0	0,0	-3032,0	-796,85	40,0

Armature - Tension i

Afi	Area dei ferri inferiori;
Afs	Area dei ferri superiori;
σc	Tensione calcestruzzo (daN/cm ²);
σft	Tensione acciaio teso (daN/cm ²);
σfc	Tensione acciaio compresso (daN/cm ²);
τ	Tensione tangenziale (daN/cm ²);

Afi	Afs	σc	σft	σfc	τ
4Ø14 (6,16)	4Ø14 (6,16)	5,23	356,25	61,47	0,91

MENSOLA A MONTE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
90,0	318,53	3306,57	-2550,7	40,0

Armature - Tensioni (F.A.)

Afi	Area dei ferri inferiori;
Afs	Area dei ferri superiori;

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

σ_c	Tensione calcestruzzo (daN/cm ²);
σ_{ft}	Tensione acciaio teso (daN/cm ²);
σ_{fc}	Tensione acciaio compresso (daN/cm ²);
τ	Tensione tangenziale (daN/cm ²);

A_{fi}	A_{fs}	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
4Ø14 (6,16)	4Ø14 (6,16)	16,64	1164,43	194,5	0,99

Computo quantità materiali

Volume conglomerato	1,44 m ³
Barre di acciaio $\varnothing=14$	60,662 daN

MURO h=2,50 m

Dati generali

Descrizione del calcolo	APQ-Strada Comunale Cairano-Ofantina
Comune di Cairano	
Calcolo di resistenza	Tensioni ammissibili
Zona prima categoria	
Coefficiente sismico orizzontale (Kh)	0,1

Dati generali muro

Altezza muro	250,0 cm
Spessore testa muro	30,0 cm
Riseqa muro lato valle	20,0 cm
Riseqa muro lato monte	0,0 cm
Sporgenza mensola a valle	60,0 cm
Sporgenza mensola a monte	150,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Svaso mensola a monte	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	40,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	40,0 cm
Sovraccarico sul terrapieno	1000,0 Kg/m ²

Caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati

Classe conglomerato Rck 250	
Tensione normale ammissibile	85,0 daN/cm ²
Tensione tangenziale ammissibile Tauco	5,33 daN/cm ²
Tensione tangenziale ammissibile Taucl	16,86 daN/cm ²
Acciaio Tipo FeB 38k	
Modulo elastico	2100000 daN/cm ²
Tensione ammissibile acciaio	2200,0 daN/cm ²
Modulo di omogenizzazione (Es/Ec)	15,0
Copriferro	3,0 cm

Stratigrafi a

DH	Spessore dello strato
Eps	Inclinazione dello strato
Gamma	Peso unità di volume
Fi	Angolo di resistenza a taglio
c	Coesione
Delta	Angolo di attrito terra muro
P.F.	Presenza di falda (Si/No)

Ns	DH (cm)	Eps (°)	Gamma (daN/m ³)	Fi (°)	c (daN/cm ²)	Delta (°)	P.F.	Litologia	Descrizione
1	590	0	1700	18	0,15	13	No		Argilla o argilla limosa media

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);
Gamma	Peso unità di volume (daN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo di attrito terra muro (°);
c	Coesione (daN/cm ²);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
290,0	240,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
240,0	190,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
190,0	140,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
140,0	110,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
110,0	90,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
90,0	40,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

Zona	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	290,0	240,0	608,33	0,0	265,47	240,0
2	240,0	190,0	540,07	0,0	215,53	190,0
3	190,0	140,0	471,81	0,0	165,6	140,0
4	140,0	110,0	250,32	0,0	125,25	110,0
5	110,0	90,0	153,23	0,0	100,12	90,0
6	90,0	40,0	369,95	0,0	64,23	40,0

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

Py	Peso del muro (daN);
Px	Forza inerziale (daN);
Xp, Yp	Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
240,0	40,0	400,0	94,0	264,5
190,0	85,0	850,0	92,9	238,0
140,0	135,0	1350,0	91,8	210,8

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

110,0	167,5	1675,0	91,2	194,2
90,0	190,0	1900,0	90,7	183,0
40,0	250,0	2500,0	89,6	154,6

Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
240,0	648,33	400,0	160,73	34,0
190,0	1233,4	850,0	621,6	38,0
140,0	1755,2	1350,0	1349,73	42,0
110,0	2038,02	1675,0	1900,25	44,4
90,0	2213,75	1900,0	2312,18	46,0
40,0	2643,7	2500,0	3478,78	50,0

Tensioni - Armature parete (T.A.)

Afv	Area dei ferri lato valle;
Afm	Area dei ferri lato monte;
σ_c	Tensione calcestruzzo (daN/cm ²);
σ_{ft}	Tensione acciaio teso (daN/cm ²);
σ_{fc}	Tensione acciaio compresso (daN/cm ²);
τ	Tensione tangenziale (daN/cm ²);

Afv	Afm	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
4Ø14 (6,16)	8Ø14 (12,32)	1,15	30,2	15,06	0,23
4Ø14 (6,16)	8Ø14 (12,32)	3,61	120,49	47,0	0,39
4Ø14 (6,16)	10Ø14 (15,39)	6,12	198,98	81,05	0,5
8Ø14 (12,32)	10Ø14 (15,39)	7,24	262,89	95,66	0,55
8Ø14 (12,32)	10Ø14 (15,39)	8,32	309,73	110,09	0,57
8Ø14 (12,32)	10Ø14 (15,39)	10,93	429,62	145,59	0,62

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (260,0/0,0)
 Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (260,0/316,4)
 Centro di rotazione (xro,yro) = (0,0/0,0)

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);
Gamma	Peso unità di volume (daN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo di attrito terra muro (°);
c	Coesione (daN/cm ²);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
316,4	290,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
290,0	240,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
240,0	190,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
190,0	140,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0	

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

140,0	90,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0
90,0	40,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0
40,0	0,0	1700,0	10,0	18,0	0,0	0,15	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

- μ Angolo di direzione della spinta;
- K_a Coefficiente di spinta attiva;
- K_d Coefficiente di spinta dinamica;
- D_k Coefficiente di incremento dinamico;
- K_{ax}, K_{ay} Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva;
- D_{kx}, D_{ky} Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico;

μ	K_a	K_d	D_k	K_{ax}	K_{ay}	D_{kx}	D_{ky}
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0
0,0	0,62	0,78	0,16	0,62	0,0	0,16	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

- Q_i Quota inizio strato;
- Q_f Quota fine strato;
- R_{px}, R_{py} Componenti della spinta nella zona j-esima (daN);
- $Z(R_{px})$ Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
- $Z(R_{py})$ Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

Zona	Q_i	Q_f	R_{px}	R_{py}	$z(R_{px})$	$z(R_{py})$
1	316,4	290,0	377,57	0,0	303,31	290,0
2	290,0	240,0	662,94	0,0	265,43	240,0
3	240,0	190,0	594,68	0,0	215,48	190,0
4	190,0	140,0	526,42	0,0	165,54	140,0
5	140,0	90,0	458,38	0,0	115,61	90,0
6	90,0	40,0	532,3	0,0	63,48	40,0
7	40,0	0,0	566,05	0,0	19,27	0,0

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

- Q_i Quota iniziale strato (cm);
- Q_f Quota finale strato (cm);
- Γ Peso unità di volume (daN/m³);
- ϵ Inclinazione dello strato (°);
- F_i Angolo di resistenza a taglio (°);
- Δ Angolo di attrito terra muro (°);
- c Coesione (daN/cm²);
- β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
- Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Q_i	Q_f	Γ	ϵ	F_i	Δ	c	β	Note
40,0	0,0	1700,0	190,0	18,0	0,0	0,15	180,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

- μ Angolo di direzione della spinta;
- K_p Coefficiente di resistenza passiva;
- K_{px}, K_{py} Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva;

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

μ	Kp	Kpx	Kpy
180,0	0,43	-0,43	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

Zona	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	40,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0

Sollecitazioni totali

Fx	Forza in direzione x (daN);
Fy	Forza in direzione y (daN);
M	Momento (daNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	3718,33	0,0	6034,52
Peso muro	250,0	2500,0	-1853,5
Peso fondazione	260,0	2600,0	-3328,0
Sovraccarico	115,91	1159,09	-1706,07
Terr. fondazione	670,99	6709,9	-11345,93
Spinte fondazione	0,0	0,0	0,0
	5015,23	12968,99	-12198,97

Momento stabilizzante	-20262,21 daNm
Momento ribaltante	8063,23 daNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	5015,23 daN
Sommatoria forze verticali	12968,99 daN
Coefficiente di attrito	0,32
Adesione	0,11 daN/cm ²
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	12968,99 daN
Forze parall. al piano di scorrimento	5015,23 daN
Resistenza terreno	6943,88 daN
Coeff. sicurezza alla traslazione Csd	1,38
Traslazione verificata Csd > 1,3	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-20262,21
Momento ribaltante	8063,23
Coeff. sicurezza al ribaltamento Csv	2,51
Muro verificato a ribaltamento Csv > 1,5	

Carico limite

Somma forze in direzione x	5015,23 daN
Somma forze in direzione y (Fy)	12968,99 daN
Somma momenti	-12198,97 daNm
Larghezza fondazione	260,0 cm
Lunghezza fondazione	5000,0 cm
Eccentricità su B	35,94 cm
Peso unità di volume	1700,0 daN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	18,0 °
Coesione	0,15 daN/cm ²

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

Terreno sulla fondazione	40,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	1700,0 daN/m ³
Nq	5,26
Nc	4,07
Ng	13,1
sq	1,01
sc	1,02
sg	0,98
iq	0,98
ic	0,97
ig	0,97
Carico limite verticale (Qlim)	54831,61 daN
Fattore di sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	4,23
Carico limite verificato Csq>2	

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	94,06 cm
Larghezza della fondazione	260,0 cm
x = 0,0 cm Tensione...	0,91 daN/cm ²
x = 260,0 cm Tensione...	0,09 daN/cm ²

MENSOLA A VALLE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
60,0	0,0	-4302,0	-1349,42	40,0

Armature - Tension i

Afi	Area dei ferri inferiori;
Afs	Area dei ferri superiori;
σc	Tensione calcestruzzo (daN/cm ²);
σft	Tensione acciaio teso (daN/cm ²);
σfc	Tensione acciaio compresso (daN/cm ²);
τ	Tensione tangenziale (daN/cm ²);

Afi	Afs	σc	σft	σfc	τ
6Ø14 (9,24)	4Ø14 (6,16)	7,58	406,99	93,37	1,29

MENSOLA A MONTE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
110,0	566,05	4512,99	-4366,98	40,0

Armature - Tensioni (T.A.)

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

Afi	Area dei ferri inferiori;
Afs	Area dei ferri superiori;
σ_c	Tensione calcestruzzo (daN/cm ²);
σ_{ft}	Tensione acciaio teso (daN/cm ²);
σ_{fc}	Tensione acciaio compresso (daN/cm ²);
τ	Tensione tangenziale (daN/cm ²);

Afi	Afs	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
4Ø14 (6,16)	4Ø14 (6,16)	28,48	1995,15	332,85	1,36

Computo quantità materiali

Volume conglomerato	2,04 m ³
Barre di acciaio $\phi=14$	83,211 daN

MURO h=3,00 m

Dati generali

Descrizione del calcolo	APQ-Strada Comunale Cairano-Ofantina
Comune di Cairano	
Calcolo di resistenza	Tensioni ammissibili
Zona prima categoria	
Coefficiente sismico orizzontale (Kh)	0,1

Dati generali muro

Altezza muro	300,0 cm
Spessore testa muro	30,0 cm
Risega muro lato valle	30,0 cm
Risega muro lato monte	0,0 cm
Sporgenza mensola a valle	80,0 cm
Sporgenza mensola a monte	160,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Svaso mensola a monte	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	50,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	50,0 cm
Sovraccarico sul terrapieno	1000,0 Kg/m ²

Caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati

Classe conglomerato Rck 250	
Tensione normale ammissibile	85,0 daN/cm ²
Tensione tangenziale ammissibile Tauco	5,33 daN/cm ²
Tensione tangenziale ammissibile Taucl	16,86 daN/cm ²
Acciaio Tipo FeB 38k	
Modulo elastico	2100000 daN/cm ²
Tensione ammissibile acciaio	2200,0 daN/cm ²
Modulo di omogenizzazione (Es/Ec)	15,0
Copriferro	3,0 cm

Stratigrafia

DH	Spessore dello strato
Eps	Inclinazione dello strato
Gamma	Peso unità di volume
Fi	Angolo di resistenza a taglio
c	Coesione
Delta	Angolo di attrito terra muro
P.F.	Presenza di falda (Si/No)

Ns	DH (cm)	Eps (°)	Gamma (daN/m ³)	Fi (°)	c (daN/cm ²)	Delta (°)	P.F.	Litologia	Descrizione
1	650	0	1800	18	0,15	13	No		Argilla o argilla limosa media

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);

Qf	Quota finale strato (cm);
Gamma	Peso unità di volume (daN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo di attrito terra muro (°);
c	Coesione (daN/cm ²);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
376,25	316,25	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
316,25	256,25	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
256,25	196,25	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
196,25	140,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
140,0	136,25	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
136,25	76,25	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

Zona	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	376,25	316,25	932,78	0,0	346,9	316,25
2	316,25	256,25	811,25	0,0	287,0	256,25
3	256,25	196,25	689,72	0,0	227,13	196,25
4	196,25	140,0	576,72	0,0	167,64	140,0
5	140,0	136,25	44,18	0,0	138,12	136,25
6	136,25	76,25	859,45	0,0	104,57	76,25

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

Py	Peso del muro (daN);
Px	Forza inerziale (daN);
Xp, Yp	Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
316,25	49,5	495,0	123,5	345,3
256,25	108,0	1080,0	121,8	312,9
196,25	175,5	1755,0	120,2	279,3
140,0	247,0	2470,0	118,5	247,0

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

136,25	252,0	2520,0	118,4	244,8
76,25	337,5	3375,0	116,7	209,6

Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
316,25	982,28	495,0	292,87	36,0
256,25	1852,03	1080,0	1125,98	42,0
196,25	2609,25	1755,0	2426,49	48,0
140,0	3257,47	2470,0	4016,13	53,6
136,25	3306,66	2520,0	4134,05	54,0
76,25	4251,61	3375,0	6296,73	60,0

Tensioni - Armature parete (T.A.)

Afv	Area dei ferri lato valle;
Afm	Area dei ferri lato monte;
σ_c	Tensione calcestruzzo (daN/cm ²);
σ_{ft}	Tensione acciaio teso (daN/cm ²);
σ_{fc}	Tensione acciaio compresso (daN/cm ²);
τ	Tensione tangenziale (daN/cm ²);

Afv	Afm	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
4Ø16 (8,04)	4Ø16 (8,04)	2,09	85,39	26,31	0,33
4Ø16 (8,04)	4Ø16 (8,04)	6,2	307,1	78,22	0,53
4Ø16 (8,04)	4Ø16 (8,04)	10,76	588,68	137,25	0,64
8Ø16 (16,08)	4Ø16 (8,04)	13,46	862,66	171,29	0,72
8Ø16 (16,08)	4Ø16 (8,04)	13,7	881,23	174,46	0,72
8Ø16 (16,08)	4Ø16 (8,04)	17,75	1205,3	228,51	0,83

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (300,0/0,0)
 Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (300,0/381,1)
 Centro di rotazione (xro,yro) = (0,0/26,2)

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);
Gamma	Peso unità di volume (daN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo di attrito terra muro (°);
c	Coesione (daN/cm ²);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
381,1	376,25	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
376,25	316,25	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
316,25	256,25	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
256,25	196,25	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	
196,25	136,25	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0	

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

136,25	76,25	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0
76,25	26,25	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0
26,25	0,0	1800,0	11,0	18,0	0,0	0,15	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0
0,0	0,63	0,82	0,19	0,63	0,0	0,19	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

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

Zona	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	381,1	376,25	93,26	0,0	378,68	376,25
2	376,25	316,25	1087,22	0,0	346,81	316,25
3	316,25	256,25	965,69	0,0	286,88	256,25
4	256,25	196,25	844,16	0,0	226,97	196,25
5	196,25	136,25	793,5	0,0	165,38	136,25
6	136,25	76,25	1047,04	0,0	104,87	76,25
7	76,25	26,25	1092,78	0,0	50,48	26,25
8	26,25	0,0	653,77	0,0	12,94	0,0

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

- Qi Quota iniziale strato (cm);
- Qf Quota finale strato (cm);
- Gamma Peso unità di volume (daN/m³);
- Eps Inclinazione dello strato (°);
- Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
- Delta Angolo di attrito terra muro (°);
- c Coesione (daN/cm²);
- β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
- Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
76,25	26,25	1800,0	191,0	18,0	0,0	0,15	180,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

- μ Angolo di direzione della spinta;
- Kp Coefficiente di resistenza passiva;
- Kpx, Kpy Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva;

μ	K_p	K_{px}	K_{py}
180,0	0,42	-0,42	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Q_i	Quota inizio strato;
Q_f	Quota fine strato;
R_{px}, R_{py}	Componenti della spinta nella zona j-esima (daN);
$Z(R_{px})$	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
$Z(R_{py})$	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

Zona	Q_i	Q_f	R_{px}	R_{py}	$z(R_{px})$	$z(R_{py})$
1	76,25	26,25	0,0	0,0	51,25	51,25

Sollecitazioni totali

F_x	Forza in direzione x (daN);
F_y	Forza in direzione y (daN);
M	Momento (daNm);

	F_x	F_y	M
Spinta terreno	6577,41	0,0	10130,22
Peso muro	337,5	3375,0	-3319,81
Peso fondazione	473,5	4735,0	-7509,93
Sovraccarico	125,49	1254,9	-2232,53
Terr. fondazione	833,22	8332,2	-16827,6
Spinte fondazione	0,0	0,0	0,0
	8347,12	17697,1	-19759,65

Momento stabilizzante	-32831,89daNm
Momento ribaltante	13072,24daNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	8347,12 daN
Sommatoria forze verticali	17697,1 daN
Coefficiente di attrito	0,32
Adesione	0,11 daN/cm ²
Angolo piano di scorrimento	-5,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	18357,26 daN
Forze parall. al piano di scorrimento	6772,96 daN
Resistenza terreno	9114,64 daN
Coeff. sicurezza alla traslazione C_{sd}	1,35
Traslazione verificata $C_{sd} > 1,3$	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-32831,89
Momento ribaltante	13072,24
Coeff. sicurezza al ribaltamento C_{sv}	2,51
Muro verificato a ribaltamento $C_{sv} > 1,5$	

Carico limite

Somma forze in direzione x	8347,12 daN
Somma forze in direzione y (F_y)	17697,1 daN
Somma momenti	-19759,65 daNm
Larghezza fondazione	300,0 cm
Lunghezza fondazione	5000,0 cm
Inclinazione piano di posa	-5,0 °
Eccentricità su B	38,35 cm
Peso unità di volume	1800,0 daN/m ³

Calcoli e relazione di calcolo Opera d'arte: MURI e PALO

Angolo di resistenza al taglio	18,0 °
Coesione	0,15 daN/cm ²
Terreno sulla fondazione	50,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	1800,0 daN/m ³
Nq	5,26
Nc	4,07
Ng	13,1
sq	1,01
sc	1,02
sg	0,98
iq	0,97
ic	0,96
ig	0,95
Carico limite verticale (Qlim)	70502,34 daN
Fattore di sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	3,98
Carico limite verificato Csq>2	

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	111,65 cm
Larghezza della fondazione	300,0 cm

x = 0,0 cm Tensione...	1,04 daN/cm ²
x = 300,0 cm Tensione...	0,14 daN/cm ²

MENSOLA A VALLE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
80,0	0,0	-6303,0	-2656,17	57,0

Armature - Tension i

Afi	Area dei ferri inferiori;
Afs	Area dei ferri superiori;
σc	Tensione calcestruzzo (daN/cm ²);
σft	Tensione acciaio teso (daN/cm ²);
σfc	Tensione acciaio compresso (daN/cm ²);
τ	Tensione tangenziale (daN/cm ²);

Afi	Afs	σc	σft	σfc	τ
8Ø16 (16,08)	4Ø16 (8,04)	6,7	320,72	89,18	1,3

MENSOLA A MONTE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
140,0	653,77	6296,1	-6472,45	62,2

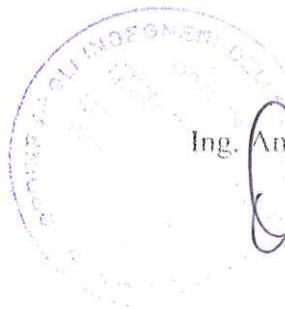
DICHIARAZIONE

Il sottoscritto Ing. Amato NITTOLI nato a Lioni (Av) il 23/09/1950 ed ivi residente alla piazza San Carlo n° 20. iscritto all'ordine degli ingegneri della Provincia di Avellino al n° 872,

DICHIARA

- che i calcoli statici indicano le ipotesi e lo schema statico assunti ed una chiara sintesi dei risultati ottenuti
- che la relazione geotecnica e sulle fondazioni è stata-redatta sulla base della relazione geologica redatta dal dott. Geol. Moscato Tommaso ed è ad essa congruente
- che i risultati ottenuti soddisfano, così come indicato nei calcoli, tutte le verifiche di resistenza dei materiali adottati così come prescritto dalle norme vigenti.

Lioni,



In fede

Ing. Amato NITTOLI

ASSEVERAZIONE

ai sensi di : art. 2 Legge reg. le n. 9 del 07.01.1983
art. 4 Legge n. 1086 del 04.11.1971

LAVORI DI : RISTRUTTURAZIONE ED AMMODERNAMENTO
DELLA STRADA "CAIRANO - OFANTINA"

Ubicazione : Comune di Cairano (Av)

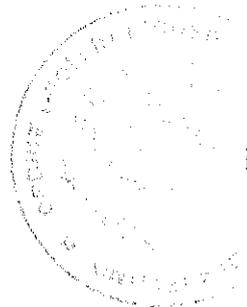
Ditta Committente : Provincia di Avellino

Il sottoscritto Ing. Amato NITTOLI nato a Lioni (Av) il 23/09/1950 ed ivi residente alla piazza San Carlo n° 20, iscritto all'ordine degli ingegneri della Provincia di Avellino al n° 872,
in qualità di progettista architettonico e progettista delle strutture dell' opera di cui all' oggetto.

ASSEVERA

- che il progetto in epigrafe, completo degli elaborati di cui all' art. 17 della Legge dello Stato 02.02.1974 n. 64, è stato redatto nel pieno rispetto della stessa Legge n. 64 e dei DD. MM. emanati ai sensi degli artt. 1 e 3 della legge medesima;
- che la caratterizzazione geotecnica è coerente con la ricostruzione geologica e viceversa;
- che il progetto è redatto in due esemplari perfettamente identici.

Lioni,



Il Tecnico
Ing. Amato NITTOLI

63152

8

Progetto di lavori di... anghai depositato
in data...

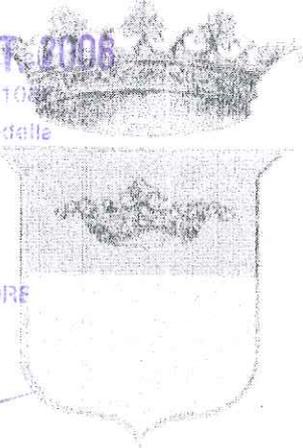
17 OTT 2006

...della... n. 10...
...dalla...
...deposito.



IL DIRIGENTE DEL SETTORE

Patrizia AMATUCCI



Provincia di Avellino

Settore Viabilità

Lavori di ristrutturazione ed
ammodernamento della strada
"Cairano Ofantina" in agro del
Comune di Cairano (Av)

Tavola n° 7

ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE

IL PROGETTISTA E
DIRETTORE DEI LAVORI.
Ing. Amato NITTOLI



IL COMMITTENTE
Dirigente settore LL.PP.
Ing. Liliana MONACO



IL COLLAUDATORE IN C.O.
Arch. Michele COLUCCI



RELAZIONE DI CALCOLO – ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE

Definizione

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

Introduzione all'analisi di stabilità

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

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

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

Metodo equilibrio limite (LEM)

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

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

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

Metodo dei conci

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

n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;

n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i

$(n-1)$ forze normali E_j agenti sull'interfaccia dei conci;

$(n-1)$ forze tangenziali X_j agenti sull'interfaccia dei conci;

n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione; delle N_i

$(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_j

una incognita costituita dal fattore di sicurezza F ;

complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

mentre le equazioni a disposizione sono:

Equazioni di equilibrio dei momenti n

Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n

Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n

Equazioni relative al criterio di rottura n

Totale numero di equazioni $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a
 $i = (6n-2)-(4n) = 2n-2$.

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quando si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

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

Metodo di FELLENIUS (1927)

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

n valori delle forze normali N_i ;

n valori delle forze da taglio T_i ;

l fattore di sicurezza.

Incognite $(2n+1)$

Le equazioni a disposizione sono:

n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;

n equazioni relative al criterio di rottura;

l equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{c \times l + (W \times \cos \alpha - u \times l) \times \tan \varphi\}}{\sum W \times \sin \alpha}$$

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

Metodo di BISHOP (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_v = 0, \sum M_0 = 0: \text{ Criterio di rottura.}$$

$$F = \frac{\sum \{c \times b + (W - u \times b + \Delta X) \times \tan \varphi\} \times \frac{\sec \alpha}{1 + \tan \alpha \times \tan \varphi / F}}{\sum W \times \sin \alpha}$$

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di *Bishop ordinario*, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Metodo di JANBU (1967)

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

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

$$F = \frac{\sum \{c \times b + (W - u \times b + \Delta X) \times \tan \varphi\} \times \frac{\sec^2 \alpha}{1 + \tan \alpha \times \tan \varphi / F}}{\sum W \times \tan \alpha}$$

Assumendo $\Delta X = 0$ si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

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

dove f_0 è riportato in grafici funzione di: geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

Metodo di BELL (1968)

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

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

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

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

$$T_i = 1/F (c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \phi_i)$$

in cui

F = il fattore di sicurezza;

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

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

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

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

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

Viene adottata la seguente assunzione di sforzo:

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

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

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

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

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

Il secondo termine dell'equazione è richiesto per soddisfare l'equilibrio statico totale e si assume:

$$F = F(2) + \left(\frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (F(2) - F(1))$$

Il corretto valore di F può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziali e successivi dei parametri F e C_3 .

Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una fisicamente ragionevole stima può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

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

Metodo di SARMA (1973)

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

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

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

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

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$N_i \cos \alpha_j + T_j \sin \alpha_j = W_i - \Delta X_i$$

$$T_j \cos \alpha_j - N_j \sin \alpha_j = K W_j + \Delta E_j$$

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

$$\sum \Delta E_j = 0$$

$$\sum \Delta X_j = 0$$

dove E_i e X_i rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i -esima del concio generico i . L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di Sarma la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$* \sum \Delta X_i \cdot tg(\psi_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$** \sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_{ci}) \cdot tg(\psi_i - \alpha_i) + (x_i - x_{ci})] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_{ci}) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_{ci})$$

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

Si ha pertanto:

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

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

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne X_i ed E_i tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.

E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze X_i :

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

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

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

Valutazione dell'azione sismica

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

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

$$F_H = \pm 0,5 S a_g W$$

$$F_V = \pm 0,5 F_H$$

Essendo:

- F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro della massa instabile;
- W il peso della massa stessa;
- $0,5 S a_g = K_x$ coefficiente dell'azione sismica orizzontale.

Per la valutazione di S si ricorda che vengono definite le seguenti categorie di suolo:

- a) Profilo stratigrafico A $S = 1,00$;
- b) Profilo stratigrafico B $S = 1,25$;
- c) Profilo stratigrafico C $S = 1,25$;
- d) Profilo stratigrafico D $S = 1,35$;
- e) Profilo stratigrafico E $S = 1,25$;
- f) Profilo stratigrafico S1 e S2: sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica.

Con la suddivisione del territorio in zone sismiche vengono definite le accelerazioni massime al suolo da adottare in ciascuna zona:

- Zona 1 $a_g = 0,35g$;
- Zona 2 $a_g = 0,25g$;
- Zona 3 $a_g = 0,15g$;
- Zona 4 $a_g = 0,05g$;

dove g rappresenta l'accelerazione di gravità.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

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

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

Analisi di stabilità dei pendii eseguita con BISHOP

Numero di strati del terreno	1,0
Numero di conci	10,0
Acc. sismica orizzontale	0,35
Coefficiente sismico orizzontale (K_h)	0,1
Coefficiente sismico orizzontale (K_v)	0,0

Superficie di forma circolare

Maglia dei centri

Ascissa vertice inferiore	3,0 m
Ordinata vertice inferiore	9,0 m
Ascissa vertice superiore	7,0 m
Ordinata vertice superiore	13,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici pendio

N	x (m)	y (m)
1	2,0	5,5
2	5,0	5,5
3	6,0	5,5
4	6,5	8,5
5	6,5	8,5
6	8,5	8,89
7	13,0	8,89

Caratteristiche geotecniche

Strato	c (Kg/cm ²)	Fi (°)	Gamma (Kg/m ³)	Gamma Saturo (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia	Descriz.
1	0,2	21	2000	2000	4		Argilla o argilla limosa consistente

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Q (Kg/m ²)
1	8,7	8,89	11,5	8,89	2000,0

Risultati analisi pendio

Nr. di superfici calcolate	72,0
Fs minimo individuato	2,0
Ascissa centro superficie	6,0 m
Ordinata centro superficie	10,4 m
Raggio centro superficie	5,78 m

ANALISI DEI CONCI Superficie xc = 6,00 yc = 10,40 Rc = 5,78 Fs=2,00

N°	B (cm)	Alfa (°)	Li (cm)	Wi (Kg/m)	Ui (Kg/m)	Ni (Kg/m)	Ti (Kg/m)
1	86,58	-27,3	97,4	426,5	0,0	447,5	-62,8
2	86,58	-18,0	91,0	1048,2	0,0	1110,2	26,3
3	86,58	-9,1	87,7	1407,1	0,0	1467,2	264,4
4	97,69	0,1	97,7	1863,6	0,0	1862,3	656,0
5	75,47	8,8	76,4	5873,0	0,0	5492,3	2924,3
6	124,53	19,1	131,8	9562,1	0,0	7944,2	6286,7
7	48,63	28,4	55,3	4055,9	0,0	2895,7	3175,0
8	86,58	36,5	107,6	7194,2	0,0	4294,5	6297,2
9	86,58	48,2	129,9	5843,6	0,0	2370,3	5719,5
10	86,58	64,8	203,0	3506,0	0,0	385,6	3694,5