



REPUBBLICA ITALIANA



*Comune di Cicala*

88040 - (Provincia di Catanzaro )  
via Attanzio - Tel. 0968-85294 Fax 0968-85282

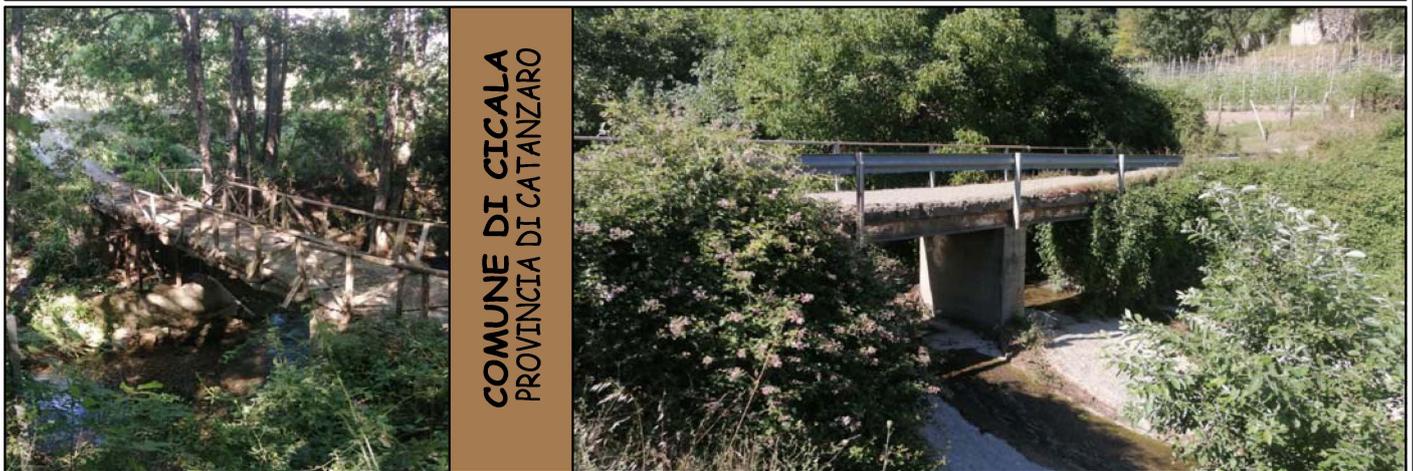


MINISTERO DELL'INTERNO

**DECRETO DEL DIPARTIMENTO PER GLI AFFARI INTERNI E TERRITORIALI  
DEL MINISTERO DELL'INTERNO DEL 23/02/2021**

**CONTRIBUTI PER L'ANNO 2021 PER INVESTIMENTI IN OPERE PUBBLICHE DI MESSA IN SICUREZZA  
DEGLI EDIFICI E DEL TERRITORIO DI CUI ALL'ART. 1, COMMA 139 E SEGUENTI, LEGGE 145/2018**

**RIQUALIFICAZIONE IDRAULICA  
IDROGEOLOGICA DELLE AREE PROSSIME  
AI CORSI D'ACQUA  
CUP: I48C20000010001**



COMUNE DI CICALA  
PROVINCIA DI CATANZARO

**Tav. 24**

**PROGETTO ESECUTIVO**

IL R.U.P.  
Geom. L. BONACCI

TITOLO

**RELAZIONE GEOTECNICA  
PONTE SU FIUME CORACE**

SCALA :

Il Sindaco  
Geom. A. FALVO

PROGETTISTI - R.T.P.

Ing. AMELIO G.

Ing. VITELLI G.

Ing. PERRI T.

Ing. MADIA F.

DATA :

FEBBARIO 2023

## RIFERIMENTI NORMATIVI

Le fasi di analisi e verifica delle strutture sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziate nel prosieguo della presente relazione:

**NTC 2018** - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» - **D.M. 17 gennaio 2018**

**D. M. Infrastrutture Trasporti 14 gennaio 2008** (G.U. 4 febbraio 2008 n. 29 - Suppl. Ord.) "Norme tecniche per le Costruzioni"

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nella:

**Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti** (G.U. 26 febbraio 2009 n. 27 – Suppl. Ord.) "Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 14 gennaio 2008".

**Eurocodice 7 – "Progettazione geotecnica"** - ENV 1997-1 per quanto non in contrasto con le disposizioni del D.M. 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

## AZIONE SISMICA PER I MURI DI SOSTEGNO

Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima ( $a_{max}$ ) attesa in superficie il cui valore può essere ricavato dalla relazione:

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

dove  $a_g$  è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido.

L'analisi della sicurezza dei muri di sostegno in condizioni sismiche è eseguita mediante i metodi pseudostatici. L'analisi pseudostatica è condotta mediante i metodi dell'equilibrio limite. L'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità ed opportuni coefficienti sismici. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove:

$a_{max}$  accelerazione massima al sito

$g$  accelerazione di gravità

$\beta_m$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (Tab. 7.11-II delle NTC)

## VERIFICHE DI SICUREZZA (SLU)

La condizione di verifica è espressa attraverso la seguente disequazione:

$$E_d \leq R_d$$

Dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e  $R_d$  è il valore di resistenza del sistema geotecnico.

## SLU di tipo geotecnico (GEO)

Nel caso dei muri di sostegno le verifiche previste dalle NTC 2018 sono:

- Stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno
- Collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno
- Collasso per scorrimento sul piano di posa
- Ribaltamento

### SLU di tipo strutturale (STR)

-Raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

### CALCOLO DELLA SPINTA ATTIVA CON COULOMB

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

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

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

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

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

Avendo indicato con:

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

Valori limite di  $K_a$ :

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

$\gamma_t$  Peso unità di volume del terreno;

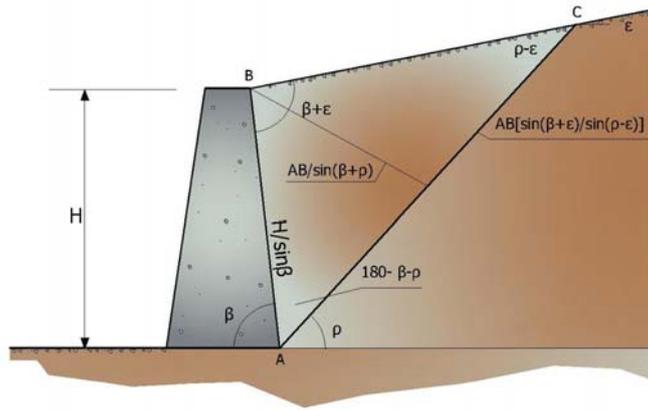
$\beta$  inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

$\varphi$  angolo di resistenza al taglio del terreno;

$\delta$  angolo di attrito terra-muro;

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

$H$  altezza della parete.



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

#### 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:

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

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

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

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

#### CALCOLO DELLA SPINTA ATTIVA CON MONONOBE & OKABE

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

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

con  $k_h$  coefficiente sismico orizzontale e  $k_v$  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:

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

Dove:

$Q$  = Carico agente sul terrapieno.

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

$$S_c = P_c \cdot H$$

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:

$$P_q = K_a \cdot Q \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Per integrazione, una spinta pari a  $S_q$ :

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

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

#### SPINTA ATTIVA IN CONDIZIONI SISMICHE

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

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

Dove:

$H$  = altezza muro;

$k_v$  = coefficiente sismico verticale;

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

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

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

$E_{wd}$  = spinta idrodinamica.

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

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

Nei terreni ad elevata permeabilità in condizioni dinamiche continua a valere la correzione di cui sopra, ma la spinta idrodinamica assume la seguente espressione:

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2$$

Con  $H$  altezza del livello di falda misurato a partire dalla base del muro.

### SPINTA IDROSTATICA

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:

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

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

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

### RESISTENZA PASSIVA

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

$$P_t = K_p \cdot \gamma_t \cdot z$$

per integrazione si ottiene la spinta passiva:

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

Avendo indicato con:

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

(Muller-Breslau) con valori limiti di  $\delta$  pari a:

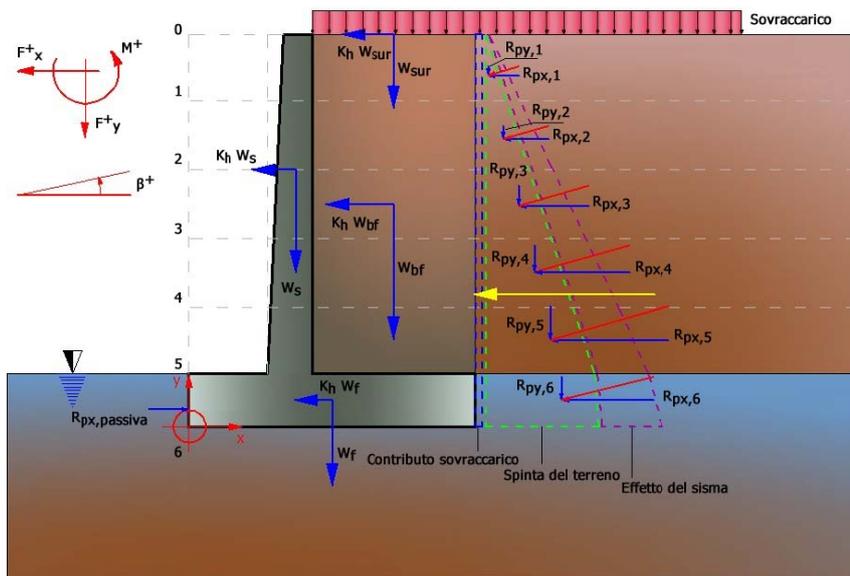
$$\delta < \beta - \varphi - \varepsilon$$

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

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

## SOLLECITAZIONI SUL MURO

Per il calcolo delle sollecitazioni, il muro viene discretizzato in  $n$ -tratti in funzione delle sezioni significative e per ogni tratto vengono 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 sono rappresentate in figura.



*Schema delle forze agenti su un muro e convenzioni sui segni*

## CALCOLO DELLE SPINTE PER LE VERIFICHE

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.

## CONVENZIONI SUI 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.

## CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI

### VESIC – ANALISI A BREVE TERMINE

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

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

Dove:

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

$c_u$  = coesione non drenata;

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

$s_c$  = fattore di forma;

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

$d_c$  = fattore di profondità;

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

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

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

$A_f$  = area efficace della fondazione;

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

## VESIC – ANALISI A LUNGO TERMINE

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

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

Dove:

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

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

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

*Fattori di forma*

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

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

$$s_c = 1 + \frac{N_q \cdot B'}{N_c \cdot L'}$$

per forma rettangolare, quadrata o circolare

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

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

*Fattori di profondità*

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

$$d_c = 1 + 0.4K$$

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

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

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

$$d_\gamma = 1$$

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

HANSEN – ANALISI A BREVE TERMINE

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u (1 + s_c + d_c - i_c) + q$$

Dove:

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

$c_u$  = coesione non drenata;

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

$s_c$  = fattore di forma,  $s_c = 0$  per fondazioni nastriformi;

$d_c$  = fattore di profondità;

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

$i_c$  = fattore correttivo di inclinazione del carico;

$$i_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_a}}$$

$A_f$  = Area efficace della fondazione;

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

HANSEN- ANALISI A LUNGO TERMINE

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

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

Dove:

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

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

$$N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \phi'$$

*Fattori di forma*

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

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

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

$$s_c = s_q = s_\gamma = 1 \quad \text{per fondazione nastriforme}$$

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

$$i_q = \left( 1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^3$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^3$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

*Fattori di profondità*

$$d_c = 1 + 0.4K$$

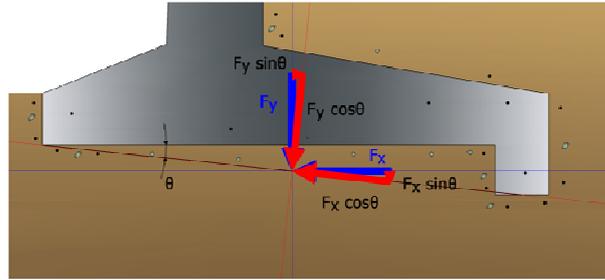
$$d_q = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \sin \phi') \cdot K$$

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

$$d_\gamma = 1$$

## **VERIFICA ALLA TRASLAZIONE ORIZZONTALE**

Nel caso in cui il piano di scorrimento della fondazione sia inclinato di un certo angolo  $\theta$ , le risultanti delle azioni  $F_x$  ed  $F_y$  dovranno essere riferiti a tale piano.



Verifica alla traslazione orizzontale, azioni di progetto

L'azione di progetto è data da:

$$E_d = F_x \cdot \cos \theta - F_y \cdot \sin \theta$$

La forza normale al piano di scorrimento è:

$$P = F_x \cdot \sin \theta + F_y \cdot \cos \theta$$

La resistenza di progetto si determina dalla relazione:

$$R_d = \frac{c_a \cdot B + P \cdot \tan \delta - S_p}{\gamma_r}$$

Dove:

$c_a$  = desione;

B= larghezza della fondazione;

$\tan \delta$  = coefficiente d'attrito;

$\gamma_r$  = coefficiente parziale sulle resistenze;

$S_p$  = contributo della spinta passiva.

Se  $\theta = 0$  si ha che  $P = F_y$  e  $E_d = F_x$

## VERIFICA AL RIBALTAMENTO

L'azione di progetto  $E_d$  è definita dal momento che tende a far ribaltare il muro, ovvero da tutte le forze responsabili di tale meccanismo, la resistenza  $R_d$  coincide con il momento stabilizzante, ovvero dalle forze che tendono a stabilizzare il muro.

Le azioni totali che intervengono nel calcolo sono riportate in tabella, dove  $\Sigma M = E_d - R_d$

Azioni	Fx	Fy	Braccio		M
Spinta terreno*	$S_{Tx}$	$S_{Ty}$	$d_{1x}$	$d_{1y}$	$\Delta M$
Peso muro	$W_s$	$W_s$	$d_{2x}$	$d_{2y}$	$\Delta M$
Peso fondazione	$W_f$	$W_f$	$d_{3x}$	$d_{3y}$	$\Delta M$
Sovraccarico	$W_{bf}$	$W_{bf}$	$d_{4x}$	$d_{4y}$	$\Delta M$
Terreno fondazione	$S_{px}$	$S_{py}$	$d_{5x}$	$d_{5y}$	$\Delta M$
Spinte fondazione***	$S_{px}$	$S_{py}$	$d_{6x}$	$d_{6y}$	$\Delta M$

Totale	$\Sigma F_x$	$\Sigma F_x$	$\Sigma M$
--------	--------------	--------------	------------

\* si tiene conto del contributo del sisma, del sovraccarico, dell'eventuale presenza della falda...

\*\* oltre alla spinta passiva si considera il contributo della sottospinta per l'eventuale presenza di falda.

La condizione di verifica viene espressa dalla relazione:

$$\frac{E_d}{R_d} = \frac{\text{Momento ribaltante}}{\text{Momento stabilizzante}} \leq 1$$

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLE OPERE DI SOSTEGNO

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

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

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

### METODO EQUILIBRIO LIMITE (LEM)

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

$$F = \tau_f / \tau$$

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

### METODO DEI CONCI

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

- $n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;
- $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$ ;
- $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;

- (n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F.

Complessivamente le incognite sono (6n-2).  
Mentre le equazioni a disposizione sono:

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

Totale numero di equazioni 4n.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

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

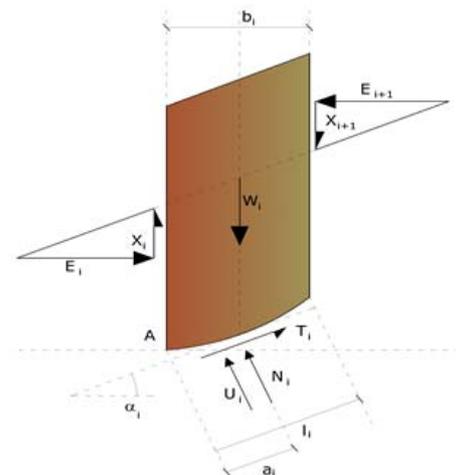
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le (n-2) indeterminazioni.

#### METODO DI BISHOP (1955)

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

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

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



I valori di F e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione

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

#### Dati generali

---

Zona	cicala
Lat./Long. [WGS84]	39.021446/16.485421
Normativa GEO	NTC 2018
Normativa STR	NTC 2018
Spinta	Rankine [1857]

#### Dati generali muro

---

Altezza muro	485.0 cm
--------------	----------

Spessore testa muro	120.0 cm
Risega muro lato valle	0.0 cm
Risega muro lato monte	0.0 cm
Sporgenza mensola a valle	150.0 cm
Sporgenza mensola a monte	150.0 cm
Svaso mensola a valle	0.0 cm
Altezza estremità mensola a valle	150.0 cm
Altezza estremità mensola a monte	150.0 cm

Pali	
Sezione dei pali	80.0 cm
Lunghezza dei pali	1400.0 cm
Distanza asse da estremità mensola	100.0 cm
Interasse longitudinale	177.0 cm
Disposizione in pianta	Allineati

Verticali indagate	
Numero verticali indagate	0.0
Fattore correlazione verticali indagate (xi3)	1.0
Fattore correlazione verticali indagate (xi4)	1.0

## CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

### Conglomerati

Nr.	Classe Calcestruzzo	fck,cubi [Mpa]	Ec [Mpa]	fck [Mpa]	fcd [Mpa]	fctd [Mpa]	fctm [Mpa]
1	C20/25	25	29960	20	11.33	1.03	2.21
2	C25/30	30	31470	25	14.16	1.19	2.56
3	C28/35	35	32300	28	15.86	1.28	2.76
4	C40/50	50	35220	40	19.83	1.49	3.2

### Acciai:

Nr.	Classe acciaio	Es [Mpa]	fyk [Mpa]	fyd [Mpa]	ftk [Mpa]	ftd [Mpa]	ep_tk	epd_ult	β1*β2 iniziale	β1*β2 finale
1	B450C	200000	450	391.3	540	391.3	0.075	0.0675	1	0.5
2	B450C*	200000	450	391.3	540	450	0.075	0.0675	1	0.5
3	B450C**	200000	450	391.3	458.3	398.5	0.012	0.01	1	0.5
4	S235H	200000	240	210	360	210	0.012	0.01	1	0.5
5	S275H	200000	280	243	460	244	0.012	0.01	1	0.5
6	S355H	200000	360	312	510	360	0.012	0.01	1	0.5

Materiali impiegati realizzazione muro

C28/35 B450C

Materiali impiegati realizzazione pali

C25/30 B450C

Copriferro, Elevazione	4.0 cm
Copriferro, Fondazione	4.0 cm
Copriferro, Dente di fondazione	0.0 cm

## Stratigrafia

Ns	Spessore strato (cm)	Inclinazione dello strato. (°)	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> )	Angolo di resistenza a taglio (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito terra muro (°)	Presenza di falda (Si/No)	Litologia	Descrizione
1	575	0	17.00	25	0.00	10	No		Substrato roccioso
2	200	0	19.00	28	0.01	14	No		Substrato roccioso
3	2360	0	22.00	32	0.01	20	No		

### Carichi concentrati

Descrizione	Posizione x (cm)	Posizione y (cm)	Fx (kN/m)	Fy (kN/m)	Mz (kNm/m)
	200.0	635.0	-16.22	318.0	0.0

### Carichi distribuiti

Descrizione	Ascissa iniziale (cm)	Ascissa finale (cm)	Valore iniziale (kPa)	Valore finale (kPa)	Profondità (cm)
carico stradale	10.0	650.0	10.0	10.0	0.0

## FATTORI DI COMBINAZIONE

### A1+M1+R3

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.30
3	Peso terreno mensola	1.30
4	Spinta falda	1.00
5	Spinta sismica in x	1.00
6	Spinta sismica in y	1.00
7	carico stradale	1.50
8		1.50

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

Nr.	Carico limite	Coefficienti resistenze
1	Punta	1

2	Laterale compressione	1
3	Coefficiente totale	1
4	Laterale (trazione)	1
5	Orizzontale	1
	Riduzione resistenza	Parziale

#### A Unitari+M1+RSLV

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00
3	Peso terreno mensola	1.00
4	Spinta falda	1.00
5	Spinta sismica in x	1.00
6	Spinta sismica in y	1.00
7	carico stradale	1.00
8		1.00

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

Nr.	Carico limite	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Coefficiente totale	1
4	Laterale (trazione)	1
5	Orizzontale	1
	Riduzione resistenza	Parziale

#### A Unitari+M1+RSLV+Beta (+50%)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00
3	Peso terreno mensola	1.00
4	Spinta falda	1.00
5	Spinta sismica in x	1.00
6	Spinta sismica in y	1.00
7	carico stradale	1.00
8		1.00

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

Nr.	Carico limite	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1

3	Coefficiente totale	1
4	Laterale (trazione)	1
5	Orizzontale	1
	Riduzione resistenza	Parziale

## A1+M1+R3 [GEO+STR]

### CALCOLO SPINTE

#### Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
635.0	538.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	
538.0	441.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	
441.0	344.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	
344.0	247.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	
247.0	150.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	635.0	538.0	9.23	0.0	579.54	538.0
2	538.0	441.0	17.18	0.0	485.76	441.0
3	441.0	344.0	25.13	0.0	389.94	344.0
4	344.0	247.0	33.07	0.0	293.56	247.0
5	247.0	150.0	41.02	0.0	196.93	150.0

### CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

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

Quota	Px	Py	Xp	Yp
538.0	0.0	29.1	210.0	586.5
441.0	0.0	58.2	210.0	538.0
344.0	0.0	87.3	210.0	489.5
247.0	0.0	116.4	210.0	441.0
150.0	0.0	145.5	210.0	392.5

### Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
538.0	-15.1	506.1	27.93	120.0
441.0	2.07	535.2	20.97	120.0
344.0	27.2	564.3	34.53	120.0
247.0	60.27	593.4	76.31	120.0
150.0	101.3	622.5	154.03	120.0

### Discretizzazione terreno

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

G	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> );
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
635.0	538.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
538.0	441.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
441.0	344.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
344.0	247.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
247.0	150.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
150.0	60.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
60.0	0.0	19.0	0.0	28.0	0.0	0.01	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	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0

### Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	635.0	538.0	10.12	0.0	579.76	538.0

2	538.0	441.0	18.56	0.0	485.83	441.0
3	441.0	344.0	27.0	0.0	389.97	344.0
4	344.0	247.0	35.44	0.0	293.58	247.0
5	247.0	150.0	43.88	0.0	196.95	150.0
6	150.0	60.0	48.26	0.0	103.87	60.0
7	60.0	0.0	35.79	0.0	29.55	0.0

## SPINTE IN FONDAZIONE

### Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
150.0	0.0	19.0	180.0	28.0	0.0	0.01	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	0.83	-0.83	0.0

### Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	150.0	0.0	-17.78	0.0	50.03	0.0

### Sollecitazioni totali

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

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	219.07	0.0	505.38
Carichi esterni	-24.33	477.0	-1108.5
Peso muro	0.0	145.5	-305.55
Peso fondazione	0.0	157.5	-330.75
Sovraccarico	0.0	22.5	-77.62
Terr. fondazione	0.0	170.24	-587.31
Spinte fondazione	-17.78	0.0	-8.9
	<b>176.96</b>	<b>972.74</b>	<b>-1913.25</b>

Momento stabilizzante -2409.73 kNm  
 Momento ribaltante 496.49 kNm

### Verifica palo max sollecitato

Forza orizzontale 172.35 kN  
 Forza verticale 1260.32 kN

### Dati palo

Lunghezza 1400.0 cm  
 Diametro 80.0 cm  
 Copriferro 10.0 cm  
 Palo trivellato

### Stratigrafia palo

#### Strato N° 1

Spessore strato 140.0 cm  
 Peso unità di volume 19.0 KN/m<sup>3</sup>  
 Angolo di attrito 28.0 °  
 Coesione 0.01 kPa  
 Modulo di elasticità 1269400.0 kPa  
 Modulo di reaz. orizzontale 39226.6 KN/m<sup>3</sup>

#### Strato N° 2

---

Spessore strato	1260.0 cm
Peso unità di volume	22.0 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	32.0 °
Coesione	0.01 kPa
Modulo di elasticità	1269400.0 kPa

### Spostamenti e rotazioni in testa al palo di valle

---

Lunghezza d'onda	299.7 cm
Cedimento del palo	0.01 cm
Spostamento in x	1.83 cm
Rotazione in testa	0.23 °

Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda 473.2 kPa

### Carico limite verticale

---

Carico limite di punta (Qp)	5605.33 kN
Carico limite laterale (Qs)	1826.1 kN
Coefficiente di sicurezza punta (FsP)	1
Coefficiente di sicurezza laterale (FsL)	1
$R=(Qp/Xi3)/FsP+(Qs/Xi3)/FsL$	7431.43 kN
Peso palo (W)	17939.79 Kg
Fattore di sicurezza $Fs=R/(P+W)$	5.17

### MENSOLA A VALLE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
100.0	-17.78	37.5	23.19	150.0
150.0	-115.16	-655.79	-236.36	150.0

### MENSOLA A MONTE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);

Fy Forza in direzione y (kN);  
M Momento (kNm);  
H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
270.0	-61.58	-58.27	35.29	150.0
320.0	35.79	134.95	-83.74	150.0

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

## CALCOLO SPINTE

### Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
635.0	538.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	
538.0	441.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	
441.0	344.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	
344.0	247.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	
247.0	150.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	

### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

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

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0

0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0

### Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	635.0	538.0	6.56	0.0	578.96	538.0
2	538.0	441.0	12.67	0.0	485.6	441.0
3	441.0	344.0	18.79	0.0	389.87	344.0
4	344.0	247.0	24.9	0.0	293.52	247.0
5	247.0	150.0	31.02	0.0	196.91	150.0

### CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

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

Quota	Px	Py	Xp	Yp
538.0	0.0	29.1	210.0	586.5
441.0	0.0	58.2	210.0	538.0
344.0	0.0	87.3	210.0	489.5
247.0	0.0	116.4	210.0	441.0
150.0	0.0	145.5	210.0	392.5

### Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
538.0	-9.66	347.1	18.75	120.0
441.0	3.01	376.2	15.04	120.0
344.0	21.8	405.3	26.58	120.0
247.0	46.7	434.4	59.31	120.0
150.0	77.72	463.5	119.16	120.0

## Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
635.0	538.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
538.0	441.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
441.0	344.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
344.0	247.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
247.0	150.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
150.0	60.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
60.0	0.0	19.0	0.0	28.0	0.0	0.01	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	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0

## Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	635.0	538.0	7.18	0.0	579.19	538.0
2	538.0	441.0	13.67	0.0	485.66	441.0
3	441.0	344.0	20.17	0.0	389.9	344.0
4	344.0	247.0	26.66	0.0	293.53	247.0
5	247.0	150.0	33.15	0.0	196.92	150.0
6	150.0	60.0	36.56	0.0	103.85	60.0
7	60.0	0.0	27.2	0.0	29.55	0.0

## SPINTE IN FONDAZIONE

### Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
150.0	0.0	19.0	180.0	28.0	0.0	0.01	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	0.83	-0.83	0.0

### Spinte risultanti e punto di applicazione

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

Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
----	----	-----	-----	--------	--------

---

1	150.0	0.0	-17.78	0.0	50.03	0.0
---	-------	-----	--------	-----	-------	-----

### Sollecitazioni totali

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

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	164.59	0.0	376.18
Carichi esterni	-16.22	318.0	-739.0
Peso muro	0.0	145.5	-305.55
Peso fondazione	0.0	157.5	-330.75
Sovraccarico	0.0	15.0	-51.75
Terr. fondazione	0.0	130.95	-451.78
Spinte fondazione	-17.78	0.0	-8.9
	<b>130.59</b>	<b>766.95</b>	<b>-1511.54</b>

Momento stabilizzante -1878.82 kNm  
 Momento ribaltante 367.28 kNm

### Verifica palo max sollecitato

Forza orizzontale	131.31 kN
Forza verticale	974.25 kN

### Dati palo

Lunghezza	1400.0 cm
Diametro	80.0 cm
Copriferro	10.0 cm
Palo trivellato	

### Stratigrafia palo

#### Strato N° 1

Spessore strato	140.0 cm
Peso unità di volume	19.0 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	28.0 °

Coesione	0.01 kPa
Modulo di elasticità	1269400.0 kPa
Modulo di reaz. orizzontale	39226.6 KN/m <sup>3</sup>

### Strato N° 2

---

Spessore strato	1260.0 cm
Peso unità di volume	22.0 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	32.0 °
Coesione	0.01 kPa
Modulo di elasticità	1269400.0 kPa

### Spostamenti e rotazioni in testa al palo di valle

---

Lunghezza d'onda	299.7 cm
Cedimento del palo	0.01 cm
Spostamento in x	1.4 cm
Rotazione in testa	0.17 °

Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda 473.2 kPa

### Carico limite verticale

---

Carico limite di punta (Qp)	5605.33 kN
Carico limite laterale (Qs)	1826.1 kN
Coefficiente di sicurezza punta (FsP)	1
Coefficiente di sicurezza laterale (FsL)	1
$R=(Qp/Xi3)/FsP+(Qs/Xi3)/FsL$	7431.43 kN
Peso palo (W)	17939.79 Kg
Fattore di sicurezza $Fs=R/(P+W)$	6.46

### MENSOLA A VALLE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
100.0	-17.78	37.5	23.19	150.0
150.0	-91.97	-494.17	-172.94	150.0

## MENSOLA A MONTE

X <sub>progr.</sub>	Ascissa progressiva (cm);
F <sub>x</sub>	Forza in direzione x (kN);
F <sub>y</sub>	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

X <sub>progr.</sub>	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	M	H
270.0	-46.99	-21.6	5.35	150.0
320.0	27.2	129.95	-77.34	150.0

### A\_Unitari+M1+RSLV+Beta (+50%) [GEO]

## CALCOLO SPINTE

### Discretizzazione terreno

Q <sub>i</sub>	Quota iniziale strato (cm);
Q <sub>f</sub>	Quota finale strato (cm);
G	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> );
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Q <sub>i</sub>	Q <sub>f</sub>	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
635.0	538.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	
538.0	441.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	
441.0	344.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	
344.0	247.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	
247.0	150.0	18.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	

### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
K <sub>a</sub>	Coefficiente di spinta attiva.
K <sub>d</sub>	Coefficiente di spinta dinamica.
D <sub>k</sub>	Coefficiente di incremento dinamico.
K <sub>ax</sub> , K <sub>ay</sub>	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
D <sub>kx</sub> , D <sub>ky</sub>	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	K <sub>a</sub>	K <sub>d</sub>	D <sub>k</sub>	K <sub>ax</sub>	K <sub>ay</sub>	D <sub>kx</sub>	D <sub>ky</sub>
---	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

---

0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0

### Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	635.0	538.0	6.56	0.0	578.96	538.0
2	538.0	441.0	12.67	0.0	485.6	441.0
3	441.0	344.0	18.79	0.0	389.87	344.0
4	344.0	247.0	24.9	0.0	293.52	247.0
5	247.0	150.0	31.02	0.0	196.91	150.0

### CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

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

Quota	Px	Py	Xp	Yp
538.0	0.0	29.1	210.0	586.5
441.0	0.0	58.2	210.0	538.0
344.0	0.0	87.3	210.0	489.5
247.0	0.0	116.4	210.0	441.0
150.0	0.0	145.5	210.0	392.5

### Sollecitazioni sul muro

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

Quota	Fx	Fy	M	H
-------	----	----	---	---

---

538.0	-9.66	347.1	18.75	120.0
441.0	3.01	376.2	15.04	120.0
344.0	21.8	405.3	26.58	120.0
247.0	46.7	434.4	59.31	120.0
150.0	77.72	463.5	119.16	120.0

### Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
635.0	538.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
538.0	441.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
441.0	344.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
344.0	247.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
247.0	150.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
150.0	60.0	17.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	
60.0	0.0	19.0	0.0	28.0	0.0	0.01	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	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.41	0.0	0.0	0.41	0.0	0.0	0.0
0.0	0.36	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0

### Spinte risultanti e punto di applicazione

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	635.0	538.0	7.18	0.0	579.19	538.0
2	538.0	441.0	13.67	0.0	485.66	441.0
3	441.0	344.0	20.17	0.0	389.9	344.0
4	344.0	247.0	26.66	0.0	293.53	247.0
5	247.0	150.0	33.15	0.0	196.92	150.0
6	150.0	60.0	36.56	0.0	103.85	60.0
7	60.0	0.0	27.2	0.0	29.55	0.0

### SPINTE IN FONDAZIONE

#### Discretizzazione terreno

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

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
150.0	0.0	19.0	180.0	28.0	0.0	0.01	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	0.83	-0.83	0.0

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota iniziale strato (cm)  
 Qf Quota finale strato (cm)  
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);

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

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

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	150.0	0.0	-17.78	0.0	50.03	0.0

### Sollecitazioni totali

Fx Forza in direzione x (kN);

Fy Forza in direzione y (kN);

M Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	164.59	0.0	376.18
Carichi esterni	-16.22	318.0	-739.0
Peso muro	0.0	145.5	-305.55
Peso fondazione	0.0	157.5	-330.75
Sovraccarico	0.0	15.0	-51.75
Terr. fondazione	0.0	130.95	-451.78
Spinte fondazione	-17.78	0.0	-8.9
	<b>130.59</b>	<b>766.95</b>	<b>-1511.54</b>

Momento stabilizzante -1878.82 kNm

Momento ribaltante 367.28 kNm

### Verifica palo max sollecitato

Forza orizzontale	131.31 kN
Forza verticale	974.25 kN

### Dati palo

Lunghezza	1400.0 cm
Diametro	80.0 cm
Copriferro	10.0 cm
Palo trivellato	

### Stratigrafia palo

Strato N° 1

---

Spessore strato	140.0 cm
Peso unità di volume	19.0 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	28.0 °
Coesione	0.01 kPa
Modulo di elasticità	1269400.0 kPa
Modulo di reaz. orizzontale	39226.6 KN/m <sup>3</sup>

### Strato N° 2

---

Spessore strato	1260.0 cm
Peso unità di volume	22.0 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	32.0 °
Coesione	0.01 kPa
Modulo di elasticità	1269400.0 kPa

### Spostamenti e rotazioni in testa al palo di valle

---

Lunghezza d'onda	299.7 cm
Cedimento del palo	0.01 cm
Spostamento in x	1.4 cm
Rotazione in testa	0.17 °

Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda 473.2 kPa

### Carico limite verticale

---

Carico limite di punta (Qp)	5605.33 kN
Carico limite laterale (Qs)	1826.1 kN
Coefficiente di sicurezza punta (FsP)	1
Coefficiente di sicurezza laterale (FsL)	1
$R=(Qp/Xi3)/FsP+(Qs/Xi3)/FsL$	7431.43 kN
Peso palo (W)	17939.79 Kg
Fattore di sicurezza $Fs=R/(P+W)$	6.46

### MENSOLA A VALLE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
---------	----	----	---	---

---

100.0	-17.78	37.5	23.19	150.0
150.0	-91.97	-494.17	-172.94	150.0

### MENSOLA A MONTE

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

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
270.0	-46.99	-21.6	5.35	150.0
320.0	27.2	129.95	-77.34	150.0

## Indice

Dati generali	.14
CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI	.14
Stratigrafia	.15
Fattori combinazione	.15
A1+M1+R3 [GEO+STR]	.17
1-(Peso, Baricentro, Inerzia)	.18
1-Sollecitazioni totali	.21
1-Verifica pali	.22
A <sub>1</sub> Unitari+M1+RSLV [GEO+STR]	.23
2-(Peso, Baricentro, Inerzia)	.25
2-Sollecitazioni totali	.28
2-Verifica pali	.28
A <sub>1</sub> Unitari+M1+RSLV+Beta (+50%) [GEO]	.30
3-(Peso, Baricentro, Inerzia)	.31
3-Sollecitazioni totali	.34
3-Verifica pali	.35
Indice	.38