

## ***Informativa sull'affidabilità dei codici - Muro di sostegno in c.a***

D.M. 17.01.2018 – “Norme tecniche per le costruzioni” – paragrafo 10.2

Il processo di progettazione e sviluppo del software **Muro di sostegno in c.a**, per ciò che riguarda le procedure di calcolo e l'elaborazione degli elaborati in output forniti, è sottoposto al controllo del Sistema di Gestione della Qualità Aziendale della **Stacec s.r.l.**, con sede in Bovalino (RC), S.S. 106 km 87, n. 59, conforme alla norma ISO 9001:2000 e certificato da **Certiquality** con n. 8679.

Al fine della comprensione del metodo e dei parametri utilizzati si allegano alcuni cenni teorici adeguatamente commentati.

Si dichiara, inoltre, che al progettista sono stati forniti gli esempi di calcolo sottoelencati utilizzati per verificare la validità delle procedure di calcolo ed effettuare le necessarie verifiche di controllo, i cui dati in ingresso, in essi riportati, potranno essere utilizzati per eventuali confronti con testi specialistici e altri strumenti di calcolo.

- Test01\_SpintaStat \_Con Sovraccarico.mur
- Test02\_SpintaStat\_Sism.mur
- Test03\_SpintaStat\_Sism\_PianoCampInclin.mur
- Test04\_Spinta\_Muro\_su \_Pali.mur

Il software è dotato di strumenti di autodiagnostica che controllano ed evidenziano, durante le procedure di inserimento dei dati e di elaborazione, eventuali valori non congrui, il cui utilizzo comprometterebbe una corretta elaborazione degli stessi.

Bovalino, 9 agosto 2018.

### ***Premessa:***

Il software **Muro di sostegno in c.a.** esegue il calcolo e verifica di muri di sostegno in cemento armato. La parete verticale dell'opera di contenimento, potrà avere intradosso verticale o inclinato, può essere realizzata a gradoni oppure avere eventuale mensola stabilizzante.

Le fondazioni possono essere di tipo diretto con eventuale dentello di fondazione oppure di tipo indiretto su una o più file di pali.

Verranno adesso riportate le formulazioni e l'elaborazioni dei test effettuati confrontandole con i risultati eseguiti da programma.

Determinati i coefficienti di spinta, attiva in condizioni di assenza di sisma ed in condizioni sismiche verrà elaborata la spinta risultante del terreno valutata per unità di lunghezza di muro (sempre utilizzando i coefficienti di riduzione dei parametri meccanici del terreno, relativi alla condizione M1 e quindi tutti pari all'unità) e confrontata con quella teorica.

Relazioni adottate per il calcolo dei coefficienti di spinta:

#### Calcolo Coefficiente di spinta attiva $K_a$

##### Teoria di Coulomb

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \beta)}{\cos^2 \beta \times \cos(\beta + \delta) \times \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \times \sin(\varphi' - i)}{\cos(\beta + \delta) \times \cos(\beta - i)}} \right]^2}$$

- Significato dei simboli

Nella precedente relazione:

$\varphi'$  è il valore dell'angolo di resistenza a taglio del terreno in condizioni di sforzo efficace;

$\beta$  è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete del muro rivolta a monte;

$i$  è l'angolo di inclinazione rispetto alla verticale della superficie del terrapieno;

$\delta$  è il valore dell'angolo di resistenza a taglio tra terreno e muro.

### Calcolo Coefficiente di spinta statico +dinamico $K_{ae}$

#### Teoria di Mononobe e Okabe

$$\text{se } \beta \leq (\phi - \theta)$$

$$K_{ae} = \frac{\sin^2(\psi + \phi' - \theta)}{\cos \theta \times \sin^2 \psi \times \sin(\psi - \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta) \times \sin(\phi' - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \times \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\text{se } \beta > (\phi - \theta)$$

$$K_{ae} = \frac{\sin^2(\psi + \phi' - \theta)}{\cos \theta \times \sin^2 \psi \times \sin(\phi' - \theta - \delta)}$$

- Significato dei simboli

Nelle precedenti relazioni:

$\psi$  è il valore dell'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete del muro rivolta a monte

$\phi'$  è il valore dell'angolo di resistenza a taglio del terreno in condizioni di sforzo efficace;

$\theta$  è il valore funzione dell'azione sismica di progetto e quindi di  $K_h$ ,  $K_v$  e dalle condizioni di falda;

$\beta$  è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno a monte;

$\delta$  è il valore dell'angolo di resistenza a taglio tra terreno e muro.

### Coefficienti sismici $K_h$ e $K_v$ e $\theta$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale ( $k_h$ ) e verticale ( $k_v$ ) sono stati valutati mediante le seguenti espressioni.

$$K_h = \beta_m \cdot (a_{\max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \cdot (K_h)$$

dove :

$a_{\max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità;

$\beta_m$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (DM 17/01/2018);

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito sarà valutata con la seguente relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

dove:

S coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_t$ )

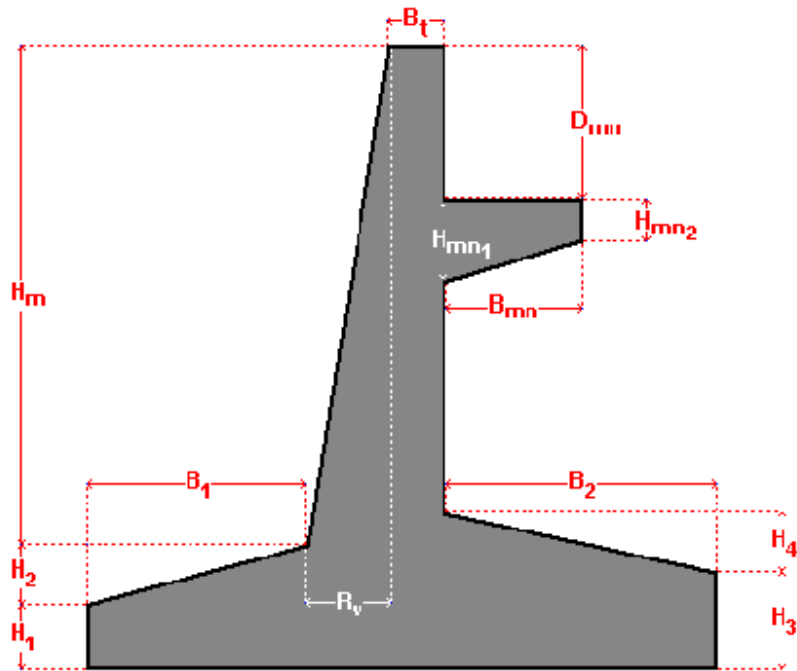
$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa sul sito di riferimento rigido

L'angolo  $\theta$  sarà definito dalla relazione  $\tan \theta = K_h / (1 \pm K_v)$ .

## Test01\_SpintaStat \_Con Sovraccarico.mur

Per il calcolo della spinta statica e del contributo del sovraccarico si farà riferimento ai seguenti dati d'ingresso ed alle precedenti formulazioni teoriche:

Dati di calcolo muro:



### PARAMETRI SISMICI

Zona sismica	= 1
Suolo di fondazione	= B
Categoria topografica	= T1
Vita nominale	= 50 anni
Tipo di opera	= Opere ordinarie
Classe d'uso	= II
Aliquota di accelerazione sismica	= 0.000

### GEOMETRIA

Sporto ala a valle (B1)	= 200.0 cm
Sporto ala a monte (B2)	= 200.0 cm
Svaso ala a valle (H2)	= 0.0 cm
Svaso ala a monte (H4)	= 0.0 cm
Altezza estremità ala a valle (H1)	= 100.0 cm
Altezza estremità ala a monte (H3)	= 100.0 cm
Risega muro lato valle (Bv)	= 20.0 cm

Risega muro lato monte (Bm) = 0.0 cm  
 Spessore testa muro (Bt) = 30.0 cm  
 Altezza muro (Hm) = 400.0 cm  
 Altezza tot. risp. Q.I. fondazione = 500.0 cm

### STRATIGRAFIA TERRENO

(rispetto quota imposta fondazione)

STRATO	Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	$\gamma$ [daN/mc]	$\phi$ [°]	$\beta$ [°]	$\delta$ [°] s	Coes. [daN/cm <sup>2</sup> ]
1	500.0	0.0	1800.0	30.00	0.00	0.00	0.00

### SOVRACCARICO

Sovraccarico variabile = 1000.0 daN/mq

$$\text{Spinta statica} = \frac{1}{2} \times \gamma_{Al} \times Ka \times \gamma \times H^2$$

$$\text{Spinta dovuta al sovraccarico} = Ka \times \gamma_{qAl} \times Q \times H$$

### *Spinte Teoriche*

$$Ka = \frac{\cos^2(30^\circ - 0)}{\cos^2 0 \times \cos(0 + 0) \times \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(0 + 30^\circ) \times \sin(30^\circ - 0)}{\cos(0 + 0) \times \cos(0 - 0)}} \right]^2} = 0.333$$

$$\text{Spinta statica} = 0.5 \times 1.3 \times 0.333 \times 1800 \times (5)^2 = 9740.2 \text{ daN}$$

$$\text{Spinta dovuta al sovraccarico} = 0.333 \times 1.5 \times 1000 \times 5 = 2497.5 \text{ daN}$$

### ***Spinte Calcolate***

Combinazione A1 + M1 + R3

Spinta statica = 9750 daN

Combinazione A1 + M1 + R3

Spinta dovuta al sovraccarico=2500 daN

### ***Valutazione Risultati***

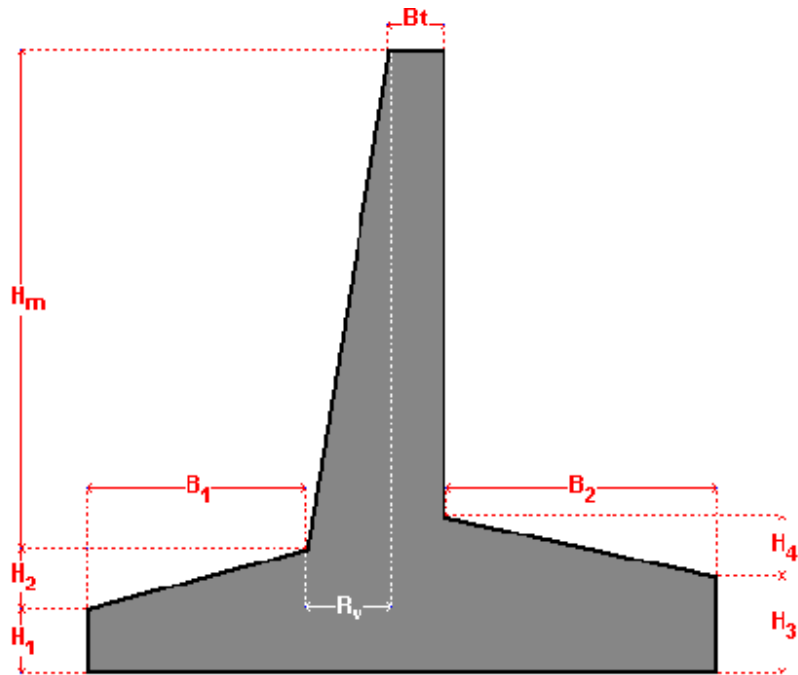
Variazione risultati Spinta statica =  $|(9750-9740.2)|/9750=0.100\%$

Variazione risultati Spinta dovuta al sovraccarico=  $|(2500-2497.5)|/2500=0.100\%$

## Test02\_SpintaStat\_Sism.mur

Per il calcolo della spinta statica e del contributo dell'azione sismica si farà riferimento ai seguenti dati d'ingresso ed alle precedenti formulazioni teoriche:

Dati di calcolo muro:



### PARAMETRI SISMICI

Zona sismica	= 1
Suolo di fondazione	= B
Categoria topografica	= T1
Vita nominale	= 50 anni
Tipo di opera	= Opere ordinarie
Classe d'uso	= II
Accel. orizz. max attesa al sito ( $a_{max}$ ) = $S_S \cdot S_T \cdot A_g$	= 0.226
Coefficiente rid. acc. mass. attesa ( $\beta_m$ )	= 0.380
Coefficiente sismico orizzontale ( $k_h$ )	= 0.086
Coefficiente sismico verticale ( $k_v$ )	= 0.043

### GEOMETRIA

Sporto ala a valle ( $B_1$ )	= 200.0 cm
Sporto ala a monte ( $B_2$ )	= 200.0 cm
Svaso ala a valle ( $H_2$ )	= 0.0 cm
Svaso ala a monte ( $H_4$ )	= 0.0 cm



Altezza estremità ala a valle (H1)	= 100.0 cm
Altezza estremità ala a monte (H3)	= 100.0 cm
Risega muro lato valle (Bv)	= 20.0 cm
Risega muro lato monte (Bm)	= 0.0 cm
Spessore testa muro (Bt)	= 30.0 cm
Altezza muro (Hm)	= 400.0 cm
Altezza tot. risp. Q.I. fondazione	= 500.0 cm

**STRATIGRAFIA TERRENO**  
(rispetto quota imposta fondazione)

STRATO	Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	$\gamma$ [daN/mc]	$\phi$ [°]	$\beta$ [°]	$\delta$ [°] s	Coes. [daN/cm <sup>2</sup> ]
1	500.0	0.0	1800.0	30.00	0.00	0.00	0.00

$$\text{Spinta statica} = \frac{1}{2} \times Ka \times \gamma \times H^2$$

$$\text{Incremento Spinta dovuto al sisma} = \frac{1}{2} \times [Kae \times (1 + kv) - Ka] \times \gamma \times H^2$$

**Spinte Teoriche**

$$Ka = 0,333$$

$$Kae = \frac{\sin^2(90^\circ + 30^\circ - 4.7^\circ)}{\cos 4.7^\circ \times \sin^2 90^\circ \times \sin(90^\circ - 4.7^\circ) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(30^\circ) \times \sin(30^\circ - 4.7^\circ)}{\sin(90^\circ - 4.7^\circ) \times \sin(90^\circ)}} \right]^2}$$

$$Kae = 0,384$$

$$\text{Spinta statica} = 0.5 \times 0.333 \times 1800 \times (5)^2 = 7492.5 \text{ daN}$$

$$\text{Incremento Spinta dovuto al sisma} = 0.5 \times (0.384 \times (1 + 0.043) - 0.333) \times 1800 \times (5)^2 = 1519.0 \text{ daN}$$

### ***Spinte Calcolate***

Combinazione A1\* + M1 + R3 ± Sisma

Spinta statica = 7500 daN

Combinazione A1\* + M1 + R3 ± Sisma

Incremento Spinta dovuto al sisma = 1523.5 daN

### ***Valutazione Risultati***

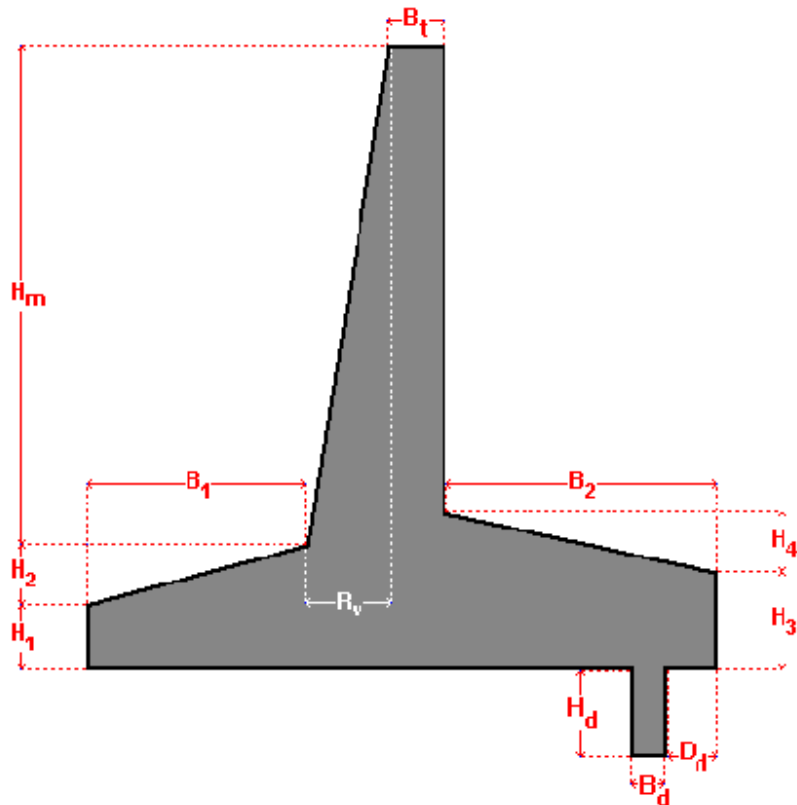
Variazione risultati Spinta statica =  $|(7500-7492.5)|/7500 = \mathbf{0.100\%}$

Variazione risultati Incremento Spinta dovuto al sisma =  $|(1519.0-1523.5)|/1523.5 = \mathbf{0.295\%}$

### ***Test03\_SpintaStat\_Sism\_PianoCampInclin.mur***

Per il calcolo della spinta statica e del contributo dell'azione sismica si farà riferimento ai seguenti dati d'ingresso ed alle precedenti formulazioni teoriche:

Dati di calcolo muro:



#### **PARAMETRI SISMICI**

Zona sismica	= 1
Suolo di fondazione	= B
Categoria topografica	= T1
Vita nominale	= 50 anni
Tipo di opera	= Opere ordinarie
Classe d'uso	= II
$S_s$	= 1.20
$S_T$	= 1.00
Accel. orizz. max attesa al sito ( $a_{max}$ ) = $S_s \cdot S_T \cdot Ag$	= 0.226
Coefficiente rid. acc. mass. attesa ( $\beta_m$ )	= 0.380
Coefficiente sismico orizzontale ( $k_h$ )	= 0.086
Coefficiente sismico verticale ( $k_v$ )	= 0.043

#### **GEOMETRIA**

Sporto ala a valle ( $B_1$ )	= 200.0 cm
Sporto ala a monte ( $B_2$ )	= 200.0 cm
Svaso ala a valle ( $H_2$ )	= 0.0 cm

Svaso ala a monte (H4)	= 0.0 cm
Altezza estremità ala a valle (H1)	= 100.0 cm
Altezza estremità ala a monte (H3)	= 100.0 cm
Risega muro lato valle (Bv)	= 10.0 cm
Risega muro lato monte (Bm)	= 0.0 cm
Spessore testa muro (Bt)	= 30.0 cm
Altezza muro (Hm)	= 400.0 cm
Altezza tot. risp. Q.I. fondazione	= 500.0 cm

- CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DENTELLO:

Altezza dentello (Hd)	= 70.0 cm
Spessore dentello (Bd)	= 50.0 cm
Distanza attacco base monte (Dd)	= 20.0 cm

**STRATIGRAFIA TERRENO**  
(rispetto quota imposta fondazione)

STRATO	Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	$\gamma$ [daN/mc]	$\phi$ [°]	$\beta$ [°]	$\delta$ [°] s	Coes. [daN/cm <sup>2</sup> ]
<b>1</b>	500.0	-70.0	1800.0	30.00	5.00	0.00	0.00

$$\text{Spinta statica} = \frac{1}{2} \times Ka \times \gamma \times H^2$$

$$\text{Incremento Spinta dovuto al sisma} = \frac{1}{2} \times [Kae \times (1 + kv) - Ka] \times \gamma \times H^2$$

**Spinte Teoriche**

$$Ka = \frac{\cos^2(30^\circ - 0^\circ)}{\cos^2 0^\circ \times \cos(0^\circ) \times \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(0^\circ + 30^\circ) \times \sin(30^\circ - 5^\circ)}{\cos(0^\circ) \times \cos(0^\circ - 5^\circ)}} \right]^2} = 0.3516$$

$$Kae = \frac{\sin^2(90^\circ + 30^\circ - 4.7^\circ)}{\cos 4.7^\circ \times \sin^2(90^\circ) \times \sin(90^\circ - 4.7^\circ) * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(30^\circ) \times \sin(30^\circ - 5^\circ - 4.7^\circ)}{\sin(90^\circ - 4.7^\circ) \times \sin(90^\circ + 5^\circ)}} \right]^2} = 0.409$$

Spinta statica  $= 0.5 \times 0.3516 \times 1800 \times (5)^2 = 7911.0 \text{ daN}$

Incremento Spinta dovuto al sisma  $= 0.5 \times (0.409 \times (1 + 0.043) - 0.3516) \times 1800 \times (5)^2 = 1687.2 \text{ daN}$

### ***Spinte Calcolate***

Combinazione A1\* + M1 + R3 ± Sisma

Spinta statica  $= 7910.5 \text{ daN}$

Combinazione A1\* + M1 + R3 ± Sisma

Incremento Spinta dovuto al sisma  $= 1695.4 \text{ daN}$

### ***Valutazione Risultati***

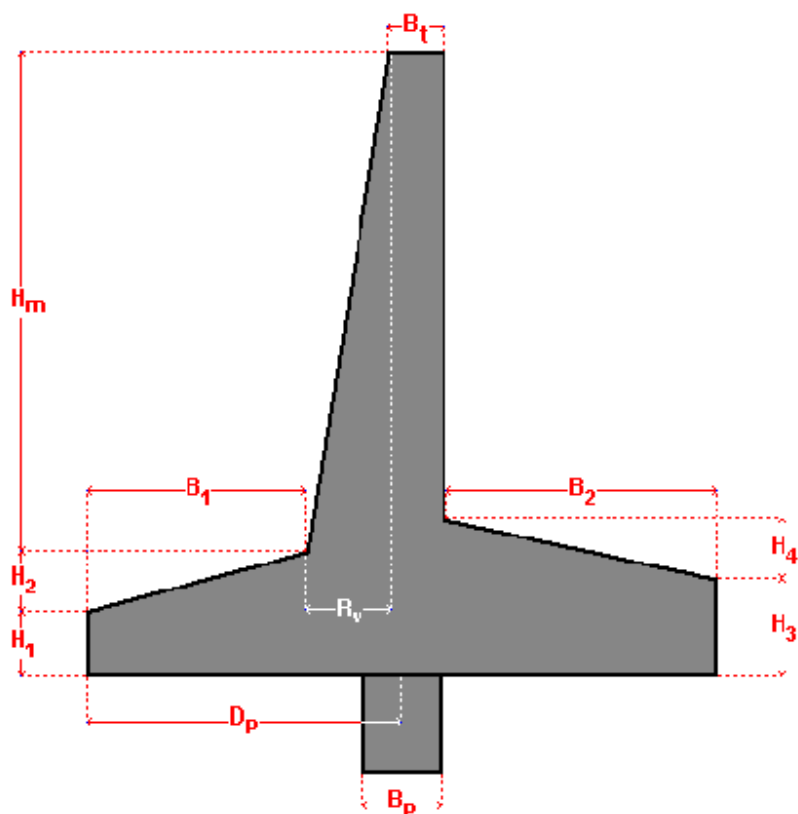
Variazione risultati Spinta statica  $= |(7911.0 - 7910.5)| / 7910.5 = \mathbf{0.006 \%}$

Variazione risultati Incremento Spinta dovuto al sisma  $= |(1695.4 - 1687.2)| / 1695.4 = \mathbf{0.483 \%}$

## ***Test04\_Spinta\_Muro\_su\_Pali.mur***

Per il calcolo della spinta statica e del contributo dell'azione sismica si farà riferimento ai seguenti dati d'ingresso ed alle precedenti formulazioni teoriche:

Dati di calcolo muro:



### **PARAMETRI SISMICI**

Zona sismica	= 1
Suolo di fondazione	= B
Categoria topografica	= T1
Vita nominale	= 50 anni
Tipo di opera	= Opere ordinarie
Classe d'uso	= II
Aliquota di accelerazione sismica	= 0.226
Coefficiente rid. acc. mass. attesa ( $\beta_m$ )	= 0.380
Coefficiente sismico orizzontale ( $k_h$ )	= 0.086
Coefficiente sismico verticale ( $k_v$ )	= 0.043

### **GEOMETRIA**

Sporto ala a valle (B1)	= 200.0 cm
Sporto ala a monte (B2)	= 200.0 cm
Svaso ala a valle (H2)	= 0.0 cm
Svaso ala a monte (H4)	= 0.0 cm
Altezza estremità ala a valle (H1)	= 100.0 cm
Altezza estremità ala a monte (H3)	= 100.0 cm
Risega muro lato valle (Bv)	= 20.0 cm
Risega muro lato monte (Bm)	= 0.0 cm
Spessore testa muro (Bt)	= 30.0 cm
Altezza muro (Hm)	= 400.0 cm
Altezza tot. risp. Q.I. fondazione	= 500.0 cm

**- CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PALI FONDAZIONE-**

Numero pali in direzione trasversale	= 1
Distanza asse palo - bordo (Dp)	= 50.0 cm
Diametro (BP)	= 60.0 cm
Lunghezza (Hp)	= 1000.0 cm
Interasse longitudinale	= 120.0 cm

**STRATIGRAFIA TERRENO**  
(rispetto quota imposta fondazione)

STRATO	Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	$\gamma$ [daN/mc]	$\phi$ [°]	$\beta$ [°]	$\delta$ [°]	Coes. [daN/cm <sup>2</sup> ]	E [daN/cm <sup>2</sup> ]	G [daN/cm <sup>2</sup> ]	OCR
1	500.0	-1000.0	1800.0	30.00	0.00	0.00	0.00	300.00	100.00	1.00

**CALCOLO SPINTE ED AZIONI MASSA**

QUOTE E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI DI CALCOLO A MONTE

Q.In [cm]	Q.Fin [cm]	$\gamma$ [daN/mc]	$\beta$ [°]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	90- $\psi$ [°]	Coes. [daN/cm <sup>2</sup> ]	PRES. FALDA
500.0	0.0	1800.0	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	No
0.0	-1000.0	1800.0	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	No

$$\text{Spinta a riposo in condizioni sismiche} = \frac{1}{2} \times K_0 \times (1 + k_v) \times \gamma \times H^2$$

**Spinte Teoriche**

$$K_0 = (1 - \sin \phi) = 0.50$$

$$\text{Spinta a riposo in condizioni sismiche} = 0.5 \times 0.50 \times (1 + 0.043) \times 1800 \times (5)^2 = 11\,733.7 \text{ daN}$$

### ***Spinte Calcolate***

Combinazione A1\* + M1 + R1 ± Sisma

Spinta a riposo = 11 733.1 daN

### ***Valutazione Risultati***

Variazione risultati Spinta a riposo  $= |(11\,733.1 - 11\,733.7)| / 11\,733.1 = \mathbf{0.005\%}$