

<sup>k+#\$</sup>NOVITA'

## Versione 2.0

La versione 2.0 è stata aggiornata alle prescrizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14-1-2008, nel seguito indicate come NTC 2008.

Le verifiche vengono quindi eseguite anche col metodo agli stati limite.

Per un utile confronto è stata mantenuta la possibilità di eseguire le verifiche anche con il metodo delle tensioni ammissibili secondo il D.M. 16-1-1996.

**È disponibile l'aiuto sensibile al contesto tramite il tasto F1**

## **NOTA SULL'APPLICAZIONE DELLE NTC 2008**

Il procedimento di verifica dei muri di sostegno utilizzando il metodo agli stati limite secondo le indicazioni delle NTC o dell'Eurocodice 7 è, a parere dello scrivente, particolarmente ed inutilmente complicato e cervellotico. Si devono infatti eseguire le verifiche allo stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU), allo stato limite di resistenza della struttura (STR) e allo stato limite di resistenza del terreno (GEO) e per ciascun tipo di verifica cambiano i coefficienti parziali di sicurezza. Inoltre si possono adottare due diversi approcci progettuali e nell'Approccio 1 si possono impiegare due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali. Per ciascun tipo di verifica cambiano i coefficienti parziali di sicurezza e le verifiche in presenza di sisma non sempre sono più gravose di quelle statiche. Infine si deve considerare sia il valore positivo che negativo del coefficiente sismico verticale  $k_v$ .

Per limitare la confusione il programma prevede l'utilizzo di due gruppi di coefficienti parziali, uno per le verifiche statiche e uno per le verifiche sismiche, accessibili dal menu Impostazioni.

I valori dei coefficienti parziali possono essere cambiati dal progettista che può adattarli al problema specifico.

Il programma esegue le tre verifiche (statica, sismica con  $k_v > 0$ , sismica con  $k_v < 0$ ), presentando i risultati di quella più gravosa.

Si consiglia di visionare METODO DI CALCOLO secondo le NTC 2008 – Esempio semplice.

Si consiglia inoltre di confrontare i risultati delle verifiche agli stati limite secondo le NTC con quelli delle verifiche col metodo delle tensioni ammissibili secondo il DM '96, verifiche generalmente a favore di sicurezza e ormai collaudate da decenni di esperienza.

## K+#\$ Generalità e dati di input

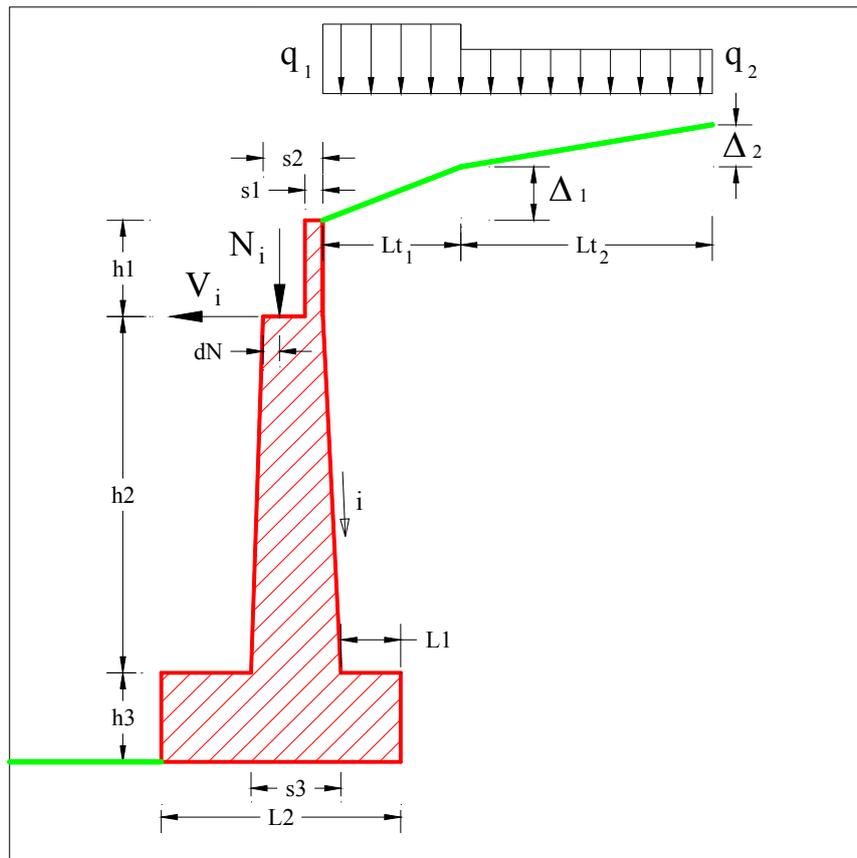


Fig. 1 - Geometria e simbologia

Il programma esegue la verifica di un muro di sostegno o di una spalla da ponte di geometria generica (vedi Fig. 1) in zona sismica secondo le NTC 2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14-1-2008) con il metodo agli stati limite e secondo il D.M. 16-01-1996, con il metodo delle tensioni ammissibili.

L'andamento del terreno a monte è descritto da una spezzata di un numero indefinito di lati, su ciascuno dei quali può essere applicato un sovraccarico  $q$  diverso.

La spinta delle terre è calcolata con la teoria di Coulomb, ricercando per tentativi il cuneo di massima spinta, tenendo conto anche delle forze d'inerzia agenti sul cuneo di spinta per effetto del sisma.

I dati geometrici di input sono illustrati in Fig. 1.

{bml zoom.bmp} Cliccando sul pulsante Zoom si ingrandisce e rimpicciolisce lo schema con l'indicazione dei parametri geometrici del muro.

I parametri geotecnici sono i seguenti:

- $\varphi$  - angolo di attrito interno delle terre [gradi sessadecimali]
- $\delta$  - angolo di attrito terra-muro. Normalmente si assume  $\delta < 2/3 \varphi$ .
- $\varphi_f$  - angolo di attrito fondazione-terreno

---

K Generalità e dati di input

+ auto

# IDH\_010

\$ Generalità e dati di input

- $\gamma_t$  - peso specifico delle terre
- $\gamma_m$  - peso specifico del muro

Per il sisma, a seconda della normativa selezionata, si hanno i seguenti parametri:

- $S$  = grado di sismicità (Normativa: D.M. 1996)
- $K_h K_v$  = coefficiente sismico orizzontale e verticale (Normativa: NTC 2008), calcolabili utilizzando il pulsante

**Dati Sisma**

che apre la finestra per la selezione dei **dati sismici**.

Il menu “Impostazioni” permette di visualizzare e modificare i valori dei coefficienti parziali di sicurezza per le verifiche agli stati limite.

Il muro può essere disegnato in scala in una form che può essere ingrandita e che contiene un menu per la stampa, per l’esportazione in formato DXF e per il disegno diretto in Autocad (non funziona con la versione LT).

Il disegno contiene anche i risultati delle verifiche e può essere usato come **relazione di calcolo**.

Il menu Armature calcola le armature minime a presso-flessione (armatura semplice) e i corrispondenti valori di  $\sigma_c$  e  $\tau_c$ .

Il listato può essere selezionato col mouse e incollato in una relazione di calcolo.

## K+#\$ Input dati sismici

Se si è scelta la normativa NTC 2008, il pulsante **Dati Sisma** apre la finestra per la selezione dei dati sismici.

**Ricerca del sito**

Ricerca per coordinate    **Longitudine**     **Latitudine**   
 Ricerca per comune  
 Isole

**Nodi del reticolo**

8318      8319

8540      8541

**Parametri interpolati**

TR	ag	Fo	Tc*
30	0,061	2,492	0,238
50	0,083	2,465	0,255
72	0,100	2,451	0,267
101	0,119	2,421	0,280
140	0,139	2,408	0,290
201	0,164	2,393	0,307
475	0,238	2,413	0,328
975	0,322	2,408	0,346
2475	0,461	2,408	0,373

**Regione**     **Provincia**   
**Comune**        

**VR**     **Stato Limite**  → **ag**     **Fo**     **Tc\***   
**Suolo**     **Ss**     **Topo**     **h/H**     **ST**   
**amax**  g    **βm**     **kh**     **kv**

Le sigle individuano isole per le quali è necessaria una validazione ad hoc. Elaborazione aprile 2004.

Dopo aver individuato i parametri del sito mediante la ricerca per coordinate o per comune, si deve inserire il periodo di riferimento VR (normalmente 50 o 100 anni), si deve impostare lo Stato limite (normalmente SLV), la categoria di sottosuolo, la categoria topografica ed eventualmente il rapporto h/H fra la quota del sito e l'altezza del rilievo.

Il programma calcola (vedi NTC §7.11.6.2.1):

- l'accelerazione massima attesa

$$a_{\max} = a_g \cdot S_s \cdot S_T,$$

- il coefficiente di riduzione  $\beta_m$  dell'accelerazione massima

K Input dati sismici

+ auto

# IDH\_015

\$ Input dati sismici

**Tabella 7.11.II** - *Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.*

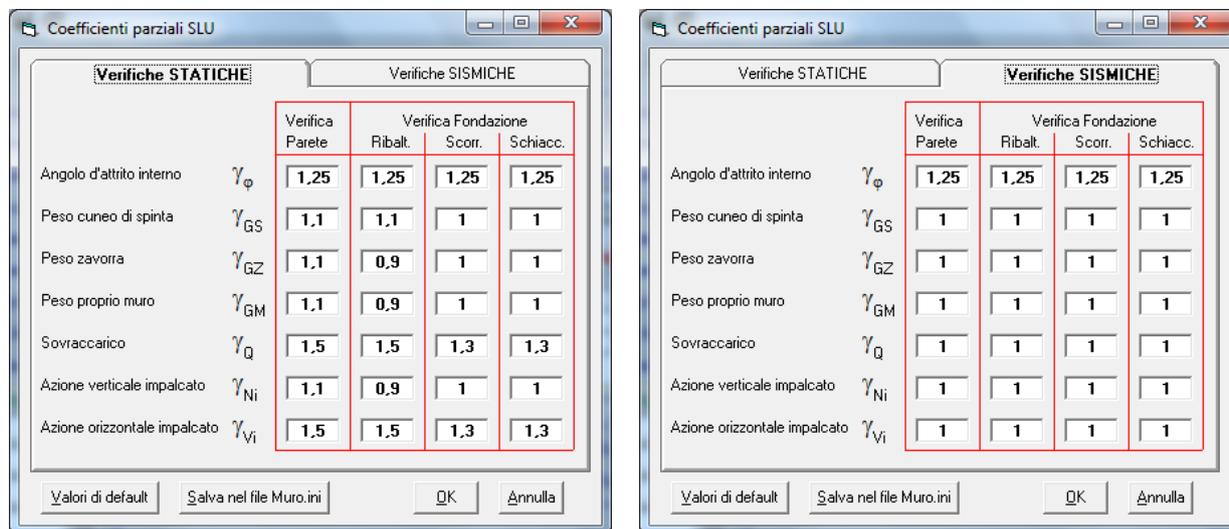
	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_m$	$\beta_m$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,31	0,31
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,29	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,18

- i coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$

$$k_h = \beta_m \cdot a_{\max} \quad k_v = 0,5 \cdot k_h$$

## K+#\$ Impostazioni

Questa voce di menu apre la finestra per la visualizzazione e l'eventuale modifica dei coefficienti parziali di sicurezza per le verifiche agli stati limite.



I coefficienti sono in generale diversi per le varie verifiche. Ciascuna colonna raggruppa i coefficienti parziali relativi ad una tipologia di verifica. Il significato dei vari termini è il seguente:

Ribalt. = verifica a Ribaltamento

Scorr. = verifica a Scorrimento

Schiacc. = verifica a Schiacciamento (capacità portante del terreno di fondazione)

Zavorra = porzione di terreno al di sopra dello sbalzo a monte della piastra di fondazione. Ha funzione stabilizzante nella verifica a ribaltamento.

I valori dei coefficienti possono essere salvati nel file Muro.ini in modo da essere caricati automaticamente all'avvio del programma. Essi vengono comunque salvati nel file dei dati.

**I valori dei coefficienti parziali sono stati da me introdotti interpretando le indicazioni delle NTC e dell'Eurocodice 7, peraltro non del tutto chiare. Il progettista può quindi modificare questi valori, adattandoli alle situazioni specifiche.** In particolare nel caso di verifica di spalle da ponte, il progettista dovrà usare appropriati valori per i coefficienti da applicare alle azioni trasmesse dall'impalcato, a seconda che siano permanenti o variabili, stabilizzanti o ribaltanti.

---

K Impostazioni; coefficienti parziali

+ auto

# IDH\_017

\$ Impostazioni

## K+#\$ OUTPUT

I risultati del calcolo sono i seguenti:  
- per la parete:

Parete		Parete	
St	120,0 kN	St	147,3 kN
Sq	0 kN	Sq	0 kN
Ss	22,76 kN	Ss	32,65 kN
Si	27,00 kN	Si	26,97 kN
M	412,0 kNm	M	440,8 kNm
N	150,0 kN	N	157,5 kN
V	169,8 kN	V	206,9 kN
			?2

DM 1996                      NTC 2008

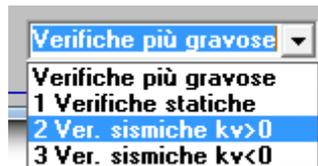
- St = spinta statica delle terre sul paramento interno
- Sq = spinta statica del sovraccarico q
- Ss = spinta delle terre per azione sismica
- Si = spinta delle forze d'inerzia dovuta alle masse della parete e della zavorra (porzione di terreno al di sopra della suola a monte)
- M = momento flettente nella sezione allo spiccato della parete
- N = azione assiale nella sezione allo spiccato della parete
- V = azione di taglio nella sezione allo spiccato della parete

Nel caso di applicazione della normativa NTC 2008, vengono presentati i risultati della verifica più gravosa fra le tre possibili: 1) verifica statica, 2) verifica sismica con coefficiente sismico verticale  $k_v > 0$ , 3) verifica sismica con  $k_v < 0$ . Il numero della verifica più gravosa compare nell'ovale in rosso di figura; cliccare sul ? per una breve spiegazione.

- per la fondazione:

Fondazione										
Ribaltamento			Scorrimento			Schiacciamento			Sbalzi Fondazione	
St	200,5	?3	St	200,5	?3	St	200,5	?2	M valle	366,6
Sq	0		Sq	0		Sq	0		M monte	72,50
Ss	24,76		Ss	24,76		Ss	44,44		$\sigma_{t, valle}$	0,2094 MPa
Si	36,96		Si	36,96		Si	36,96		$\sigma_{t, monte}$	0
Mr	638,4		V	262,2		M	416,6		% comp.	46,38
Ms	945,3		N	351,5		N	388,5		Verifiche più gravose ▾	
Ms/Mr	1,481		c. scor.	0,6192		V	281,9			

K output;risultati;verifiche  
+ auto  
# IDH\_020  
\$ Tipi di sezione



Nel caso delle NTC 2008 vengono mostrati i risultati delle verifiche più gravose. Selezionare un tipo di verifica specifico nella casella a discesa per visualizzarne i risultati.

Per ciascun tipo di verifica (Ribaltamento, Scorrimento, Schiacciamento) vengono riportati i seguenti risultati:

- $St$  = spinta statica delle terre sulla parete verticale ideale a monte della scarpa interna
- $Sq$  = spinta statica del sovraccarico  $q$
- $Ss$  = spinta delle terre per azione sismica
- $Si$  = spinta delle forze d'inerzia dovuta alle masse della parete e della zavorra

Questi valori sono coincidenti per le tre verifiche quando si usa come normativa il DM '96. Con le NTC i valori dipendono dai coefficienti parziali che sono in generale diversi per le tre verifiche e nel caso si esegua la verifica Statica oppure Sismica. Sono inoltre indicati:

- per la verifica a Ribaltamento:

- $Mr$  = momento ribaltante
- $Ms$  = momento stabilizzante
- $Ms/Mr$  = coefficiente di sicurezza al ribaltamento (deve essere  $> 1.5$  per il DM '96 e  $> 1$  per le NTC)

- per la verifica a Scorrimento:

- $V$  = azione di taglio nella sezione di imposta della fondazione per la verifica a scorrimento
- $N$  = azione assiale nella sezione di imposta della fondazione per la verifica a scorrimento
- $c. \text{scorr.}$  = coefficiente di sicurezza allo scorrimento (deve essere  $> 1.3$  per il DM '96 e  $> 1$  per le NTC)

- per la verifica a Schiacciamento:

- $M$  = momento flettente rispetto al baricentro della sezione di imposta della fondazione
- $N$  = azione verticale nella sezione di imposta della fondazione per la verifica di schiacciamento
- $V$  = azione di taglio nella sezione di imposta della fondazione per la verifica di schiacciamento
- $\sigma_{t, \text{valle}}$  = pressione sul terreno a valle
- $\sigma_{t, \text{monte}}$  = pressione sul terreno a monte
- $\% \text{ comp.}$  = percentuale di sezione compressa
- $M \text{ valle}$  = momento sulla suola a valle (per il calcolo dell'armatura inferiore)
- $M \text{ monte}$  = momento sulla suola a monte (per il calcolo dell'armatura superiore)

## K+#\$ Armature

Utilizzando il menu Armature si ha la schermata delle azioni interne nelle varie sezioni a distanza di 1 m lungo la parete, il paraghiaia, la suola a valle e la suola a monte. In ciascuna sezione sono riportati i valori dell'area minima di acciaio e delle tensioni massime di compressione e taglio nel calcestruzzo.

In figura 1 è riportata la schermata relativa all'esempio Help1 calcolato con le NTC 2008.

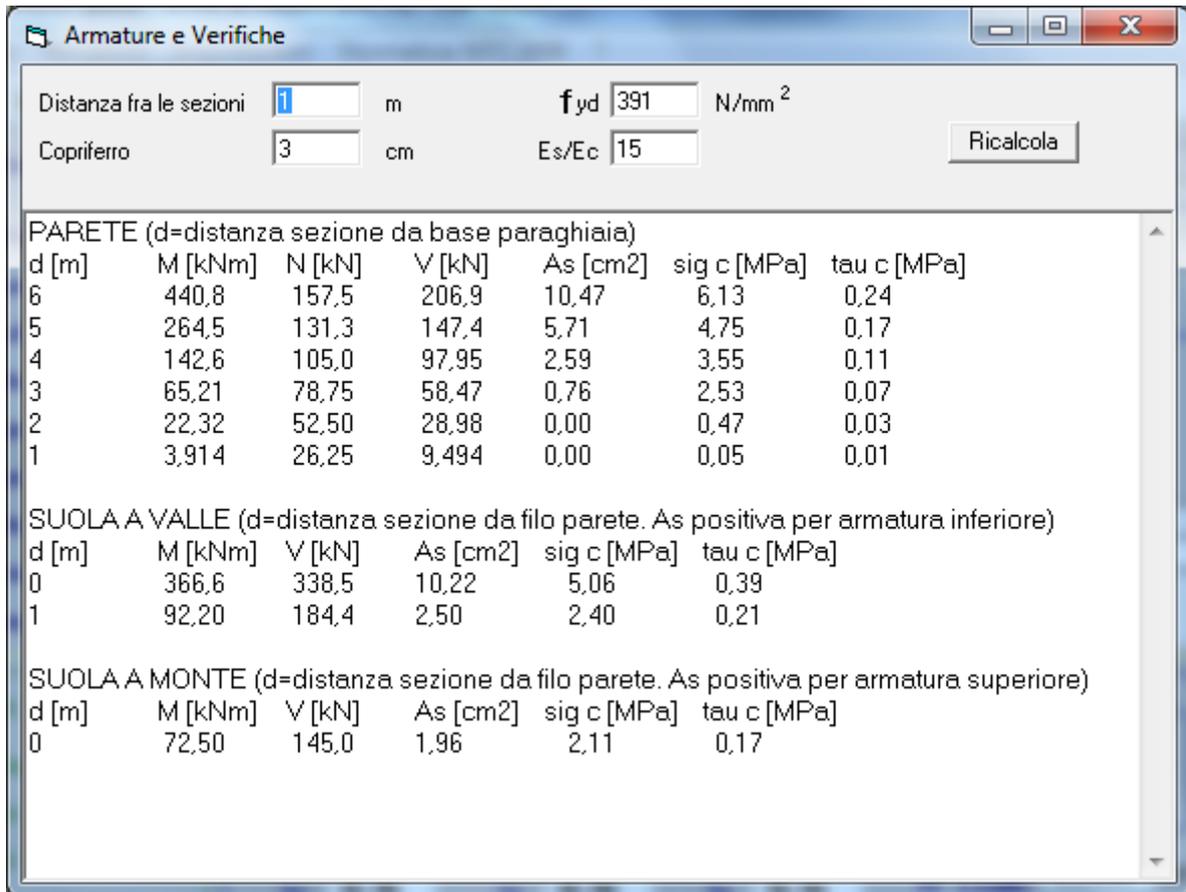


Fig. 1 – Armature secondo le NTC 2008

Poiché le sollecitazioni sono relative allo stato limite ultimo, le armature sono calcolate assumendo per l'acciaio la tensione di snervamento di progetto:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1,15} = 391 \text{ MPa}$$

Se si usa un acciaio diverso dal B450C si può cambiare il valore di f<sub>yd</sub>. Il progetto dell'armatura viene eseguito col metodo n, operando a favore di sicurezza. La tensione sig c nel calcestruzzo va confrontata con il valore f<sub>cd</sub> della resistenza di progetto. La verifica esatta si può eseguire con il programma VcaSlu.

In figura 2 è riportata la schermata relativa all'esempio Help1 calcolato con il DM '96:

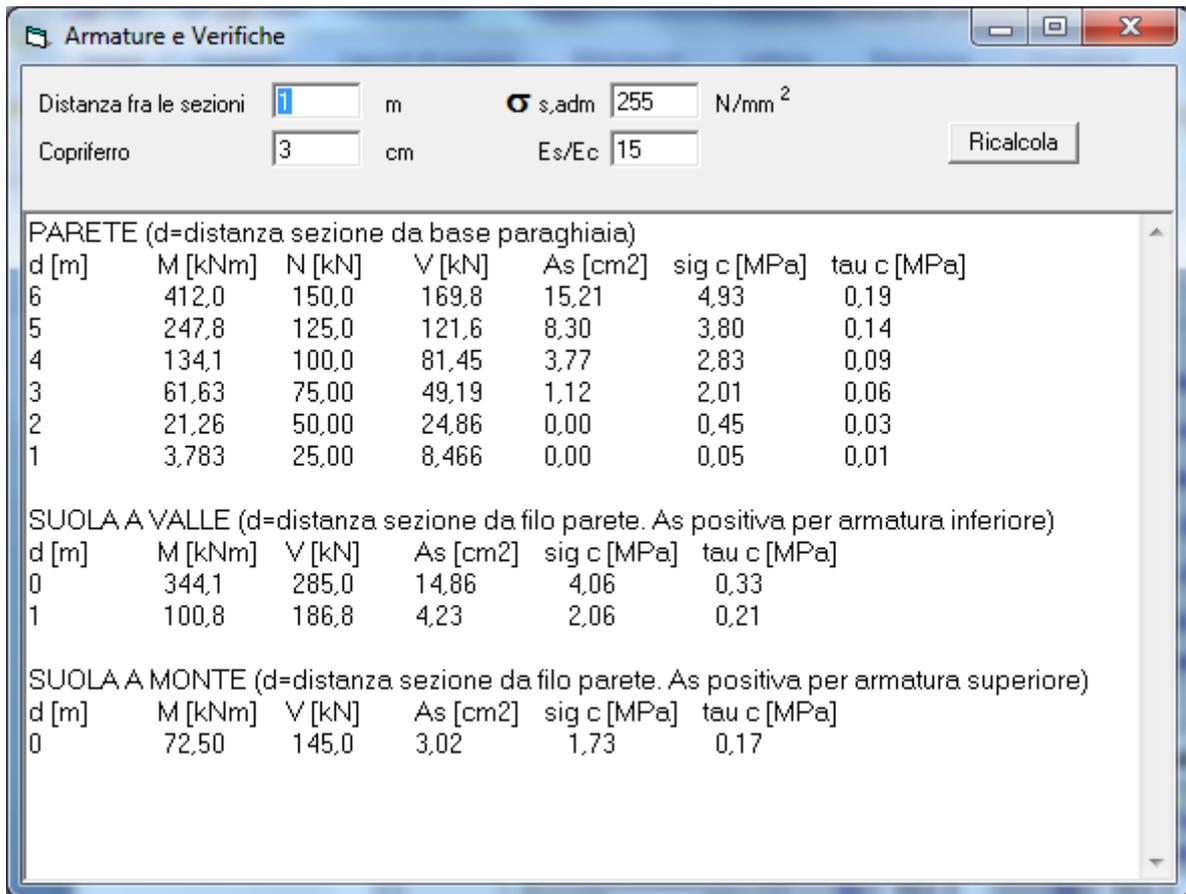


Fig. 2 – Armature secondo il DM '96

In questo caso le armature sono calcolate, col metodo n, in base alla tensione ammissibile nell'acciaio.

# K+#\$ METODO DI CALCOLO secondo le NTC 2008 – Esempio semplice

Usare il file di esempio Help1.mur.

**Titolo :** Esempio semplice file help1

Altezza paraghiaia (m) h1 0 Angolo attrito interno  $\varphi^o$  30  
 Spessore paraghiaia (m) s1 0 Ang. attrito terra-muro  $\delta^o$  0  
 Inclinazione parete (%) i 0 Ang. attrito fondazione  $\varphi_f^o$  30  
 Altezza parete (m) h2 6 Peso spec. terre [kN/m3]  $\gamma_t$  20  
 Spessore in testa (m) s2 1 Peso spec. muro [kN/m3]  $\gamma_m$  25  
 Spessore alla base (m) s3 1 **Dati Sisma**  $K_v$  0,0500  $K_h$  0,0999  
 Altezza fondazione (m) h3 1 **N° lati terreno** 1  
 Sbalzo fond. contro terra L1 1  
 Larghezza totale fond. L2 4 **Calcolo** **Visualizza**

	Lungh.	Dislivello	q
Lato 1	10	0	0

**Parete**

St 147,3 kN  
 Sq 0 kN  
 Ss 32,65 kN  
 Si 26,97 kN  
 M 440,8 kNm  
 N 157,5 kN  
 V 206,9 kN  
 ?2

**Fondazione**

Ribaltamento		Scorrimento		Schiacciamento	
St	200,5 ?3	St	200,5 ?3	St	200,5 ?2
Sq	0	Sq	0	Sq	0
Ss	24,76	Ss	24,76	Ss	44,44
Si	36,96	Si	36,96	Si	36,96
Mr	638,4	V	262,2	M	416,6
Ms	945,3	N	351,5	N	388,5
Ms/Mr	1,481	c. scor.	0,6192	V	281,9

**Sbalzi Fondazione**

M valle 366,6  
 M monte 72,50  
 $\sigma_{t, valle}$  0,2094 MPa  
 $\sigma_{t, monte}$  0  
 % comp. 46,38  
**Verifiche più gravose**

Fig. 1 Esempio Help1.mur

Si illustra il metodo di calcolo con un esempio semplice di muro con paramento interno verticale, angolo di attrito terra-muro  $\delta=0$ , terrapieno orizzontale, assenza di sovraccarico.

Per il sisma si considerano i dati del comune di Tolmezzo (UD) in Friuli, zona di prima categoria secondo la precedente classificazione. Si sceglie la categoria di sottosuolo C e la categoria topografica T1. Si ottiene un coefficiente sismico orizzontale  $k_h=0,0999$ , praticamente coincidente col coefficiente di intensità sismica  $C=(S-2)/100=0,10$  corrispondente al grado di sismicità  $S=12$  utilizzato se si sceglie la normativa DM 96. Il confronto fra i risultati delle verifiche secondo le due normative è quindi basato sugli stessi dati progettuali.

<sup>K</sup> calcolo;spinta;sisma;esempio

+ auto

# IDH\_030

<sup>S</sup> Tipi di sezione

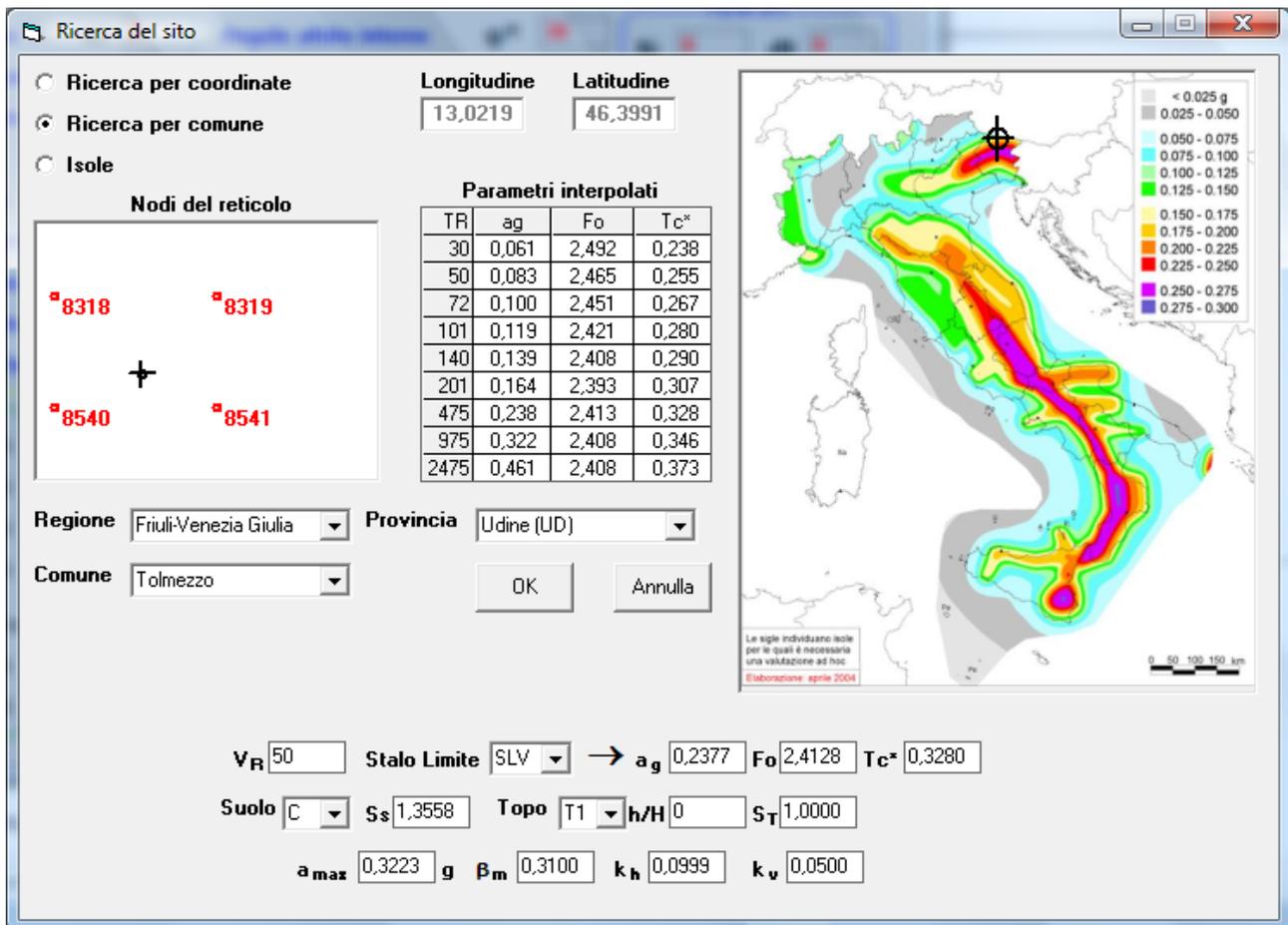


Fig. 2 – Parametri sismici

Per le verifiche si usano i coefficienti parziali di sicurezza di default:

Verifiche STATICHE		Verifiche SISMICHE			
		Verifica Parete	Verifica Fondazione		
			Ribalt.	Scorr.	Schiacc.
Angolo d'attrito interno	$\gamma_\phi$	1,25	1,25	1,25	1,25
Peso cuneo di spinta	$\gamma_{GS}$	1,1	1,1	1	1
Peso zavorra	$\gamma_{GZ}$	1,1	0,9	1	1
Peso proprio muro	$\gamma_{GM}$	1,1	0,9	1	1
Sovraccarico	$\gamma_Q$	1,5	1,5	1,3	1,3
Azione verticale impalcato	$\gamma_{Ni}$	1,1	0,9	1	1
Azione orizzontale impalcato	$\gamma_{Vi}$	1,5	1,5	1,3	1,3

Verifiche STATICHE		Verifiche SISMICHE			
		Verifica Parete	Verifica Fondazione		
			Ribalt.	Scorr.	Schiacc.
Angolo d'attrito interno	$\gamma_\phi$	1,25	1,25	1,25	1,25
Peso cuneo di spinta	$\gamma_{GS}$	1	1	1	1
Peso zavorra	$\gamma_{GZ}$	1	1	1	1
Peso proprio muro	$\gamma_{GM}$	1	1	1	1
Sovraccarico	$\gamma_Q$	1	1	1	1
Azione verticale impalcato	$\gamma_{Ni}$	1	1	1	1
Azione orizzontale impalcato	$\gamma_{Vi}$	1	1	1	1

## 1. Verifica della parete

### 1.1. Verifica statica

Per la verifica statica della parete si usano i coefficienti parziali indicati dalle NTC al §6.5.3.1.1 per lo stato limite di ribaltamento che deve essere trattato come uno stato limite di equilibrio come corpo

rigido (EQU), utilizzando i coefficienti parziali sulle azioni della tabella 2.6.I e adoperando coefficienti parziali del gruppo (M2) per il calcolo delle spinte.

Si adottano quindi i valori:

$$\gamma_{GS}=1,1 \qquad \gamma_M=\gamma_\phi=1,25$$

La spinta viene pertanto calcolata considerando per l'angolo d'attrito interno delle terre il valore di progetto:

$$\varphi_d = \text{atg}(\text{tg}\varphi / \gamma_\phi) = \text{atg}(\text{tg}30^\circ / 1,25) = 24^\circ,79$$

Si noti che l'applicazione di questi coefficienti parziali di sicurezza determina un incremento della spinta statica delle terre pari a circa il 35% rispetto al valore calcolato col DM '96 (e col DM '88). La verifica della parete col metodo agli stati limite secondo le NTC è quindi meno gravosa rispetto a quella eseguita col metodo delle tensioni ammissibili secondo il DM '96.

Si noti inoltre che si adottano i coefficienti parziali per lo SLU di equilibrio come corpo rigido (EQU) anziché quelli per lo SLU di tipo strutturale (STR) perché determinano valori più gravosi della spinta delle terre. A parere dello scrivente, dato che il muro di sostegno deve globalmente soddisfare la verifica a ribaltamento, le sue parti strutturali devono resistere alle azioni ottenute con i coefficienti parziali EQU e non solo a quelle inferiori indicate dalle istruzioni alle NTC al §C6.5.3.1.1, utilizzando l'Approccio 1 Combinazione 1 (A1+M1+R1).

La spinta statica per metro di larghezza  $S_t$ , esercitata dal cuneo di terreno in assenza di sisma, si ricava dal triangolo di equilibrio (Fig. 3a) conoscendo il peso  $P$  del cuneo e l'inclinazione della reazione  $R$  rispetto al piano di scorrimento. Il cuneo che dà la massima spinta è quello di Fig. 3a, per il quale si ha  $S_t=162,0$  kN/m. Questo valore, ottenuto dal programma ricercando numericamente il cuneo di massima spinta, corrisponde ovviamente a quello ricavabile con la classica formula di Coulomb:

$$\text{coeff. di spinta attiva} \quad K_a = \tan^2(45 - \varphi_d / 2) = 0.409$$

$$\text{pressione alla base della parete} \quad q_t = K_a \gamma_t h \cdot \gamma_G = 54,0$$

$$\text{spinta totale delle terre} \quad S_t = 1/2 q_t h = 162,0 \text{ kN}$$

La spinta  $S_t$  si considera applicata, secondo la teoria classica, ad  $h/3$ .

Allo spiccato dalla fondazione si hanno quindi le seguenti azioni interne per unità di larghezza:

$$M = S_t h/3 = 324,0 \text{ kNm}$$

$$N = A_c \gamma_M \gamma_{GM} = 6 \cdot 25 \cdot 0,9 = 135 \text{ kN}$$

$$V = S_t = 162 \text{ kN}$$

Questi valori possono essere visualizzati nel programma selezionando "Verifiche statiche" nella casella a discesa:



## 1.2. Verifica sismica con $k_v > 0$

Per la verifica sismica si usa  $\gamma_\phi=1,25$ ; tutti gli altri coefficienti parziali sono unitari. La parete del muro esercita sul cuneo una spinta  $S_{ts}$  tale da equilibrare, insieme alla reazione  $R$ , oltre al peso  $P$  del cuneo, anche la forza di inerzia  $F = k_h \cdot P = 0,0999 \cdot 279,2 = 27,9$ , cioè la risultante  $PF$  di Fig. 3b. Il cuneo di massima spinta è rappresentato nella figura. Si hanno i seguenti valori:

- peso del cuneo  $P = 0,5 \cdot 6 \cdot 4,65 \cdot 20 = 279,2$  kN/m
- forza verticale con sisma  $P_s = (1+k_v) \cdot P = 1,0500 \cdot 279,2 = 293,2$  kN/m
- forza d'inerzia orizzontale  $F = k_h \cdot P = 0,0999 \cdot 279,2 = 27,9$  kN/m
- spinta  $S_{ts} = 179,9$  kN/m

La differenza fra la spinta sismica e la spinta statica  $S_s = S_{ts} - S_t = 179,9 - 147,3 = 32,6$  è l'incremento di spinta dovuto al sisma, che può considerarsi applicato a  $1/3 h$  come la spinta statica (secondo il DM '96  $S_s$  andava invece applicata a  $2/3 h$ ). Si noti che il valore della spinta statica ( $S_t = 147,3$  kN/m) è

inferiore a quello calcolato al punto precedente ( $St=162,0$  kN/m) perché in presenza di sisma si adotta, per il coefficiente parziale sul peso specifico delle terre, il valore  $\gamma_{GS}=1,0$ .

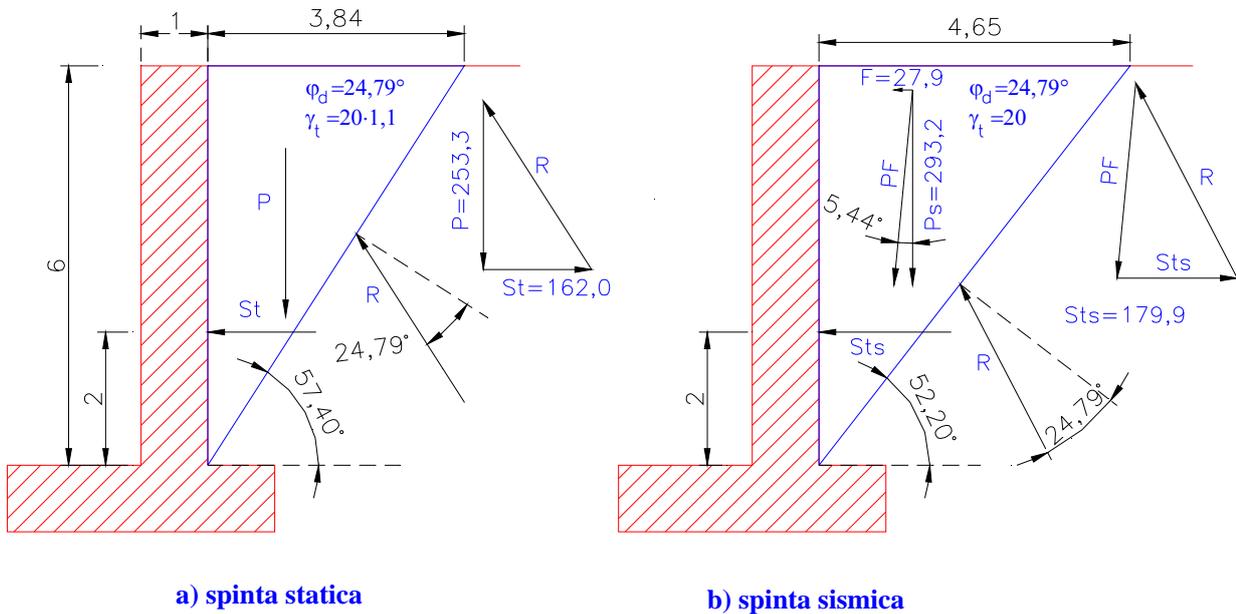


Fig. 3 – Spinta statica e spinta sismica

Allo stesso risultato si perviene impiegando la formula di Mononobe e Okabe, che estende la teoria di Coulomb al caso di presenza di sisma.

La spinta attiva del terrapieno (statica + sismica) è pari a:

$$S_{AE} = 0,5 \cdot \gamma_d \cdot (1 + k_v) \cdot K_{AE} \cdot H^2$$

Il coefficiente di spinta attiva  $K_{AE}$  è fornito dalla seguente relazione:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi_d - \theta - \beta)}{\cos \theta \cdot \cos^2 \beta \cdot \cos(\delta + \beta + \theta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi_d + \delta) \cdot \sin(\varphi_d - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cdot \cos(i - \beta)}} \right]^2} = 0,4760$$

in cui:

$\gamma_d = 20 \cdot 1 = 20 =$  valore di progetto del peso specifico delle terre

$\varphi_d = 24^\circ,79 =$  valore di progetto dell'angolo di attrito interno

$\beta = 0 =$  angolo intradosso muro rispetto alla verticale

$\delta = 0 =$  angolo di attrito terra muro

$i = 0 =$  inclinazione della superficie del terrapieno

$\theta =$  inclinazione della risultante della forza peso e delle forze di inerzia agenti sul cuneo :

$$\tan \theta = \frac{k_h W}{W + k_v W} = \frac{k_h}{1 + k_v} = \frac{0,0999}{1 + 0,0500} = 0,0951 \rightarrow \theta = 5^\circ,435$$

Si ottiene quindi il valore della spinta, statica + sismica:

$$Sts = S_{AE} = 0,5 \cdot 20 \cdot (1 + 0,0500) \cdot 0,4760 \cdot 6^2 = 179,9 \text{ kN}$$

Alle spinte  $St$  e  $Ss$  del terrapieno vanno aggiunte le azioni orizzontali, di risultante  $Si$ , della forza d'inerzia  $Fp$  della parete e della forza d'inerzia  $Fz$  della zavorra (di peso  $Pz$ ), applicate nei rispettivi baricentri e l'azione verticale del peso  $Pp$  della parete:

$$P_z = 20 \cdot 1 \cdot 6 \cdot \gamma_{GZ} = 120,0$$

$$F_z = k_h \cdot P_z = 12,0$$

$$P_p = 25 \cdot 1 \cdot 6 \cdot \gamma_{GM} = 150,0$$

$$F_p = k_h \cdot P_p = 15,0$$

$$S_i = F_p + F_z = 27,0$$

Allo spiccatto della parete si hanno quindi le azioni interne:

$$M = (147,3 + 32,6) \cdot 2 + 27,0 \cdot 3 = 440,8 \text{ kNm/m}$$

$$N = P_p \cdot (1 + k_v) = 157,5 \text{ kN/m}$$

$$V = S_t + S_s + S_i = 147,3 + 32,6 + 27,0 = 206,9 \text{ kN/m}$$

### 1.3. Verifica sismica con $k_v < 0$

Ripetendo il calcolo con il valore negativo del coefficiente sismico verticale si ottiene:

$$S_t = 147,3 \text{ kN/m}$$

$$S_s = 18,2 \text{ kN/m}$$

$$S_i = 27,0 \text{ kN/m}$$

$$M = 411,9 \text{ kNm/m}$$

$$N = 142,5 \text{ kN/m}$$

$$V = 192,5 \text{ kN/m}$$

### Combinazione più gravosa

Parete	
St	147,3 kN
Sq	0 kN
Ss	32,65 kN
Si	26,97 kN
M	440,8 kNm
N	157,5 kN
V	206,9 kN
	2

Nel form vengono riportati i valori delle sollecitazioni corrispondenti alla combinazione più gravosa. Il tipo di combinazione è indicato con un numero nella casella cerchiata in rosso nella figura. La numerazione è la seguente:

1 – combinazione statica

2 – combinazione sismica con  $k_v > 0$

3 – combinazione sismica con  $k_v < 0$

Per la verifica della parete la combinazione più gravosa è normalmente quella che determina il valore massimo del momento flettente, nel caso presente la combinazione sismica con  $k_v > 0$ . Poiché con questa combinazione si ha anche il valore massimo dell'azione assiale, che nel caso di sezione in c.a. può determinare una minor richiesta di armatura, può essere opportuno verificare anche le altre combinazioni, selezionandole con la casella combinata di figura.



Si noti che la combinazione sismica non è sempre la più gravosa, per sisma moderato (nel caso presente per  $kh < 0,02$ ) la combinazione più gravosa è quella statica.

Si noti inoltre che la verifica secondo il DM 1996 (metodo delle tensioni ammissibili) è molto più gravosa perché determina un valore del momento pari a 412,0 kNm, di poco inferiore a quello qui calcolato allo SLU.

## 2. Verifica della fondazione

### 2.1. Verifica a ribaltamento

Si illustra il calcolo per la condizione più gravosa che è la **combinazione sismica con  $k_v < 0$  (combinazione 3)**.

Si adottano i seguenti valori dei coefficienti parziali:

$$\gamma_\varphi = 1,25 \quad \gamma_{GS} = 1 \quad \gamma_{GZ} = 1 \quad \gamma_{GM} = 1$$

Si procede in modo analogo a quello per il calcolo della spinta sulla parete. Si considera come facente parte del muro il prisma di terra sovrastante la scarpa interna (chiamato zavorra e punteggiato in Fig. 4).

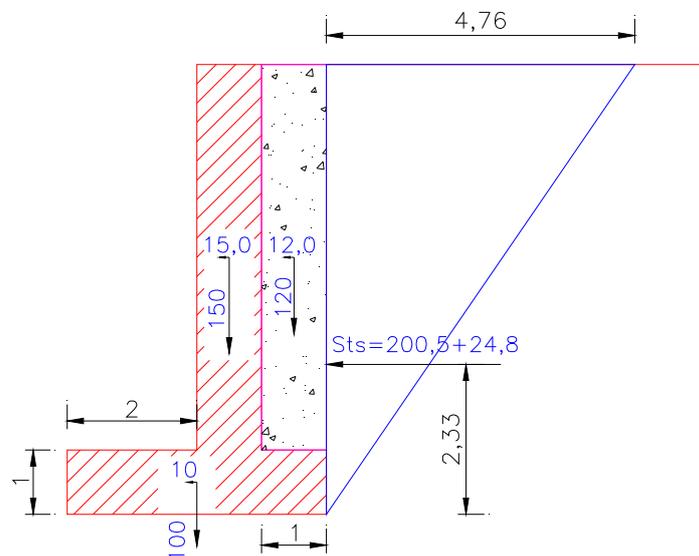


Fig. 4 – Spinta statica e sismica per verifiche fondazione

Si ottengono i valori della spinta statica del terrapieno  $S_t = 200,5$  e di quella sismica  $S_s = 24,76$ , con una spinta totale  $S_{ts} = 225,3$  kN/m applicata a un terzo dell'altezza.

All'effetto ribaltante della spinta  $S_{ts}$  del terrapieno va aggiunto l'effetto delle forze d'inerzia della parete ( $F_p$ ), della fondazione ( $F_f$ ) e del prisma di terra sovrastante la scarpa a monte ( $F_z$ ) (zavorra), applicate nei rispettivi baricentri. Si ha quindi:

$$P_p = 25 \cdot 1 \cdot 6 \cdot \gamma_{GM} = 150,0$$

$$P_z = 20 \cdot 1 \cdot 6 \cdot \gamma_{GM} = 120,0$$

$$P_f = 25 \cdot 1 \cdot 4 \cdot \gamma_{GM} = 100,0$$

$$F_p = k_h \cdot P_p = 15,0$$

$$F_z = k_h \cdot P_z = 12,0$$

$$F_f = k_h \cdot P_f = 10,0$$

$$S_i = F_p + F_z + F_f = 37,0$$

Si ha quindi il seguente valore del momento ribaltante:

$$M_r = (200,5 + 24,76) \cdot 2,333 + (15,0 + 12,0) \cdot 4 + 10,0 \cdot 0,5 = 638,4$$

Per il calcolo del momento stabilizzante si deve applicare anche il coefficiente sismico verticale  $k_v = -0,05$ :

$$M_s = (150,0 \cdot 2,5 + 120,0 \cdot 3,5 + 100,0 \cdot 2) \cdot (1 + k_v) = 945,3$$

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento  $M_s/M_r = 1,48 > 1$  O.K. La verifica è quindi soddisfatta con un margine di sicurezza superiore al 50%. La verifica secondo il DM 1996 (metodo delle tensioni ammissibili) dà invece un valore appena ammissibile del coefficiente di sicurezza (1,558). **La verifica secondo il DM 1996 è quindi molto più gravosa.**

## 2.2. Verifica della fondazione a scorrimento

Si illustra il calcolo per la condizione più gravosa che è la **combinazione sismica con  $k_v < 0$  (combinazione 3)**.

È uno stato limite ultimo di tipo geotecnico (GEO) e quindi si usano i coefficienti parziali dell'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2):

$$\gamma_\phi = 1,25 \quad \gamma_{GS} = 1 \quad \gamma_{GZ} = 1 \quad \gamma_{GM} = 1$$

La spinta delle terre è quindi calcolata con l'angolo di attrito interno:

$$\phi_d = 24^\circ,79$$

La componente orizzontale della spinta vale  $S_{ts} = 200,5 + 24,76 = 225,3$ . La forza di inerzia totale della zavorra, della parete e della fondazione vale  $S_i = (120 + 150 + 100) \cdot k_h = 36,96$ .

Alla base della fondazione si ha:

$$N = (120 + 150 + 100) \cdot (1 + k_v) = 370 \cdot 0,95 = 351,5$$

$$V = 225,3 + 36,96 = 262,2$$

Il coefficiente di sicurezza allo scorrimento viene calcolato nel modo seguente:

Forza massima di attrito:

$$F_f = N \cdot \tan \phi_d / \gamma_M = 351,5 \cdot \tan 30 / 1,25 = 162,4$$

$$\text{coeff. di sicurezza} = F_f / V = 0,619$$

**La verifica non è soddisfatta essendo il coefficiente di sicurezza  $< 1$ .**

## 2.3. Verifica della fondazione a schiacciamento

Si illustra il calcolo per la condizione più gravosa che è la **combinazione sismica con  $k_v > 0$  (combinazione 2)**.

Si usano gli stessi coefficienti parziali della verifica a scorrimento. La spinta  $S_{ts} = 200,5 + 44,4 = 244,9$  determina il momento  $M = 244,9 \cdot 2,33 = 571,4$ . Per effetto delle forze d'inerzia il momento diviene:

$$M = 571,4 + (120 \cdot 4 + 150 \cdot 4 + 100 \cdot 0,5) \cdot k_h = 684,3$$

Per effetto del peso del muro e della zavorra si ha:

$$M = 684,3 - (150 \cdot 0,5 + 120 \cdot 1,5) \cdot (1 + k_v) = 416,6$$

$$N = (150 + 120 + 100) \cdot (1 + k_v) = 388,5$$

$$V = 244,9 + 36,96 = 281,9$$

La pressione sul terreno viene calcolata nel modo seguente:

$$e = M/N = 1,072 \quad (\text{eccentricità})$$

$$u = b/2 - e = 0,928 \quad (\text{distanza dal bordo compresso})$$

$$\sigma_t = N/(2u) = 388,5/(2 \cdot 0,928) = 209,4 \text{ kN/m}^2 = 0,2094 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{percentuale sezione compressa} = 2u/b \% = 46,4 \%$$

La suola a valle è soggetta, allo spiccato della parete, al momento flettente (v. Fig. 5):

$$M_v = 388,5 \cdot (2 - 0,928) - 50 \cdot 1 = 366,5 \quad (\text{tende le fibre inferiori})$$

La suola a monte è soggetta, allo spiccato della parete, al momento flettente:

$$M_m = (25 + 120) \cdot 0,5 = 72,5 \quad (\text{tende le fibre superiori})$$

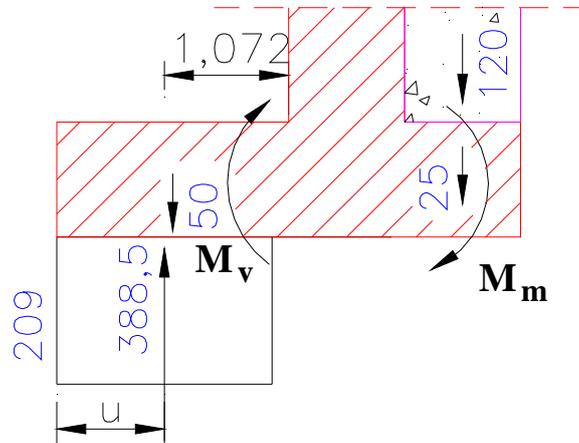


Fig. 5 – Sollecitazioni suola di fondazione

K+#\$ **METODO DI CALCOLO secondo le NTC 2008 – Caso generale**

Usare il file di esempio Help2.mur.

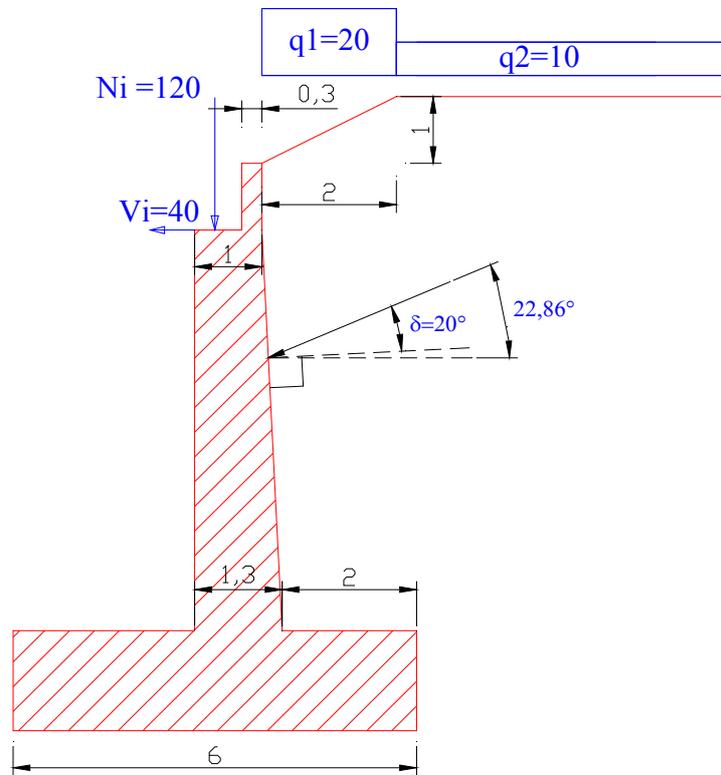


Fig. 6 – Caso generale

---

K calcolo;spinta;sisma;esempio;spalla;generale  
+ auto  
# IDH\_040  
\$ Caso generale

Muro/Spalla - Unità di misura [kN, m] - File: help2

File Armature Impostazioni Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : Caso generale file Help2

Altezza paraghiaia (m) h1 1 Angolo attrito interno  $\varphi^o$  35

Spessore paraghiaia (m) s1 0,3 Ang. attrito terra-muro  $\delta^o$  20

Inclinazione parete (%) i 5 Ang. attrito fondazione  $\varphi_f^o$  30

Altezza parete (m) h2 6 Peso spec. terre [kN/m3]  $\gamma_t$  20

Spessore in testa (m) s2 1 Peso spec. muro [kN/m3]  $\gamma_m$  25

Spessore alla base (m) s3 1,3 Dati Sisma  $K_v$  0,0500  $K_h$  0,0999

Altezza fondazione (m) h3 1,5 N° lati terreno 2

Sbalzo fond. contro terra L1 2

Larghezza totale fond. L2 6

Impalcato

Ni 120 dN 0,3

Vi 40 kN

Zoom

	Lungh.	Dislivello	q
Lato 1	2	1	20
Lato 2	5	0	10

Calcolo Visualizza

Parete

St 199,1 kN

Sq 34,84 kN

Ss 62,90 kN

Si 50,95 kN

M 1 090 kNm

N 424,3 kN

V 364,5 kN

Fondazione

Ribaltamento Scorrimento Schiacciamento

St 275,2 ?3 St 275,2 ?3 St 275,2 ?2

Sq 22,24 Sq 22,24 Sq 22,24

Ss 48,66 Ss 48,66 Ss 77,62

Si 73,43 Si 73,43 Si 73,43

Mr 928,5 V 438,6 M 614,3

Ms 3 111 N 936,6 N 1 020

Ms/Mr 3,351 c. scor. 0,9862 V 465,9

Sbalzi Fondazione

M valle 638,6

M monte 316,8

$\sigma_{t, valle}$  0,2127 MPa

$\sigma_{t, monte}$  0

% comp. 79,93

Verifiche più gravose

I calcoli sono illustrati facendo riferimento alle figure ottenute cliccando sul comando “Visualizza”. Si illustrano solo le verifiche più gravose, che in questo caso sono tutte di tipo sismico e quindi ottenute con i seguenti valori di default dei coefficienti parziali di sicurezza:



## 1. Verifica della parete

La spinta viene pertanto calcolata considerando per l'angolo d'attrito interno delle terre il valore di progetto:

$$\phi_d = \text{atg}(\text{tg}\phi / \gamma_{\phi}) = \text{atg}(\text{tg}35^{\circ} / 1,25) = 29^{\circ},26$$

In figura 7 sono rappresentati per la parete:

- il cuneo di massima spinta
- la spinta statica delle terre  $S_t$  + la spinta sismica  $S_s$
- la spinta statica del sovraccarico  $S_q$
- la risultante  $Q$  della parte di sovraccarico agente sul cuneo di massima spinta
- il peso  $P_p$  della parete
- la forza d'inerzia  $F_p$  della parete
- la forza d'inerzia  $F_z$  della zavorra (v. Fig. 8)

I vettori sono rappresentati in scala nella loro effettiva posizione.

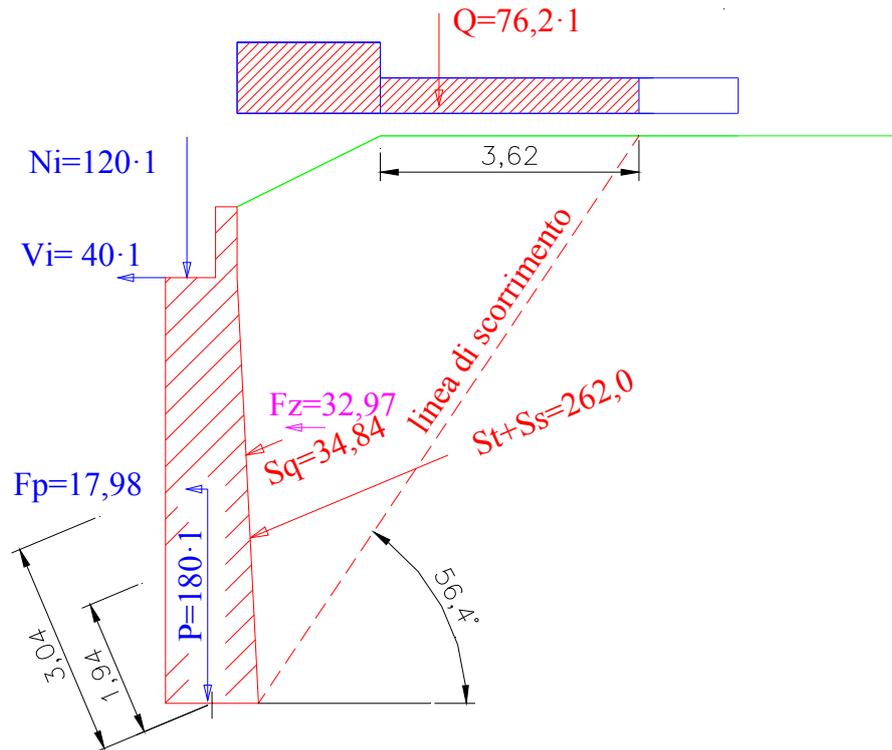


Fig. 7 – Sollecitazioni parete

Nella sezione al piede della parete si hanno le seguenti azioni interne:

$$\begin{aligned}
 N &= 120 \cdot 1 + 180 \cdot 1 \cdot (1 + k_v) + (262,0 + 34,84) \sin 22^\circ,86 = 424,3 \text{ kN/m} \\
 V &= 40 \cdot 1 + 17,98 + 32,97 + (262,0 + 34,84) \cos 22^\circ,86 = 364,5 \text{ kN/m} \\
 M &= 120 \cdot 1 \cdot 0,35 + 40 \cdot 1 \cdot 6 + 17,98 \cdot 3,02 + 32,97 \cdot 3,89 + 180 \cdot 1 \cdot (1 + k_v) \cdot 0,06 + 262,0 \cdot 1,94 + \\
 &\quad + 34,84 \cdot 3,04 = 1090 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}$$

Si noti che non è stato applicato nessun coefficiente di amplificazione sismica alle azioni  $N_i$  e  $V_i$  trasmesse dall'impalcato, i cui valori devono essere introdotti dal progettista comprensivi degli effetti sismici.

## 2. Verifica della fondazione

### 2.1. Verifica a ribaltamento

In figura 8 sono rappresentati in scala per la fondazione:

- il cuneo di massima spinta
- la spinta statica delle terre  $St$  + la spinta sismica  $Ss$
- la spinta statica del sovraccarico  $Sq$
- la risultante  $Q$  della parte di sovraccarico agente sul cuneo di massima spinta
- il peso  $Pp$  della parete
- il peso  $Pz$  della zavorra (prisma di terra sovrastante la scarpa a monte)
- il peso  $Pf$  della fondazione
- la forza d'inerzia  $Fp$  della parete
- la forza d'inerzia  $Fz$  della zavorra
- la forza d'inerzia  $Ff$  della fondazione

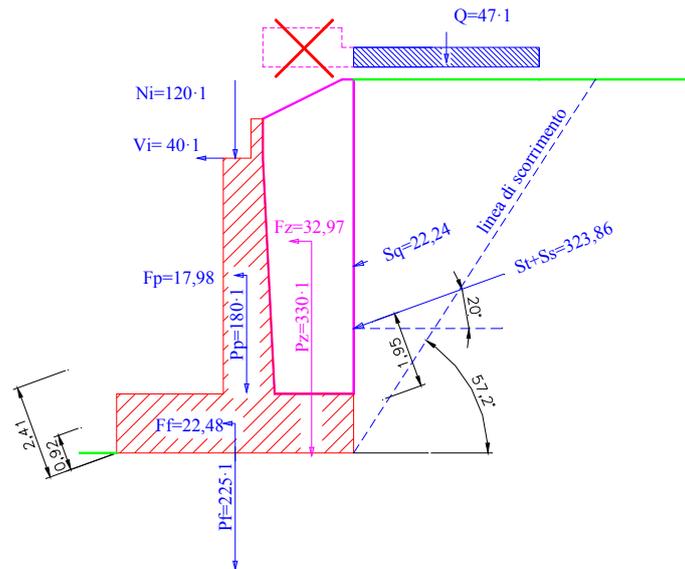


Fig. 8 – Sollecitazioni fondazione

Alle spinte  $St$ ,  $Sq$  e  $Ss$  del terrapieno vanno aggiunte le azioni dei pesi e delle forze d'inerzia della parete, della fondazione e del prisma di terra sovrastante la scarpa a monte, applicate nei rispettivi baricentri. Si hanno quindi i seguenti valori del momento ribaltante e del momento stabilizzante:

$$Mr = 323,86 \cdot 0,923 + 22,24 \cdot 2,411 + 17,98 \cdot 4,52 + 32,97 \cdot 5,39 + 22,48 \cdot 0,75 + 40 \cdot 1 \cdot 7,5 = 928,5$$

$$Ms = 120 \cdot 1 \cdot 3 + (180 \cdot 3,29 + 225 \cdot 3 + 330 \cdot 4,937) \cdot 1 \cdot (1 - k_v) = 3111$$

$$\text{coefficiente di sicurezza al ribaltamento } Ms/Mr = 3,351 > 1 \text{ O.K.}$$

Si noti che la parte di sovraccarico  $q$  sovrastante la scarpa a monte non viene messa in conto, a favore di stabilità, perché potrebbe non essere presente trattandosi di azione variabile.

## 2.2. Verifica a scorrimento

La componente orizzontale della spinta vale:

$$So = (275,2 + 22,24 + 48,66) \cdot \cos 20^\circ = 346,1 \cdot \cos 20^\circ = 325,2$$

La forza di inerzia totale della zavorra, della parete e della fondazione vale :

$$Si = (330 + 180 + 225) \cdot kh = 73,4.$$

Alla base della fondazione si ha:

$$N = 346,1 \cdot \sin 20^\circ + (330 + 180 + 225) \cdot (1 - k_v) + 120 \cdot 1 = 936,6 \text{ kN/m}$$

$$V = 325,2 + 73,4 + 40 \cdot 1 = 438,6 \text{ kN/m}$$

Il coefficiente di sicurezza allo scorrimento viene calcolato nel modo seguente:

Forza massima di attrito:

$$Ff = N \cdot \tan \phi / \gamma_M = 936,6 \cdot \tan 30 / 1,25 = 432,6$$

$$\text{coeff. di sicurezza (c.scor.)} = Ff / V = 0,986$$

La verifica non è soddisfatta (di poco) essendo il coefficiente di sicurezza  $< 1$ . Si noti invece che secondo il DM '96 la verifica sarebbe soddisfatta (c.scor. = 1,409  $> 1,3$ ).

## 2.3 Verifica della fondazione a schiacciamento

La spinta delle terre (statica+sismica)  $Sts = 275,2 + 77,62 = 352,8$  e la spinta dovuta al sovraccarico  $Sq = 22,24$  determinano il momento e l'azione normale:

$$M = 352,8 \cdot 1,950 + 22,24 \cdot 3,437 = 764,4.$$

$$N = (352,8 + 22,24) \cdot \sin 20^\circ = 128,3$$

Per effetto delle forze d'inerzia il momento diviene:

$$M=764,4+(180 \cdot 4,52+225 \cdot 0,75+330 \cdot 5,39) \cdot k_h=1040,2$$

Per effetto del peso del muro e della zavorra si ha:

$$M=1040,2-(180 \cdot 0,29+330 \cdot 1,937) \cdot (1+k_v)=314,2$$

$$N=128,3+(180+330+225) \cdot (1+k_v)=900,0$$

Per effetto delle azioni dell'impalcato si ha infine:

$$M=314,2+40 \cdot 1 \cdot 7,5+120 \cdot 1 \cdot 0=614,3$$

$$N=900,0+120 \cdot 1=1020,0$$

La pressione sul terreno viene calcolata nel modo seguente:

$$e = M/N = 0,6022$$

$$u = b/2 - e = 2,3978$$

$$\sigma_t = N/(2u) = 1020,0/(2 \cdot 2,3978) = 212,7 \text{ kN/m}^2 = 0.2127 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{percentuale di sezione compressa} = 2u/b \% = 79,93 \%$$

# K+#\$ METODO DI CALCOLO secondo DM 96 – Esempio semplice

Usare il file di esempio Help1.mur.

Muro/Spalla - Unità di misura [kN, m] - File: Help1

File Armature Impostazioni Normativa: DM 1996 ?

Titolo : Esempio semplice file help1

Altezza paraghiaia (m) h1 0 Angolo attrito interno  $\varphi^{\circ}$  30  
 Spessore paraghiaia (m) s1 0 Ang. attrito terra-muro  $\delta^{\circ}$  0  
 Inclinazione parete (%) i 0 Ang. attrito fondazione  $\varphi_f^{\circ}$  30  
 Altezza parete (m) h2 6 Peso spec. terre [kN/m<sup>3</sup>]  $\gamma_t$  20  
 Spessore in testa (m) s2 1 Peso spec. muro [kN/m<sup>3</sup>]  $\gamma_m$  25  
 Spessore alla base (m) s3 1 Grado di sismicità S 12  
 Altezza fondazione (m) h3 1 N\* lati terreno 1  
 Sbalzo fond. contro terra L1 1  
 Larghezza totale fond. L2 4

Impalcato  
 Ni 0 dN 0  
 Vi 0 kN

Zoom

	Lungh.	Dislivello	q
Lato 1	10	0	0

Calcolo Visualizza

**Parete**

St 120,0 kN  
 Sq 0 kN  
 Ss 22,76 kN  
 Si 27,00 kN  
 M 412,0 kNm  
 N 150,0 kN  
 V 169,8 kN

**Fondazione**

Ribaltamento	Scorrimento	Schiacciamento
St 163,3	St 163,3	St 163,3
Sq 0	Sq 0	Sq 0
Ss 30,98	Ss 30,98	Ss 30,98
Si 37,00	Si 37,00	Si 37,00
Mr 638,7	V 231,3	M 383,7
Ms 995,0	N 370,0	N 370,0
Ms/Mr 1,558	c.scor. 0,9235	V 231,3

Sbalzi Fondazione

M valle 344,1  
 M monte 72,50

$\sigma_{t, valle}$  0,2561 MPa  
 $\sigma_{t, monte}$  0  
 % comp. 72,23

Si illustra il metodo di calcolo con un esempio semplice (v. Fig. 2) di muro con paramento interno verticale, angolo di attrito terra-muro  $\delta=0$ , terrapieno orizzontale, assenza di sovraccarico, sisma con grado di sismicità  $S=12$  (coefficiente di intensità sismica  $C=(S-2)/100=0.10$ ).

La spinta statica  $St$  esercitata dal cuneo di terreno si ricava dal triangolo di equilibrio (Fig. 2a) conoscendo il peso  $P$  del cuneo e l'inclinazione della reazione  $R$  rispetto al piano di scorrimento. Il cuneo che dà la massima spinta è quello di Fig. 2a, per il quale si ha  $St=120$  kN. Questo valore corrisponde ovviamente a quello ricavato con la classica formula di Coulomb:

K calcolo;spinta;sisma;esempio  
 + auto  
 # IDH\_050  
 \$ Tipi di sezione

$$\text{coeff. di spinta attiva } K_a = \tan^2(45 - \varphi/2) = 0.333$$

$$\text{pressione alla base della parete } q_t = K_a \gamma h = 40$$

$$\text{spinta delle terre } St = 1/2 q_t h = 120$$

La spinta  $St$  si considera applicata, secondo la teoria classica, ad  $h/3$ .

In presenza di sisma la parete del muro esercita sul cuneo una spinta  $St_s$  tale da equilibrare, insieme alla reazione  $R$ , oltre al peso  $P$  anche la forza di inerzia  $F = C P$ , cioè la risultante  $PF$  di Fig. 2b. Il cuneo di massima spinta è rappresentato nella figura. La differenza  $S_s = St_s - St = 142.76 - 120 = 22.76$  è l'incremento di spinta dovuto al sisma, da applicare a  $2/3 h$  (la risultante delle forze d'inerzia è applicata nel baricentro del cuneo di spinta).

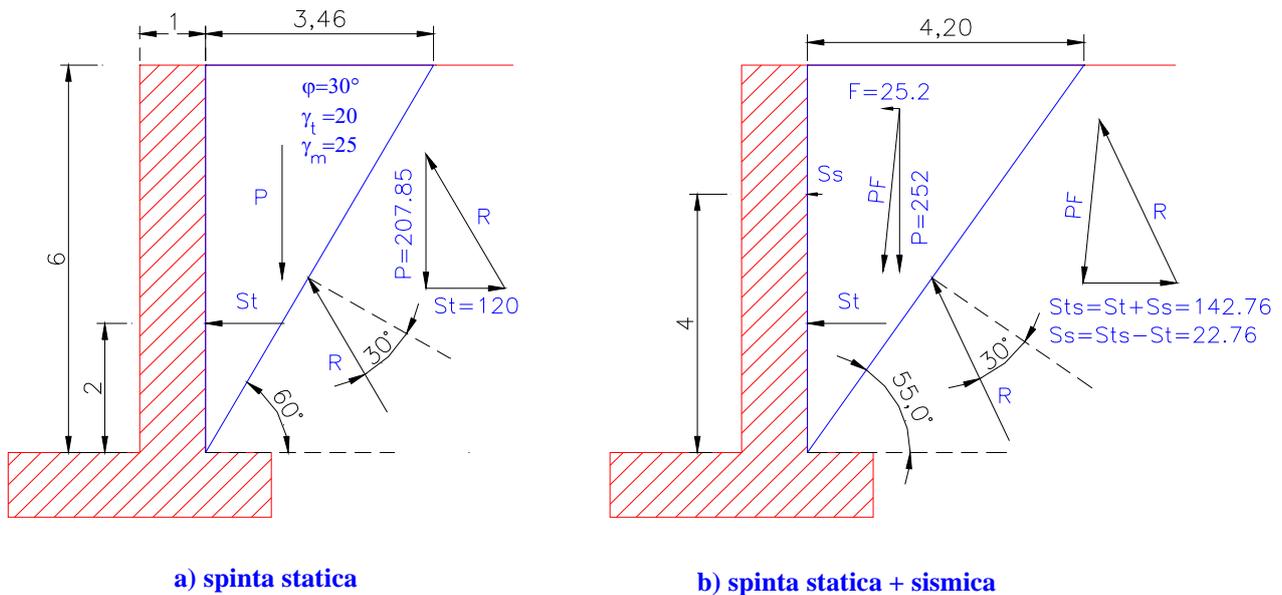


Fig. 2 – Spinta statica e spinta sismica

Allo stesso risultato si perviene impiegando le formule indicate al punto D. del D.M. 16-1-96, secondo le quali l'incremento di spinta  $\Delta F = F_s - F$  ( $S_s = St_s - St$  con i nostri simboli) si ricava nel modo seguente:

$\beta$  = angolo intradosso muro rispetto alla verticale

$$\beta = 0 \quad \theta = \arctg C = \arctg 0.10 = 5^\circ.71$$

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2 \beta \cos \theta} = 0.995$$

$$i' = i + \theta = 0 + 5^\circ.71 = 5^\circ.71 \quad (i = \text{angolo inclinaz. terrapieno})$$

$$\beta' = \beta + \theta = 5^\circ.71$$

Si calcola quindi la spinta  $F'$  nel caso fittizio di muro con intradosso inclinato di  $\beta'$  rispetto alla verticale e terrapieno inclinato di  $i'$  rispetto all'orizzontale, con le classiche formule di Müller-Breslau:

$$K'_a = \frac{\cos^2(\varphi - \beta')}{\cos^2\beta' \cos(\beta' + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta)\sin(\varphi - i')}{\cos(\beta' + \delta)\cos(\beta' - i')}} \right]^2} = 0.3985$$

$$F' = 1/2 K'_a \gamma h^2 = 143.47$$

$$F_s = A \cdot F' = 142.76 \quad \Delta F_s = 142.76 - 120 = 22.76$$

Alle spinte  $St$  e  $Ss$  del terrapieno vanno aggiunte l'azione verticale del peso  $Pp$  della parete e le azioni orizzontali, di risultante  $Si$  della forza d'inerzia  $Fp$  della parete e della forza d'inerzia  $Fz$  della zavorra (di peso  $Pz$ ), applicate nei rispettivi baricentri. Allo spiccato della parete si hanno quindi le azioni interne:

$$N = Pp = 25 \cdot 1 \cdot 6 = 150$$

$$Pz = 20 \cdot 1 \cdot 6 = 120$$

$$Fp = C \cdot Pp = 15$$

$$Fz = C \cdot Pz = 12$$

$$Si = Fp + Fz = 27.00$$

$$V = St + Ss + Si = 120 + 22.76 + 27.00 = 169.76$$

$$M = 120 \cdot 2 + 22.76 \cdot 4 + 15 \cdot 3 + 12 \cdot 3 = 412.04$$

Si procede nello stesso modo per il calcolo della spinta ai fini delle verifiche sul piano di fondazione. Si considera come facente parte del muro il prisma di terra (punteggiato in Fig. 3) sovrastante la scarpa interna.

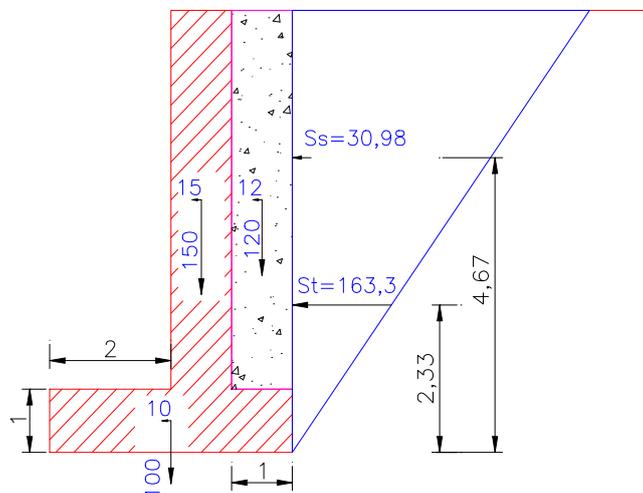


Fig. 3 – Spinta statica e sismica per verifiche fondazione

Alle spinte  $St$  e  $Ss$  del terrapieno vanno aggiunte le azioni dei pesi e delle forze d'inerzia della parete, della fondazione e del prisma di terra sovrastante la scarpa a monte, applicate nei rispettivi baricentri. Si hanno quindi i seguenti valori del momento ribaltante e del momento stabilizzante:

$$Mr = 163.3 \cdot 2.333 + 30.98 \cdot 4.667 + 12 \cdot 4 + 15 \cdot 4 + 10 \cdot 0.5 = 638.7$$

$$Ms = 120 \cdot 3.5 + 150 \cdot 2.5 + 100 \cdot 2 = 995$$

$$\text{coefficiente di sicurezza al ribaltamento } Ms/Mr = 1.558$$

Alla base della fondazione si hanno quindi le seguenti azioni interne:

$$N = 120 + 150 + 100 = 370$$

$$V = 163.3 + 30.98 + 12 + 15 + 10 = 231.3$$

$$M = M_r - 120 \cdot 1.5 - 150 \cdot 0.5 - 100 \cdot 0 = 383.7$$

Il coefficiente di sicurezza allo scorrimento viene calcolato nel modo seguente:

Forza massima di attrito:

$$F_f = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_f = 370 \cdot \operatorname{tg} 30 = 213.62$$

$$\text{coeff. di sicurezza} = F_f / V = 0.9235$$

La verifica non è soddisfatta essendo il coefficiente di sicurezza  $< 1.3$

La pressione sul terreno viene calcolata nel modo seguente:

$$e = M/N = 1.037 > b/6 = 4/6 = 0.667 \quad \text{sezione parzializzata}$$

$$u = b/2 - e = 0.963$$

$$\sigma_{t, \text{valle}} = 2N/(3u) = 2 \times 370 / (3 \cdot 0.963) = 256.1 \text{ kN/m}^2 = 0.2561 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t, \text{monte}} = 0$$

$$\text{percentuale sezione compressa} = 3u/b \% = 72.23 \%$$

La suola a valle è soggetta, allo spiccato della parete, al momento flettente (v. Fig. 4):

$$M_v = 334.9 \cdot 1.177 - 50 \cdot 1 = 344.1 \quad (\text{tende le fibre inferiori})$$

La suola a monte è soggetta, allo spiccato della parete, al momento flettente:

$$M_m = (25 + 120) 0.5 = 72.5 \quad (\text{tende le fibre superiori})$$

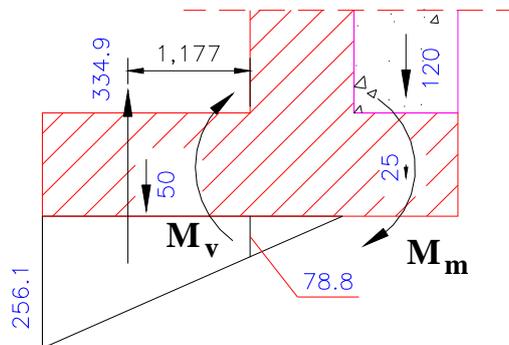


Fig. 4 – Sollecitazioni suola di fondazione

K+#\$ **METODO DI CALCOLO secondo DM 96 – Caso generale**

Usare il file di esempio Help2.mur.

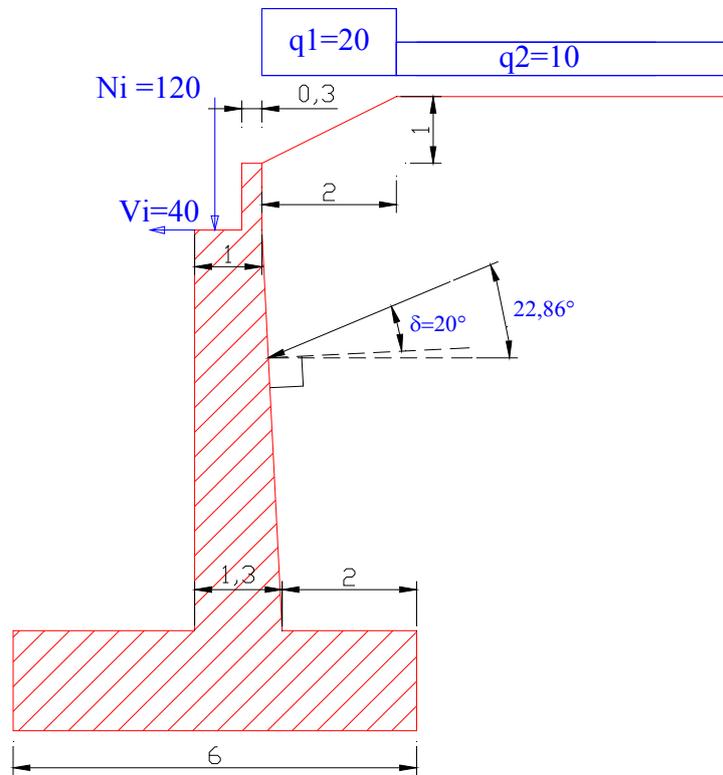


Fig. 5 – Caso generale

K calcolo;spinta;sisma;esempio;spalla;generale  
+ auto  
# IDH\_060  
\$ Caso generale

Muro/Spalla - Unità di misura [kN, m] - File: help2

File Armature Impostazioni Normativa: DM 1996 ?

Titolo : Caso generale file Help2

Altezza paraghiaia (m) h1 1 Angolo attrito interno  $\varphi^{\circ}$  35

Spessore paraghiaia (m) s1 0.3 Ang. attrito terra-muro  $\delta^{\circ}$  20

Inclinazione parete (%) i 5 Ang. attrito fondazione  $\varphi_f^{\circ}$  30

Altezza parete (m) h2 6 Peso spec. terre [kN/m3]  $\gamma_t$  20

Spessore in testa (m) s2 1 Peso spec. muro [kN/m3]  $\gamma_m$  25

Spessore alla base (m) s3 1.3 Grado di sismicità S 12

Altezza fondazione (m) h3 1.5 N\* lati terreno 2

Sbalzo fond. contro terra L1 2

Larghezza totale fond. L2 6

Impalcato

Ni 120 dN 0.3

Vi 40 kN

Zoom

	Lungh.	Dislivello	q
Lato 1	2	1	20
Lato 2	5	0	10

Calcolo Visualizza

Parete

St 160,4 kN

Sq 29,39 kN

Ss 44,72 kN

Si 51,00 kN

M 1 062 kNm

N 391,1 kN

V 307,1 kN

Fondazione

Ribaltamento

St 220,5

Sq 20,72

Ss 55,04

Si 73,50

Mr 1 044

Ms 3 256

Ms/Mr 3,118

Scorrimento

St 220,5

Sq 20,72

Ss 55,04

Si 73,50

V 391,9

N 956,3

c.scor. 1,409

Schiacciamento

St 220,5

Sq 20,72

Ss 55,04

Si 73,50

M 657,0

N 956,3

V 391,9

Sbalzi Fondazione

M valle 723,7

M monte 235,6

$\sigma_{t, valle}$  0,2689 MPa

$\sigma_{t, monte}$  0,04988

% comp. 100,0

I calcoli sono illustrati facendo riferimento alle figure ottenute cliccando sul comando “Visualizza”.

In figura 6 sono rappresentati per la parete:

- il cuneo di massima spinta
- la spinta statica delle terre St
- la spinta statica del sovraccarico Sq
- la spinta sismica delle terre Ss
- la risultante Q della parte di sovraccarico agente sul cuneo di massima spinta
- il peso Pp della parete
- la forza d’inerzia Fp della parete
- la forza d’inerzia Fz della zavorra (v. Fig. 7)

I vettori sono rappresentati in scala nella loro effettiva posizione.

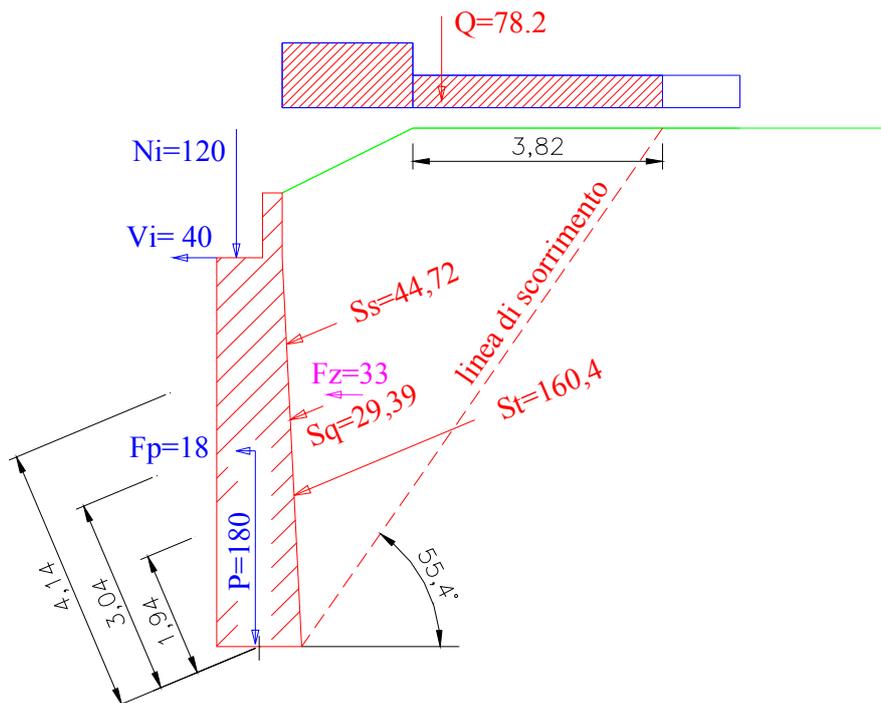


Fig. 6 – Sollecitazioni parete

Nella sezione al piede della parete si hanno le seguenti azioni interne:

$$\begin{aligned}
 N &= 120 + 180 + (160.4 + 29.39 + 44.72) \operatorname{sen} 22^\circ.86 = 391.1 \\
 V &= 40 + 18 + 33 + (160.4 + 29.39 + 44.72) \operatorname{cos} 22^\circ.86 = 274.1 \\
 M &= 120 \cdot 0.35 + 40 \cdot 6 + 18 \cdot 3.02 + 33 \cdot 3.89 + 180 \cdot 0.06 + 160.4 \cdot 1.94 + 29.39 \cdot 3.04 \\
 &\quad + 44.72 \cdot 4.14 = 1062
 \end{aligned}$$

In figura 7 sono rappresentati in scala per la fondazione:

- il cuneo di massima spinta
- la spinta statica delle terre  $St$
- la spinta statica del sovraccarico  $Sq$
- la spinta sismica delle terre  $Ss$
- la risultante  $Q$  della parte di sovraccarico agente sul cuneo di massima spinta
- il peso  $P$  della parete
- la forza d'inerzia  $Fp$  della parete
- la forza d'inerzia  $Fz$  della zavorra
- il peso  $Pt$  del prisma di terra sovrastante la scarpa a monte
- il peso  $Pf$  della fondazione
- la forza d'inerzia  $Ff$  della fondazione

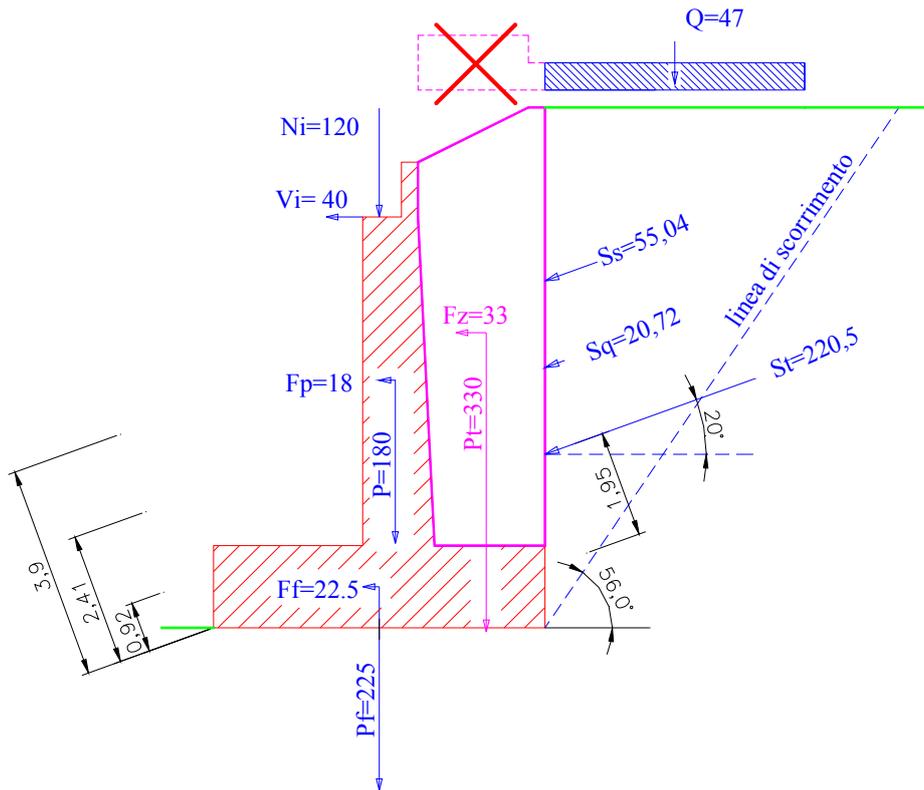


Fig. 7 – Sollecitazioni fondazione

Alle spinte  $St$ ,  $Sq$  e  $Ss$  del terrapieno vanno aggiunte le azioni dei pesi e delle forze d'inerzia della parete, della fondazione e del prisma di terra sovrastante la scarpa a monte, applicate nei rispettivi baricentri. Si hanno quindi i seguenti valori del momento ribaltante e del momento stabilizzante:

$$Mr = 220.5 \cdot 0.92 + 20.72 \cdot 2.41 + 55.04 \cdot 3.9 + 18 \cdot 4.52 + 33 \cdot 5.39 + 22.5 \cdot 0.75 + 40 \cdot 7.5 = 1044$$

$$Ms = 120 \cdot 3 + 180 \cdot 3.29 + 225 \cdot 3 + 330 \cdot 4.937 = 3255$$

coefficiente di sicurezza al ribaltamento  $Ms/Mr = 3.318$

Si noti che la parte di sovraccarico  $q$  sovrastante la scarpa a monte non viene messa in conto, a favore di stabilità, perché potrebbe non essere presente trattandosi di azione variabile.

Alla base della fondazione si hanno le seguenti azioni interne:

$$N = 120 + 180 + 225 + 330 + (220.5 + 20.72 + 55.04) \sin 20^\circ = 956.3$$

$$V = 40 + 18 + 22.5 + 33 + (220.5 + 20.72 + 55.04) \cos 20^\circ = 391.9$$

$$M = 220.5 \cdot 1.95 + 20.72 \cdot 3.44 + 55.04 \cdot 4.93 + 40 \cdot 7.5 + 18 \cdot 4.52 + 22.5 \cdot 0.75 + 33 \cdot 5.39 - 120 \cdot 0 - 225 \cdot 0 - 180 \cdot 0.29 - 330 \cdot 1.937 = 657.0$$

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento:

$$\text{coeff. di sicurezza} = N \cdot \tan \phi_f / V = 1.409$$

La verifica è soddisfatta essendo il coefficiente di sicurezza  $> 1.3$

La pressione sul terreno viene calcolata come illustrato nell'esempio precedente.