

---

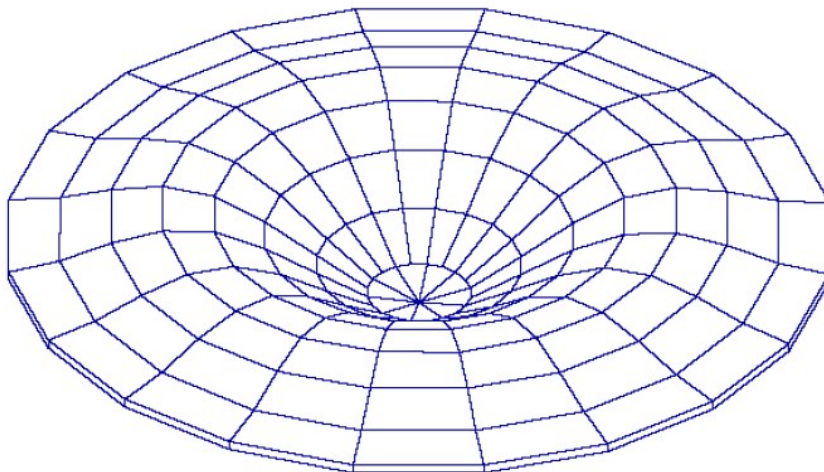
# *CDWWin - Computer Design of Walls*

---

## *CDWWin*

*Release 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021*

### *Validazione del codice di calcolo*



Software  
Tecnico  
Scientifico S.r.l.

---



## Introduzione

Il programma *CDWWin* della *S.T.S. S.r.l.* effettua l'analisi statica e sismica di opere di sostegno rigide, libere o tirantate, con fondazione diretta o su pali.

Dopo avere effettuato il calcolo delle spinte sul paramento di monte e di valle, il software esegue le verifiche di stabilità e quelle di resistenza dell'opera conformemente alla normativa scelta ed ai tipi di materiale, assumendo l'ipotesi che il muro si comporti come un corpo rigido.

Il calcolo della spinta viene effettuato secondo i criteri di *Coulomb* con l'estensione al caso sismico secondo *Mononobe* e *Okabe*. Il valore di questa viene ricavato non attraverso le note formule che risolvono il problema in forma chiusa, facilmente reperibili in letteratura, ma per mezzo di una procedura iterativa, nota come procedimento *trial-wedge*, che opera ricavando il valore della spinta in base a considerazioni di equilibrio globale sul cuneo di spinta del terreno. Il cuneo di terreno è definito da una superficie interna rettilinea di scorrimento (eventualmente spezzata nel caso di terrapieno multistrato), la cui inclinazione varia in funzione di un angolo alla base del cuneo stesso. Il valore della spinta da applicare sul muro è infine quello massimo tra tutti i valori ottenuti al variare dell'angolo alla base del cuneo, nel caso di spinta attiva, oppure il minimo, nel caso di spinta passiva. Le caratteristiche di funzionamento di questo algoritmo sono riportate nel manuale d'uso del programma e nella relazione generale di calcolo che accompagna i tabulati di output di ciascun calcolo.

Per testare la validità del software, relativamente alla procedura di calcolo della spinta del terreno, si sono effettuati dei test su alcuni casi riguardanti diverse casistiche ricorrenti, confrontando i risultati ottenuti dal programma con quelli ricavati in base alle formule di uso comune per la spinta attiva, passiva e a riposo. Si è adottata, come riferimento per le azioni sismiche, la normativa 2008 e i valori delle caratteristiche geotecniche del terreno sono stati utilizzati senza coefficienti parziali riduttivi (condizione di tipo M1). Si è proceduto trascurando l'eventuale effetto della coesione.

Per ricavare i coefficienti di spinta con cui successivamente calcolare i valori delle spinte del terreno, da confrontare con quelle fornite dal programma di calcolo, si sono utilizzate le seguenti formule.

I valori risultanti sono riferiti ad 1 metro di sviluppo di muro.

Per stati di spinta attiva:

$$\beta \leq \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\text{sen}^2 (\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen} (\psi - \theta - \delta) \left( 1 + \text{RAD} \frac{\text{sen} (\phi + \delta) \text{sen} (\phi - \beta - \theta)}{\text{sen} (\psi - \theta - \delta) \text{sen} (\psi + \beta)} \right)^2}$$

$$\beta > \phi - \theta: \quad K_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta)}$$

Per stati di spinta passiva (assumendo angolo di attrito nullo tra terreno e muro e paramento verticale):

$$K_p = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi + \theta) \left( 1 - \text{RAD} \frac{\text{sen} \phi \text{sen}(\phi + \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi + \beta) \text{sen}(\psi + \theta)} \right)^2}$$

Per stati di spinta a riposo si è usata per il confronto la seguente formula semplificata di uso corrente, mediamente consigliata su diversi testi:

$$K_0 = 0,95 - \text{sen} \phi$$

Nelle precedenti equazioni vengono usate le seguenti notazioni:

$K_a$	coefficiente di spinta attiva
$K_p$	coefficiente di spinta passiva
$K_0$	coefficiente di spinta a riposo
$\psi$	angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete del muro;
$\beta$	angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno;
$\phi$	valore caratteristico dell'angolo di attrito interno del terreno in condizioni di sforzo efficace;
$\delta$	valore caratteristico dell'angolo di attrito tra terreno e muro;
$\theta$	angolo convenzionale funzione dell'accelerazione sismica, tale che:

$$\tan \theta = \frac{k_h}{1 \pm k_v}$$

**Test di verifica n°1**

Spinta attiva in assenza di sisma con terrapieno ad estradosso inclinato e paramento verticale, in presenza di falda ma in assenza di moti di filtrazione.

Altezza del terrapieno:	$h = 6,00 \text{ m}$
Livello di falda dalla base del muro:	$h_f = 2,00 \text{ m}$
Inclinazione del terreno:	$\beta = 10^\circ$
Inclinazione del paramento:	$\psi = 90^\circ$
Angolo di attrito interno del terreno:	$\phi = 25^\circ$
Angolo di attrito terreno-muro:	$\delta = 15^\circ$
Peso specifico del terreno:	$\gamma_T = 18,00 \text{ kN/mc}$
Peso specifico efficace:	$\gamma_e = 8,00 \text{ kN/mc}$
Peso specifico dell'acqua:	$\gamma_w = 10,00 \text{ kN/mc}$

Il valore della spinta risultante può essere calcolato in base alla seguente espressione:

$$S = \frac{1}{2} \gamma_T h^2 K_a - \frac{1}{2} (\gamma_T - \gamma_e) h_f^2 K_a + \frac{1}{2} \gamma_w h_f^2$$

Sviluppando il calcolo in base alle formule indicate si ottengono i seguenti risultati:

$$K_a = 0,422797$$

$$S = 128,53 + 20,00 \text{ kN/m}$$

A ciò bisogna aggiungere il fatto che il peso proprio del terreno, per le spinte da monte e le combinazioni statiche, va moltiplicato per un coefficiente pari a 1,3.

$$S = 167,09 + 20,00 \text{ kN/m}$$

In output dal programma di calcolo *CDWWin* si ottiene il seguente risultato:

$$S_{CDW} = 168,76 + 20,00 \text{ kN/m}$$

**ERRORE PERCENTUALE : +1,00%**

**Test di verifica n°2**

Spinta attiva in presenza di sisma con terrapieno ad estradosso rettilineo orizzontale e paramento inclinato e sovraccarico uniformemente distribuito sul terrapieno.

Altezza del terrapieno:	$h = 6,00 \text{ m}$
Coefficiente sismico orizzontale:	$k_h = 0,0673 \text{ a}_g/g$
Coefficiente sismico verticale:	$k_v = 0,0336 \text{ a}_g/g$
Inclinazione del paramento:	$\psi = 75^\circ$
Angolo di attrito interno del terreno:	$\phi = 25^\circ$
Angolo di attrito terreno-muro:	$\delta = 15^\circ$
Peso specifico del terreno:	$\gamma_T = 18,00 \text{ kN/mc}$
Sovraccarico distribuito:	$q = 5,00 \text{ kN/mq}$

I valori delle accelerazioni sismiche derivano dalle coordinate geografiche 15,00 longitudine Est e 38,00 latitudine Nord, cui corrisponde una accelerazione sismica orizzontale di progetto allo S.L.V. pari  $0,199 \text{ a}_g/g$ . L'accelerazione al sito si ottiene moltiplicando tale valore per il coefficiente topografico, in questo caso posto pari ad 1, e per il coefficiente stratigrafico, in questo caso pari a 1,409786, trattandosi di terreno di tipo C. Infine per l'applicazione dell'azione sismica sul manufatto, tale accelerazione sismica di progetto va moltiplicata per il coefficiente  $\beta$ , pari in questo caso a 0,24. Da questi dati si ricava il valore utilizzato per il calcolo di  $k_h = 0,06733 \text{ a}_g/g$  e al valore  $k_v = 0,03366 \text{ a}_g/g$ , pari alla metà del precedente.

Il valore della spinta risultante può essere calcolato in base alla seguente espressione:

$$S = \frac{1}{2} \gamma_T (1 + k_v) h^2 K_{as} + q (1 + k_v) h K_{as}$$

Sviluppando il calcolo in base alle formule indicate si ottengono i seguenti risultati:

$$\begin{aligned} \theta &= 3,7268^\circ \quad (\text{valore assunto per } k_v \text{ positiva, in quanto situazione più gravosa}) \\ K_{as} &= 0,538932 \\ S &= 197,19 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

In output dal programma di calcolo *CDWWin* si ottiene il seguente risultato:

$$S_{CDW} = 197,18 \text{ kN/m}$$

**ERRORE PERCENTUALE : -0,00%**

**Test di verifica n°3**

Spinta a riposo con terrapieno ad estradosso rettilineo orizzontale e paramento verticale.

Altezza del terrapieno:	$h = 6,00 \text{ m}$
Angolo di attrito interno del terreno:	$\phi = 25^\circ$
Angolo di attrito terreno-muro:	$\delta = 15^\circ$
Peso specifico del terreno:	$\gamma_T = 18,00 \text{ kN/mc}$

Il valore della spinta risultante può essere calcolato in base alla seguente espressione:

$$S = \frac{1}{2} \gamma_T h^2 K_0$$

Sviluppando il calcolo in base alle formule indicate si ottengono i seguenti risultati:

$$K_0 = 0,527381$$

$$S = 170,87 \text{ kN/m}$$

Anche in questo caso bisogna aggiungere il fatto che il peso proprio del terreno va moltiplicato per un coefficiente pari a 1,3.

$$S = 222,13 \text{ kN/m}$$

In output dal programma di calcolo *CDWWin* si ottiene il seguente risultato:

$$S_{CDW} = 221,33 \text{ kN/m}$$

**ERRORE PERCENTUALE : -0,6%**

**Test di verifica n°4**

Spinta passiva con terrapieno ad estradosso rettilineo orizzontale e paramento verticale.

Altezza del terrapieno:	$h = 1,00 \text{ m}$
Angolo di attrito interno del terreno:	$\phi = 25^\circ$
Angolo di attrito terreno-muro:	$\delta = 0^\circ$
Peso specifico del terreno:	$\gamma_T = 18,00 \text{ kN/mc}$

Il valore della spinta risultante può essere calcolato in base alla seguente espressione:

$$S = \frac{1}{2} \gamma_T h^2 K_p$$

Sviluppando il calcolo in base alle formule indicate si ottengono i seguenti risultati:

$$K_p = 2,463912$$

$$S = 22,17 \text{ kN/m}$$

In output dal programma di calcolo *CDWWin* si ottiene il seguente risultato:

$$S_{CDW} = 22,17 \text{ kN/m}$$

**ERRORE PERCENTUALE : 0,00%**