



Software per Architettura,  
Ingegneria ed Edilizia

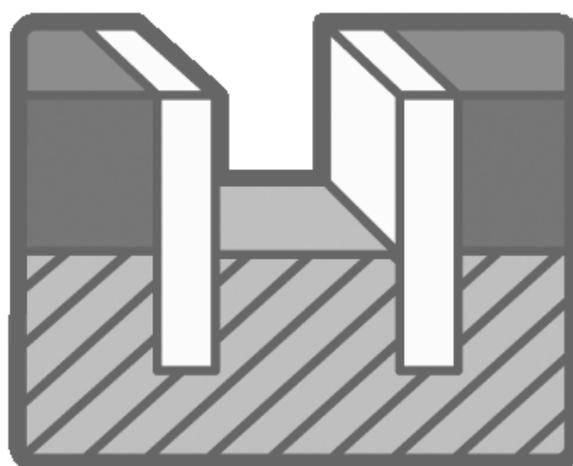


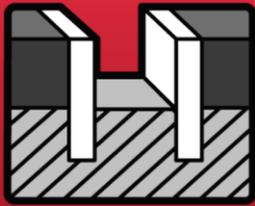
# Elementi di sostegno

---

## Manuale di utilizzo

Calcolo delle spinte





# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Spinta statica</b> .....	<b>4</b>
2.1	Calcolo della spinta attiva .....	4
2.2	Calcolo della spinta passiva .....	5
2.3	Calcolo della spinta a riposo.....	5
2.4	Spinte dei carichi situati al di sopra del terreno .....	6
<b>3</b>	<b>Spinta dinamica</b> .....	<b>9</b>
3.1	Calcolo della spinta attiva .....	9
3.2	Calcolo della spinta passiva .....	10
3.3	Peso specifico .....	10

# 1 Introduzione

I tipi di spinta agenti su di un muro possono essere:

- **Spinta attiva.** Il terreno esercita una spinta sul muro, comportando la nascita di deformazioni sufficienti per portare il terreno al suo stato di rottura nella direzione della spinta stessa. Il caso è comune quando si applica un'azione sul terreno.
- **Spinta a riposo.** Il terreno esercita una spinta sul muro senza che esso subisca deformazioni, cioè, queste ultime sono nulle o trascurabili. Il valore di tale spinta è maggiore di quello della spinta attiva.
- **Spinta passiva.** Quando il muro si sposta verso il terreno, quest'ultimo viene compresso e fornisce una reazione. Il suo valore è molto maggiore di quello della spinta attiva.

I parametri che caratterizzano un terreno di riporto sono i seguenti:

- **Angolo di declivio ( $\beta$ ).** Si esprime in gradi sessagesimali rispetto all'orizzontale. Il suo limite è rappresentato dall'angolo di attrito interno.
- **Densità apparente ( $\gamma$ ).** Anche denominata densità secca.
- **Peso specifico sommerso ( $\gamma'$ ).** Peso specifico del terreno sommerso al di sotto del livello freatico.
- **Angolo di attrito interno ( $\phi$ ).** Caratteristica intrinseca del terreno; rappresenta l'angolo massimo di declivio naturale senza sgretolamento.
- **Evacuazione per drenaggio (solo in muri a mensola e in muri di piani interrati).** Espressa in %; consente di considerare la presenza nel terreno di riporto di acque infiltrate che aumentano le spinte (di un valore pari a una frazione aggiuntiva della spinta idrostatica) e la densità del terreno parzialmente saturo. Un valore X% produce una spinta idrostatica pari a (100 - X)% e una spinta del terreno tenendo in considerazione il peso specifico seguente:

$$\gamma'_{\text{parziale}} = \gamma' + (\gamma - \gamma') \left[ 1 - \frac{100 - X}{100} \right]$$

Si considera che tutta l'altezza del muro sia interessata da quest'acqua infiltrata.

- **Percentuale di spinta passiva (solo in muri a mensola e in muri di piani interrati).** Espressa in termini percentuali del valore della spinta passiva.

- **Quota di spinta passiva (solo in muri a mensola e in muri di piani interrati).** Quota al di sotto della quale si considera spinta passiva (pari a 0 di default; in seguito agirà solo sul plinto, se si considera spinta passiva).
- **Roccia.** Una volta attivata questa opzione, è possibile definire uno strato roccioso, nel qual caso bisogna fornire come dato la sua quota, che deve essere inferiore a quella del terreno di riporto. Le spinte si annullano al di sotto della quota dell'ammasso roccioso, contrariamente alle spinte idrostatiche (se presenti).
- **Livello freatico.** Al di sopra di tale livello si considera il terreno di riporto con la sua densità apparente  $\gamma$ , oppure con la densità del terreno parzialmente saturo se la percentuale di evacuazione è minore del 100%. Al di sotto di tale livello si considera il terreno di riporto con il peso specifico sommerso  $\gamma'$ , aggiungendo la spinta idrostatica al fine di ottenere il diagramma delle spinte.

## 2 Spinta statica

### 2.1 Calcolo della spinta attiva

La spinta statica si determina sulla base della teoria di Coulomb.

I valori della pressione orizzontale e verticale in un punto dell'estradosso situato a una profondità  $z$  si calcolano rispettivamente come:

$$p_h = \gamma z \lambda_h; \quad p_v = \gamma z \lambda_v$$

$$\lambda_h = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \delta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \delta)}} \right]}$$

$$\lambda_v = \lambda_h \cotg(\alpha - \delta)$$

essendo:

$z$ : profondità

$\alpha$ : angolo formato dal paramento del muro con l'orizzontale

$\gamma$ : densità del terreno

$\delta$ : angolo di attrito muro-terreno

$\phi$ : angolo di attrito interno del terreno

$\beta$ : angolo di declivio del terreno

Considerando la coesione del terreno, l'espressione che consente di calcolare la pressione orizzontale diventa:

$$p_h = \gamma z \lambda_h - 2c\sqrt{\lambda_h} \cos \delta ; \text{essendo:}$$

c: coesione del terreno

## 2.2 Calcolo della spinta passiva

Il calcolo della spinta passiva è simile al calcolo della spinta attiva. La differenza consiste nel cambiare il segno dell'angolo di attrito interno del terreno nelle formule precedenti.

Considerando la coesione del terreno, la formula secondo cui si calcola la pressione orizzontale diventa:

$$p_h = \gamma z \lambda_h + 2c\sqrt{\lambda_h} \cos \delta ; \text{essendo:}$$

c: coesione del terreno

## 2.3 Calcolo della spinta a riposo

La spinta a riposo si ricava applicando la teoria di Jaky.

Si calcola come:

$$p_{rip} = \gamma z k_{rip}$$

essendo:

$$k_{rip} = 1 - \sin \phi$$

z: profondità

$\gamma$ : densità del terreno

$\phi$ : angolo di attrito interno del terreno

Nel caso in cui il terreno presenti una determinata pendenza, si segue la formulazione complementare del Corps of Engineers, 1961.

## 2.4 Spinte dei carichi situati al di sopra del terreno

### 2.4.1 Spinte prodotte da un sovraccarico uniformemente ripartito

Si applica il metodo di Coulomb; le pressioni orizzontale e verticale prodotte da un sovraccarico uniformemente ripartito valgono rispettivamente:

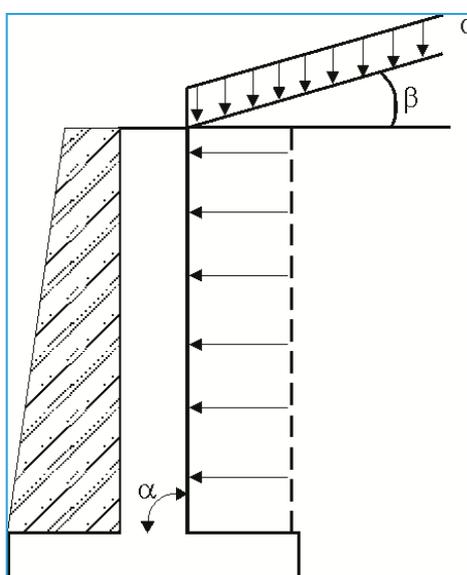


Fig. 1

$$p_h = \lambda_h q \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} ; \quad p_v = \lambda_v q \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$

essendo:

$\lambda_h$ : coefficiente di spinta orizzontale

$\lambda_v$ : coefficiente di spinta verticale

q: carico superficiale

$\alpha$ : angolo formato dal paramento del muro con l'orizzontale

$\beta$ : angolo di inclinazione del terreno di riporto

## 2.4.2 Spinte prodotte da una striscia di carico parallela alla sommità del muro

Basandosi sulla Teoria dell'Elasticità, la pressione orizzontale prodotta da una striscia di sovraccarico nel caso di estradosso verticale e terreno orizzontale vale:

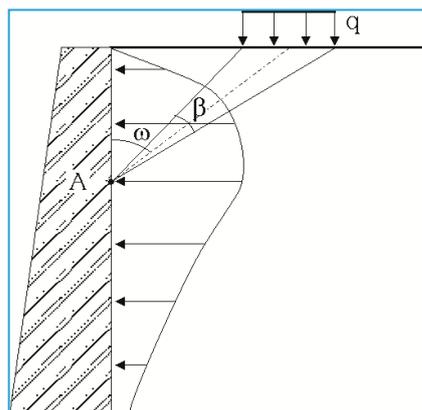


Fig. 2

$$p_q = \frac{2q}{\pi} (\beta - \sin \beta \cos 2\omega)$$

q: striscia di carico

$\beta$  e  $\omega$ : angoli che si desumono dalla figura; il primo della formula si misura in radianti

## 2.4.3 Spinte prodotte da un carico lineare parallelo alla sommità del muro

Si considera il metodo basato sulla Teoria dell'Elasticità. La pressione orizzontale prodotta da un sovraccarico lineare q nel caso di estradosso verticale e terreno orizzontale è:

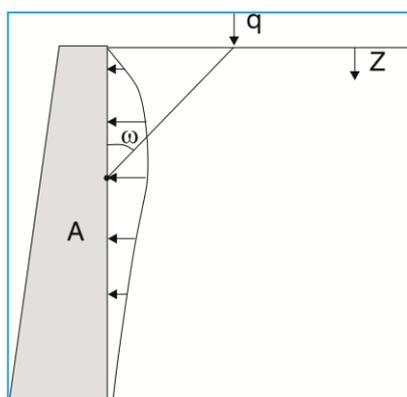


Fig. 3

$$p_q = \frac{q}{\pi \cdot z} \sin^2 2\omega$$

dove:

q: carico lineare

$\omega$ : angolo dedotto dalla figura

z: profondità

## 2.4.4 Spinte prodotte da un carico puntuale o concentrato su aree ridotte (plinti)

Si fa riferimento al metodo basato sulla Teoria dell'Elasticità. La spinta orizzontale prodotta da un sovraccarico puntuale nel caso di estradosso verticale e terreno orizzontale è:

Se ( $m < 0.4$ ):

$$p_q = 0.28 \times \frac{q}{H^2} \times \frac{n^2}{[0.16 + n^2]^3}$$

Se ( $m \geq 0.4$ ):

$$p_q = 1.77 \times \frac{q}{H^2} \times \frac{m^2 n^2}{[m^2 + n^2]^3}$$

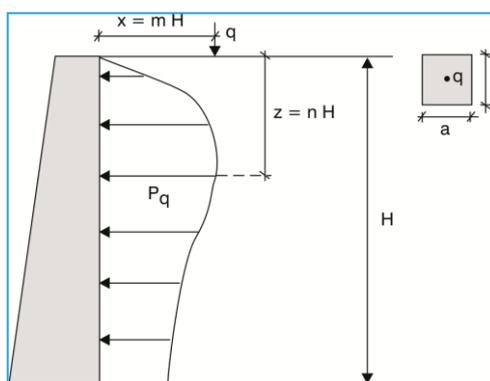


Fig. 4

## 2.4.5 Spinte dei carichi sulla sommità del muro

È possibile inserire carichi puntuali e momenti flettenti sulla sommità del muro. Essi comportano la nascita di sforzi, ma possono anche implicare una risposta passiva del terreno se è il caso.

## 3 Spinta dinamica

L'azione sismica origina spinte sui muri che aumentano transitoriamente. La spinta attiva in condizioni sismiche è maggiore di quella corrispondente alla situazione statica.

In maniera simile, la spinta passiva che il muro può trasmettere al terreno può ridursi notevolmente durante l'azione di un sisma. La spinta passiva in condizioni sismiche è minore di quella corrispondente alla situazione statica.

Per la valutazione delle spinte si fa riferimento al metodo pseudo-statico, con i coefficienti di spinta dinamici basati sulle equazioni di Mononobe-Okabe.

### 3.1 Calcolo della spinta attiva

#### 3.1.1 *Coefficiente di spinta attiva in condizioni dinamiche*

Il coefficiente di spinta attiva in condizioni dinamiche si valuta come:

$$k_{ad} = \frac{\cos(\alpha + \theta)}{\cos\theta\cos\alpha} k_a^* \quad \text{Caso 1}$$

essendo:

$\alpha$ : angolo che il paramento del muro forma con la verticale

$\theta$ : angolo definito dalle seguenti espressioni

$$\theta = \arctg\left(\frac{a_h}{g - a_v}\right) \frac{\gamma_{sat}}{\gamma'} \quad \text{Caso 2}$$

dove:

$\gamma$ : accelerazione di gravità

$\gamma_d$ : peso specifico secco

$\gamma_{sat}$ : peso specifico saturo

$\gamma'$ : peso specifico sommerso

$a_h$ : accelerazione di calcolo orizzontale

$a_v$ : accelerazione di calcolo verticale, che il programma assume come la metà di quella orizzontale

$k_a^*$ : coefficiente di spinta attiva in condizioni statiche; per il calcolo di tale coefficiente, al posto di  $\alpha$  si inserisce  $(\alpha + \theta)$ , e a  $\beta$  si sostituisce  $(\beta + \theta)$ .

Il Caso 1 corrisponde a quei terreni di riporto, sempre situati al di sopra del livello freatico, che all'estradosso sono secchi o parzialmente saturi.

Il Caso 2 corrisponde a terreni di riporto situati al di sotto del livello freatico.

### 3.1.2 *Angolo di attrito terreno-muro*

Tale angolo può diminuire notevolmente durante l'azione di un sisma. Ciò si traduce in un aumento aggiuntivo della spinta attiva. Pertanto, assumere questo angolo pari a 0 risulta a favore di sicurezza.

### 3.1.3 *Peso specifico*

La spinta dovuta al peso del terreno è maggiore di quella dovuta all'aumento del peso specifico del terreno, sia al di sopra che al di sotto del livello freatico. Il coefficiente da applicare al peso specifico, che il programma considera automaticamente, è:

$$f = 1 + \frac{a_v}{g} \text{ essendo:}$$

$a_v$ : accelerazione di calcolo verticale =  $1/2 a_h$

$g$ : accelerazione di gravità

## 3.2 Calcolo della spinta passiva

La spinta passiva può diminuire durante l'azione di un sisma.

Il coefficiente di spinta passiva in condizioni dinamiche si valuta come:

$$k_{pd} = \frac{\cos(\alpha - \theta)}{\cos\theta \cos\alpha} k_p^* \text{ essendo:}$$

$\alpha$ : angolo che il paramento del muro forma con la verticale

$\theta$ : stesso angolo definito per il caso di spinta attiva

$k_p^*$ : coefficiente di spinta passiva in condizioni statiche; per il calcolo di tale coefficiente, al posto di  $a$  si inserisce  $(\alpha - \theta)$ , e  $b$  si sostituisce  $(\beta - \theta)$ .

## 3.3 Peso specifico

La spinta dovuta al peso del terreno è minore di quella dovuta alla diminuzione del peso specifico del terreno, sia al di sopra che al di sotto del livello freatico. Il coefficiente da applicare al peso specifico, che il programma considera automaticamente, è:

$$f = 1 - \frac{a_v}{g} \text{ essendo:}$$

$a_v$ : accelerazione di calcolo verticale =  $1/2 a_h$

$g$ : accelerazione di gravità