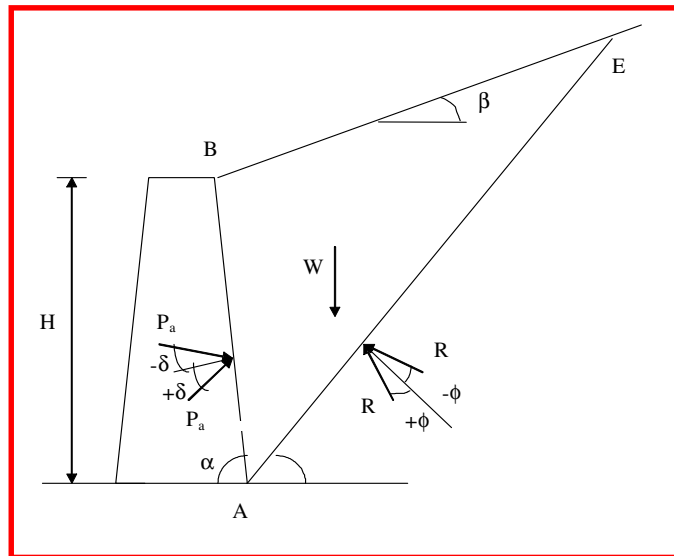


# COSTRUZIONE DI STRADE

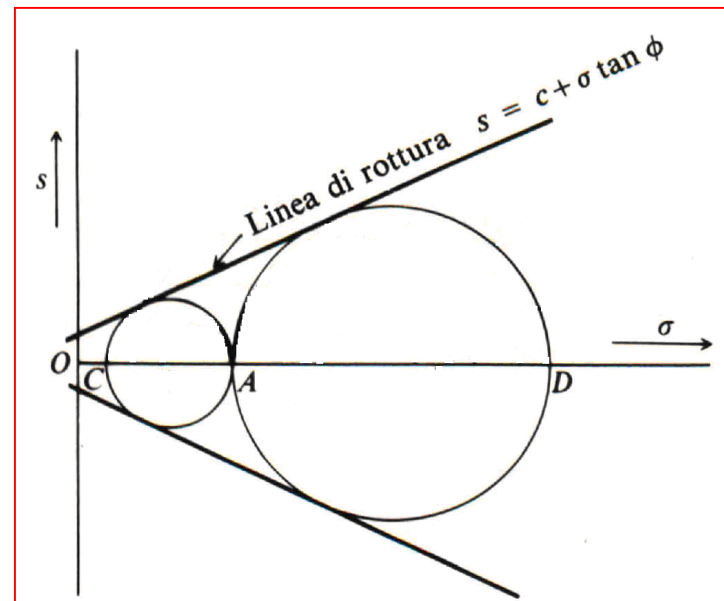
## Spinta delle terre



## Stati tensionali del terreno

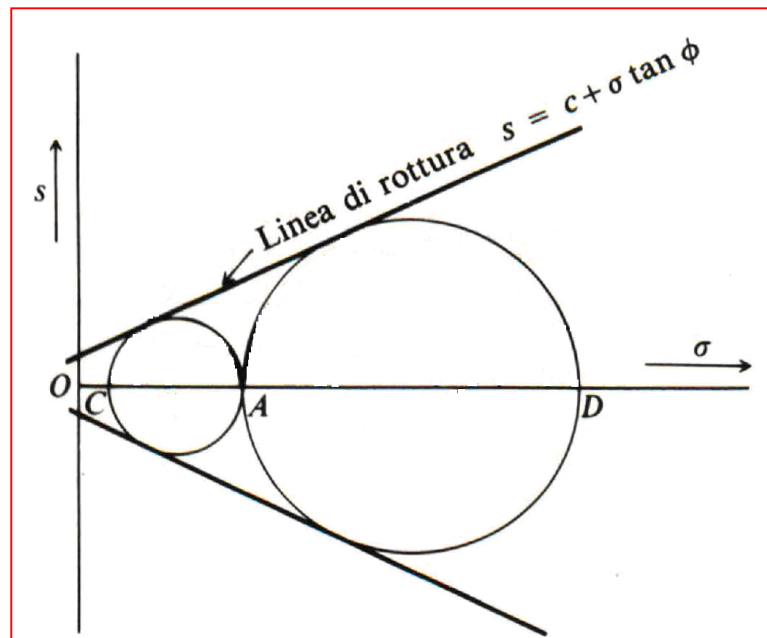
Per la progettazione di un'opera di sostegno risulta fondamentale la valutazione delle azioni trasmesse ad essa dal terreno.

Per stimarle si adotta generalmente il **metodo dell'equilibrio limite definito dall'involuppo di Mohr**, il quale è costituito da due linee di rottura caratterizzate da un'inclinazione rispetto all'orizzontale pari all'angolo di attrito interno del terreno e da un'ordinata all'origine uguale al valore della coesione. Queste ultime individuano il campo di equilibrio del sistema.



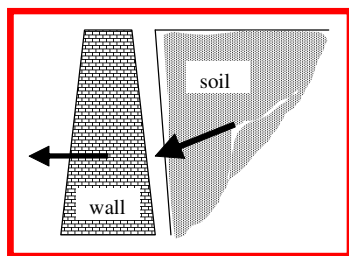
## Stati tensionali del terreno

Per ogni valore di  $\sigma$  è possibile tracciare due cerchi tangenti alle rette di rottura, dei quali quello inferiore (AC) definisce lo **stato limite attivo** e quello superiore (AD) corrisponde allo **stato limite passivo**. Si individuano così gli sforzi principali minimo ( $\sigma_C$ ) e massimo ( $\sigma_D$ ) che corrispondono rispettivamente alla **pressione attiva** ed a quella **passiva**.

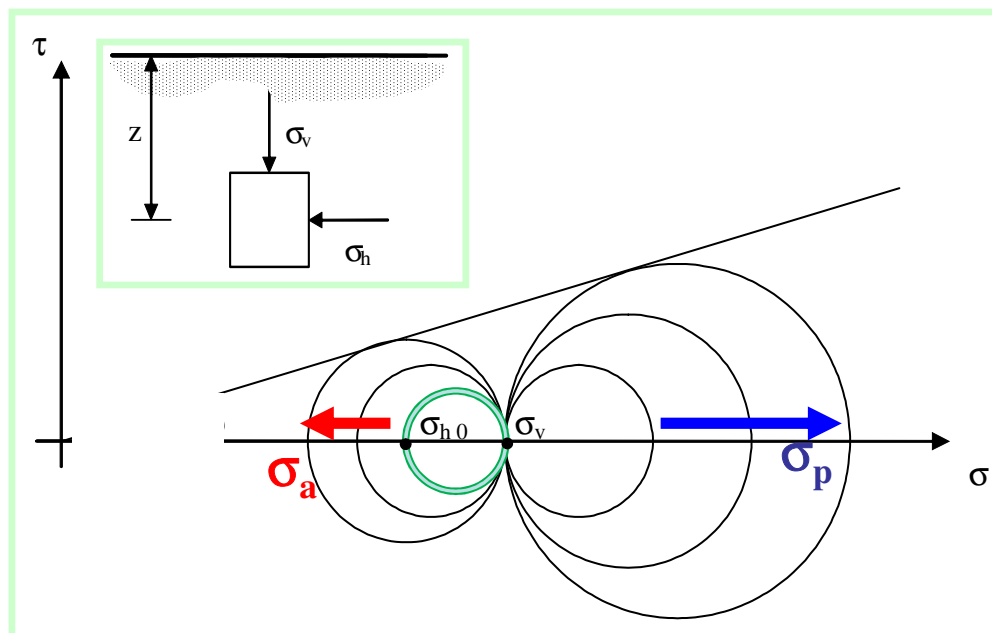


# Stati tensionali del terreno

Alla profondità  $z$ :  $\sigma_v = \gamma z$  e  $\sigma_h = \sigma_v K$

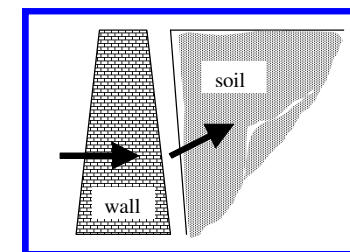


**SPINTA ATTIVA:**  
spinta che il muro deve trasmettere al terreno affinché non ne avvenga il collasso.



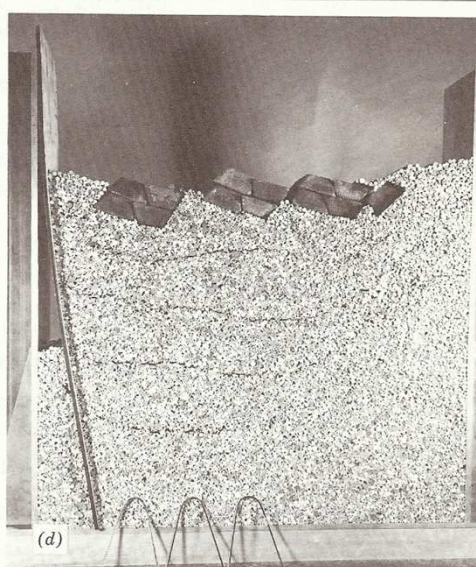
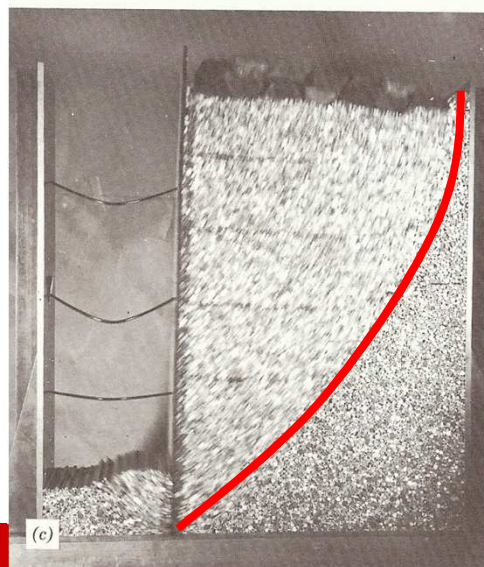
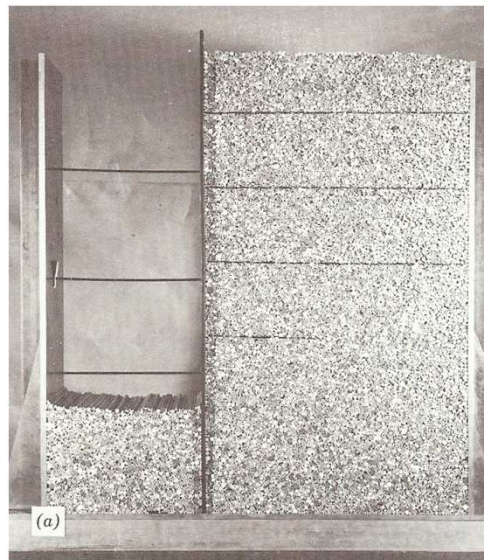
**SPINTA A RIPOSO:** spinta corrispondente ad una condizione intermedia tra reazione attiva e passiva.

$$\sigma_a < \sigma_0 < \sigma_p$$



**SPINTA PASSIVA:**  
spinta massima che il terreno è in grado di esercitare su una parete che tende a far rifluire l'ammasso.

## Stati tensionali del terreno



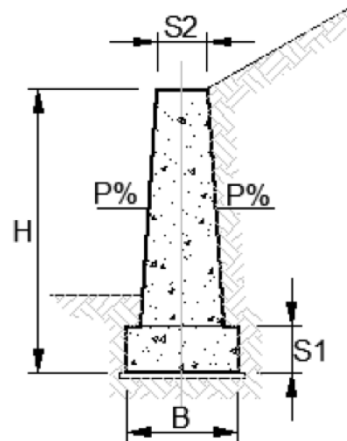
# Teorie per la valutazione della spinta del terreno

- ➔ Teoria di Coulomb o teoria del cuneo di massima spinta.
- ➔ Teoria di Rankine o teoria dell'ammasso illimitato.

## Muri a gravità

Resistono in funzione del peso proprio.

Teoria di Coulomb

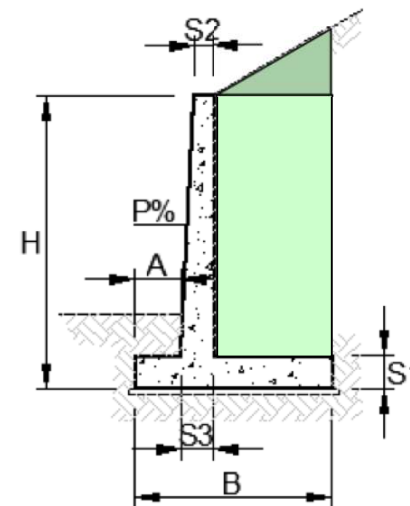


MURI A GRAVITA'

## Muri snelli in c.a.

Resistono in funzione del p. proprio e del terreno sopra la fondazione.

Teoria di Rankine

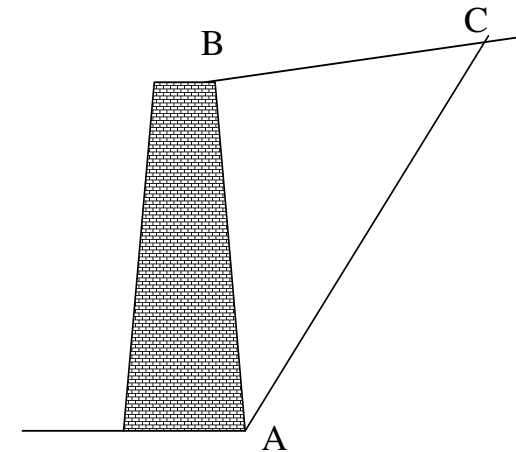


MURI A MENSOLA

## Teoria di Coulomb

### Ipotesi:

1. Terreno **omogeneo ed isotropo**;
2. Superficie di rottura (AC) approssimata ad un **piano**;
3. Tensioni tangenziali resistenti distribuite uniformemente lungo il piano di rottura. Il **coefficiente d'attrito**  $f$  vale  $f = \operatorname{tg} \phi$ ;
- 4) Il cuneo di rottura ABC si comporta come un **corpo rigido**;
- 5) Per effetto dello spostamento del muro all'interfaccia muro-terreno (AB) insorgono **tensioni tangenziali** dovute all'attrito;
- 6) La rottura avviene in condizioni di **deformazione piana**. Si considera, quindi, una porzione unitaria di muro ( $\Delta z = 1$ ) infinitamente lungo.



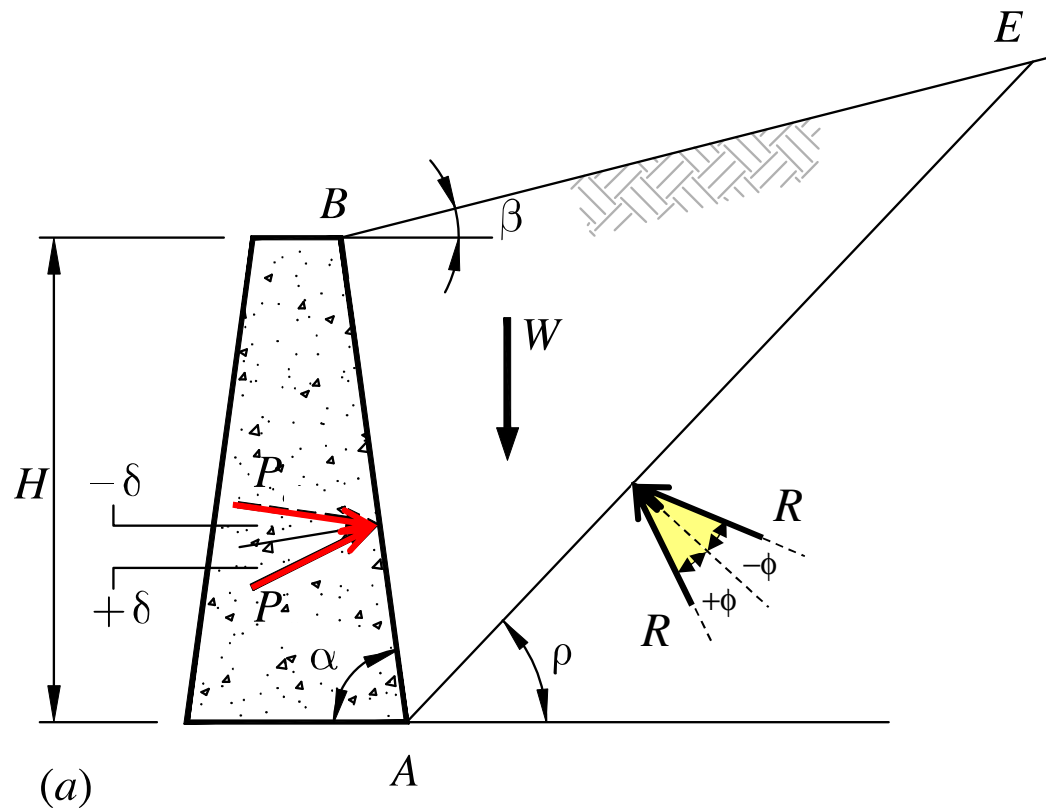
## Teoria di Coulomb

### Limiti:

- Prende in considerazione un **terreno ideale**;
- Ipotizza una **superficie di rottura piana**. Questa imprecisione influisce sul calcolo dei coefficienti di spinta:
  - Nel calcolo di  $k_a$  (coefficiente di spinta attiva), non comporta errori significativi poiché si lavora a favore di sicurezza.
  - Nel calcolo di  $k_p$  (coefficiente di spinta passiva), comporta errori significativi poiché si sovrastima la spinta.



## Teoria di Coulomb



Il valore della spinta  $P$  si ricava dall'**equilibrio delle forze agenti** sul cuneo:

- W**: peso proprio del cuneo di terreno ABE;
- R**: risultante delle azioni che si trasmettono i due ammassi di terreno lungo la superficie di rottura;
- P**: risultante delle azioni che si trasmettono lungo la interfaccia muro-terreno.

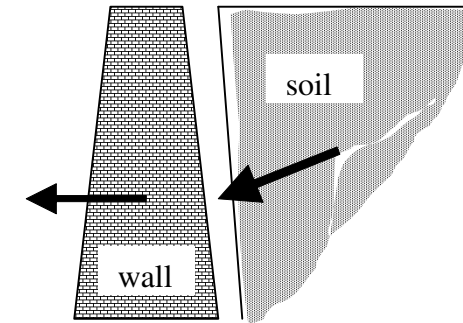
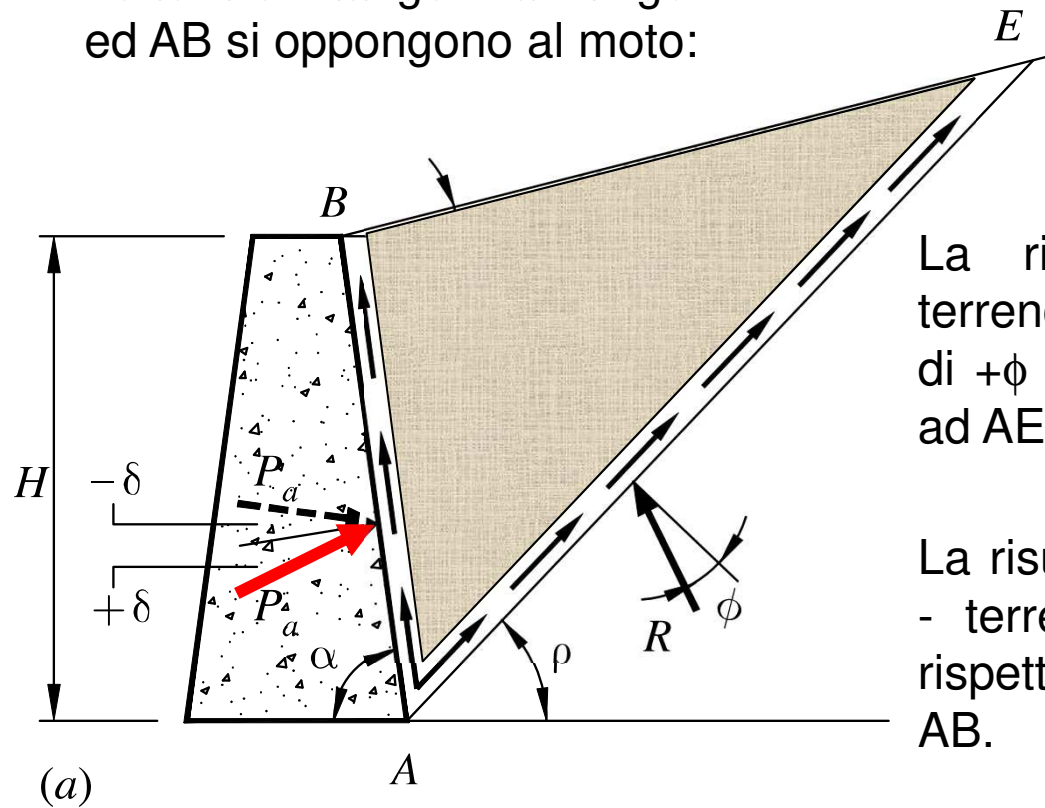
Le risultanti  $R$  e  $P$  possono avere un'inclinazione pari rispettivamente a  $\pm\phi$  (angolo d'attrito del terreno) e  $\pm\delta$  (angolo d'attrito muro-terreno) a seconda del cinematismo dell'ammasso.

## Teoria di Coulomb

### Caso ATTIVO

Il cuneo si sposta verso il basso

Le tensioni tangenziali lungo AE ed AB si oppongono al moto:



La risultante **R** delle azioni terreno - terreno risulta inclinata di  $+\phi$  rispetto alla perpendicolare ad AE,

La risultante **P<sub>a</sub>** delle azioni muro - terreno risulta inclinata di  $+\delta$  rispetto alla perpendicolare ad AB.

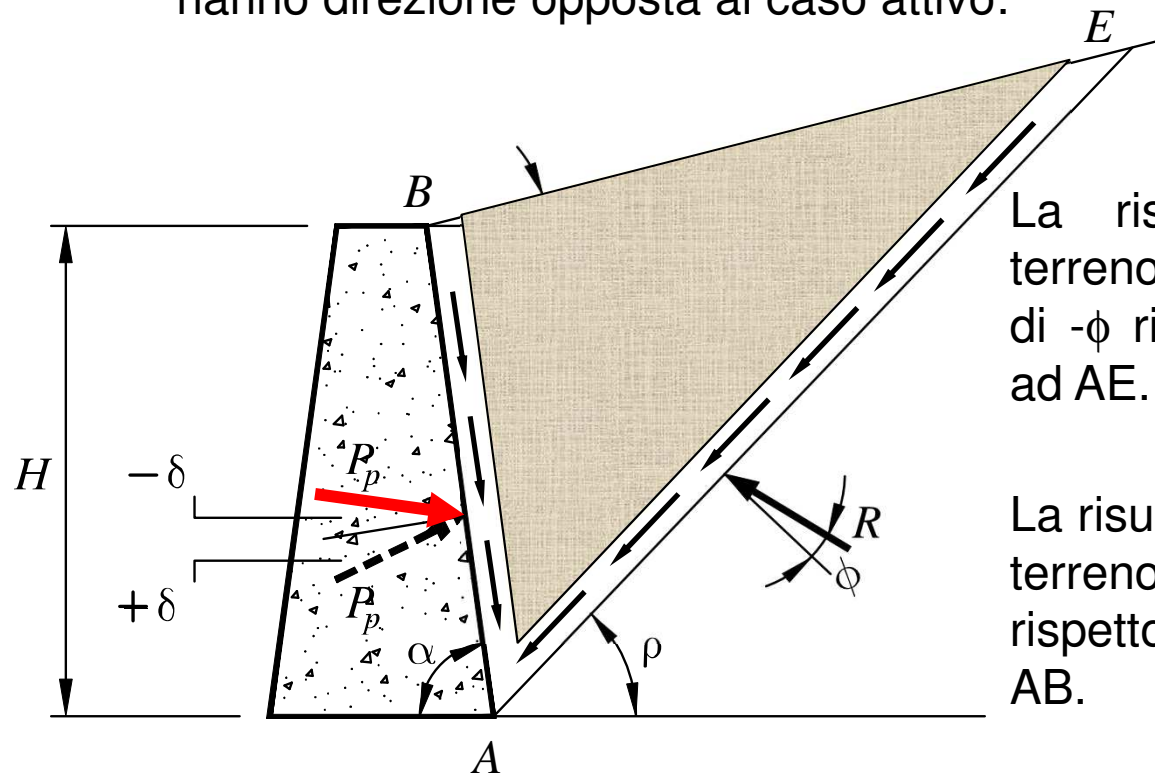
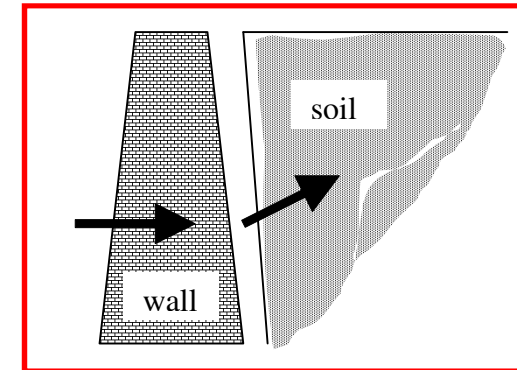
# Teoria di Coulomb

## Caso PASSIVO

Il cuneo si sposta verso l'alto



Le tensioni tangenziali lungo AE ed AB hanno direzione opposta al caso attivo:



La risultante **R** delle azioni terreno - terreno risulta inclinata di  $-\phi$  rispetto alla perpendicolare ad AE.

La risultante **P<sub>p</sub>** delle azioni muro-terreno risulta inclinata di  $-\delta$  rispetto alla perpendicolare ad AB.

## Teoria di Coulomb

Si calcola il **peso del cuneo** di terreno ABE:

$$W = \gamma \cdot A \cdot 1 \quad \text{dove:}$$

$\gamma$  = peso specifico terreno  
 $A \cdot 1$  = volume del cuneo

L'**area** del cuneo è pari a:

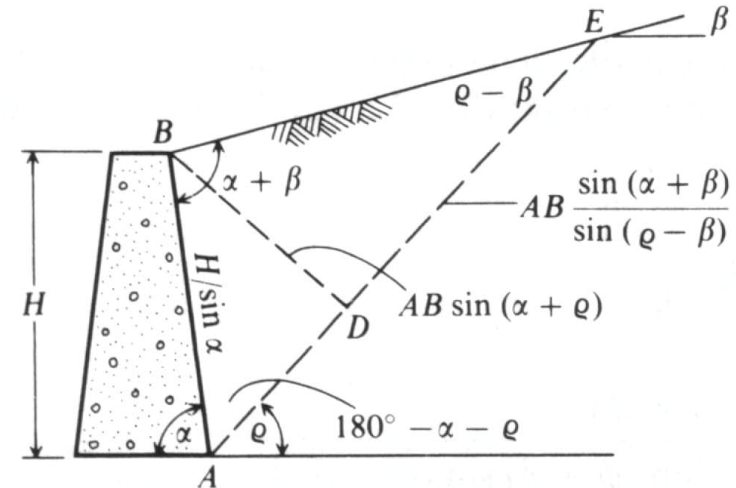
$$A = \frac{1}{2} \cdot BD \cdot AE$$

Sostituendo nell'espressione dell'area:

$$\Rightarrow AB = \frac{H}{\sin \alpha}$$

$$\Rightarrow AE = AB \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\rho - \beta)}$$

$$\Rightarrow BD = AB \sin(\alpha + \rho)$$



Si ottiene:

$$W = \frac{\gamma H^2}{2 \sin^2 \alpha} \left[ \sin(\alpha + \rho) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\rho - \beta)} \right]$$

## Teoria di Coulomb

Valutazione della pressione attiva:

### Terreni INCOERENTI ( $c=0$ )

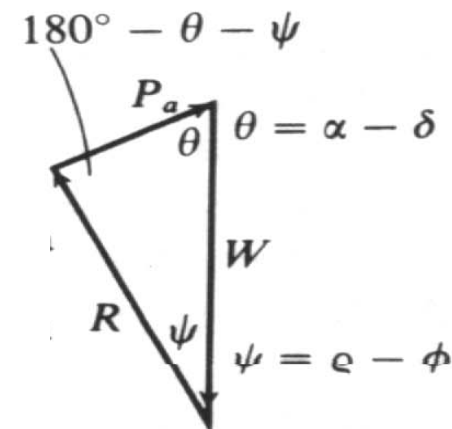
Il valore della pressione attiva si ricava dall'equilibrio delle forze agenti sul cuneo.

- Si costruisce il **triangolo delle forze** agenti sul cuneo.
- Si applica il **teorema dei seni**

$$\frac{P_a}{\sin(\rho - \phi)} = \frac{W}{\sin(180 - \alpha - \rho + \phi + \delta)}$$

da cui si ottiene:

$$P_a = \frac{W \sin(\rho - \phi)}{\sin(180 - \alpha - \rho + \phi + \delta)}$$



## Teoria di Coulomb

- Si sostituisce infine il valore di  $W$  nell'espressione di  $P_a$ :

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2 \sin^2 \alpha} \left[ \sin(\alpha + \rho) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\rho - \beta)} \right] \frac{\sin(\rho - \phi)}{\sin(180 - \alpha - \rho + \phi + \delta)}$$

$\alpha$ ,  $\phi$  e  $\delta$  sono delle costanti  $\Rightarrow P_a = f(\rho)$

La spinta attiva si ottiene determinando il massimo della funzione  $P_a = f(\rho)$ .

$$\Rightarrow \frac{dP_a}{d\rho} = 0$$

Quindi:

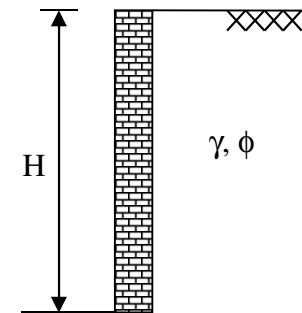
$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} = \frac{\gamma H^2}{2} K_a$$

**COEFFICIENTE DI SPINTA ATTIVA**

## Teoria di Coulomb

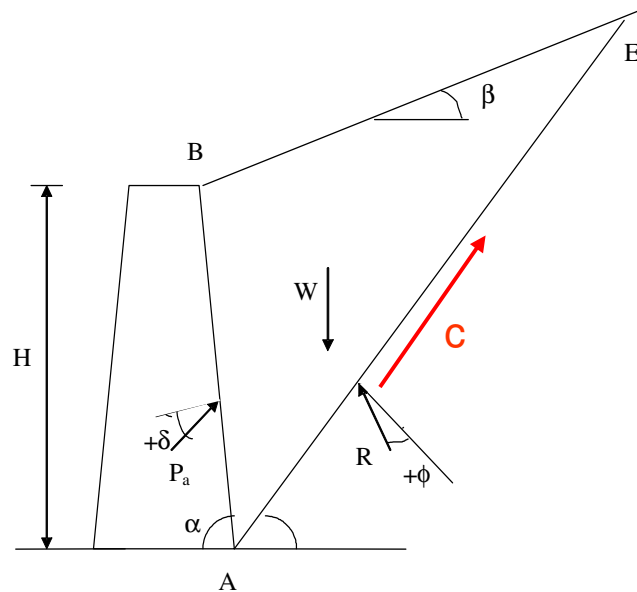
Nel caso in cui:  $\beta = \delta = 0$ ,  $\alpha = 90^\circ$ :

$$P_a = \frac{\gamma H^2 (1 - \sin \phi)}{2 (1 + \sin \phi)} = \frac{\gamma H^2}{2} \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{\gamma H^2}{2} K_a$$



# Teoria di Coulomb

## Terreni COESIVI ( $c \neq 0$ )

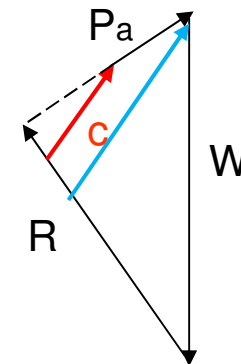


La teoria di Coulomb può essere utilizzata anche per terreni di tipo coesivo. Il triangolo delle forze agenti diventa un **quadrilatero**:

$c \neq 0$



La spinta  $P_a$  diminuisce





## Teoria di Coulomb

Valutazione della pressione passiva:

### Terreni INCOERENTI ( $c=0$ )

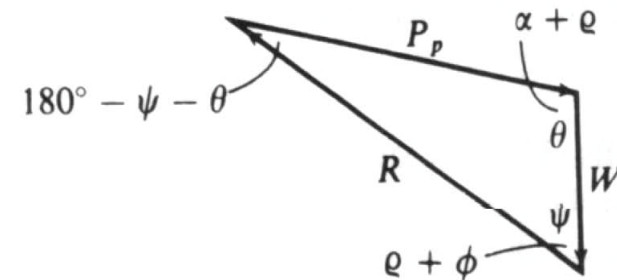
Il valore della pressione passiva si ricava dall'equilibrio delle forze agenti sul cuneo.

- ✓ Si costruisce il **triangolo delle forze** agenti sul cuneo.
- ✓ Si applica il **teorema dei seni**:

$$\frac{P_p}{\sin(\rho + \phi)} = \frac{W}{\sin(180 - \alpha - \rho - \phi - \delta)}$$

da cui si ottiene:

$$P_p = \frac{W \sin(\rho + \phi)}{\sin(180 - \alpha - \rho - \phi - \delta)}$$



## Teoria di Coulomb

✓ Si sostituisce infine il valore di  $W$  nell'espressione di  $P_p$ :

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2 \sin^2 \alpha} \left[ \sin(\alpha + \rho) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\rho - \beta)} \right] \frac{\sin(\rho + \phi)}{\sin(180 - \alpha - \rho - \phi - \delta)}$$

$\alpha$ ,  $\phi$  e  $\delta$  sono delle costanti  $\Rightarrow P_p = f(\rho)$

La spinta attiva si ottiene determinando il minimo della funzione  $P_p = f(\rho)$ .  $\Rightarrow \frac{dP_p}{d\rho} = 0$

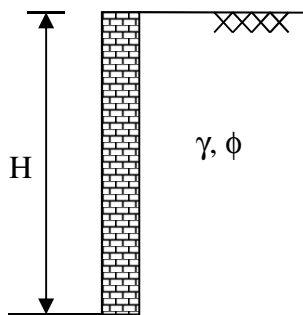
Quindi:

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} = \frac{\gamma H^2}{2} K_p$$

**COEFFICIENTE DI SPINTA PASSIVA**

## Teoria di Coulomb

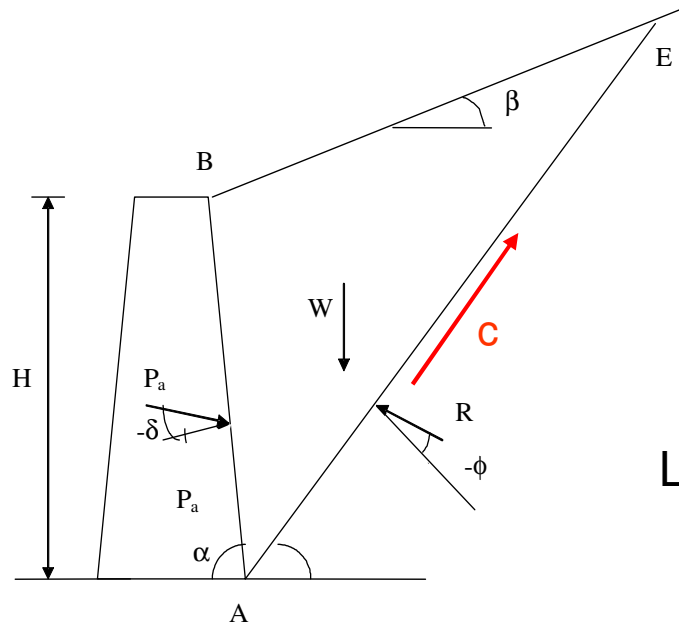
Nel caso in cui:  $\beta = \delta = 0$ ,  $\alpha = 90^\circ$ :



$$P_p = \frac{\gamma H^2 (1 + \sin \phi)}{2 (1 - \sin \phi)} = \frac{\gamma H^2}{2} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) = \frac{\gamma H^2}{2} K_p$$

# Teoria di Coulomb

## Terreni COESIVI ( $c \neq 0$ )

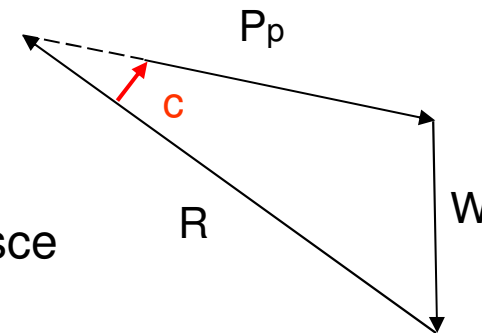


Come per il caso della spinta attiva anche per quella passiva il triangolo delle forze diventa un **quadrilatero**:

$c \neq 0$



La spinta  $P_p$  diminuisce

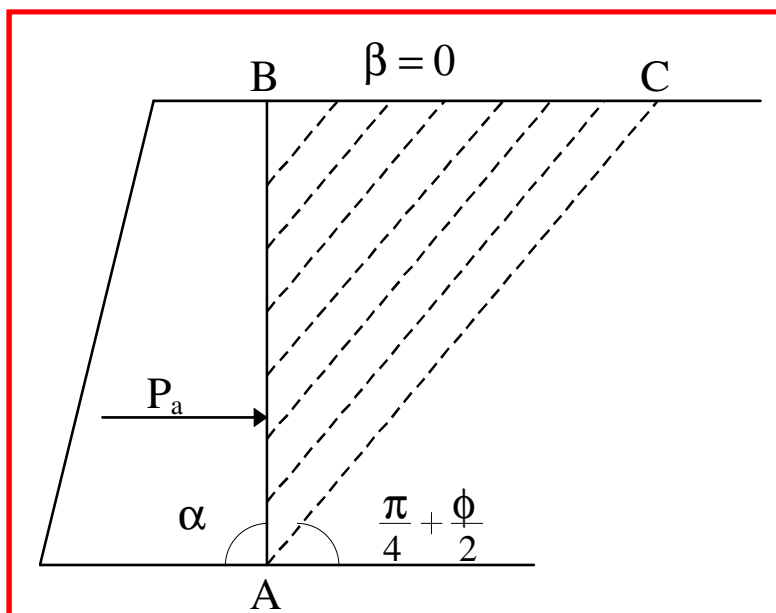


# Teoria di Coulomb

Caso di estradosso piano:

**Caso attivo**

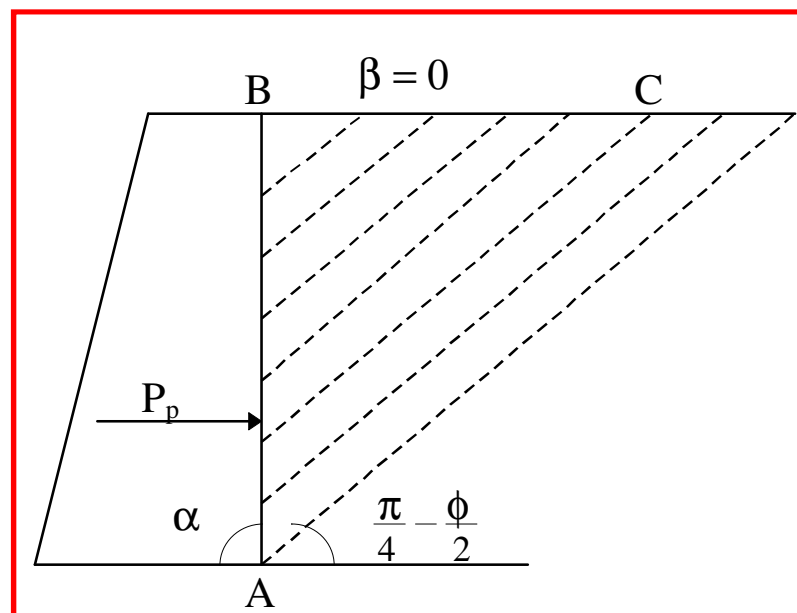
$$\rho = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}$$



*Cuneo attivo*

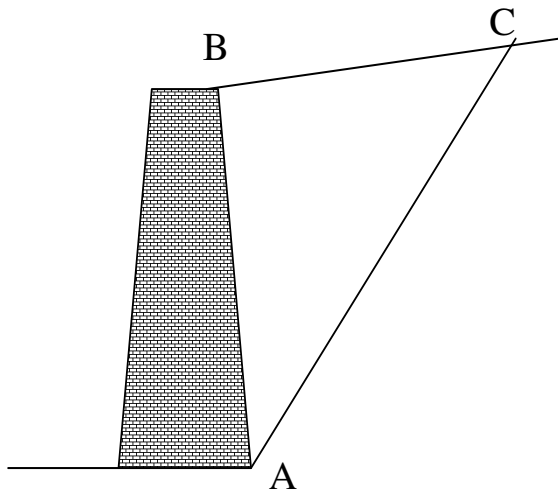
**Caso passivo**

$$\rho = \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}$$



*Cuneo passivo*

## Teoria di Rankine



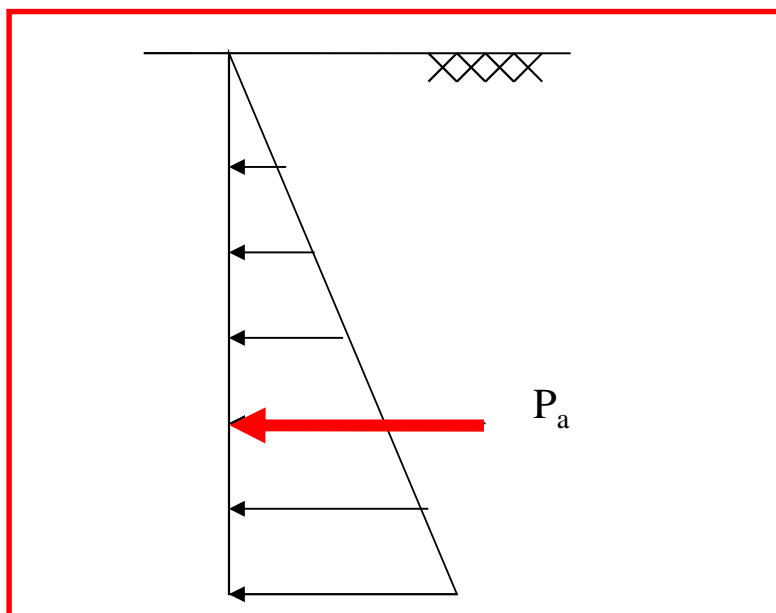
### Ipotesi:

- 1) Terreno **omogeneo** ed **isotropo**;
- 2) Superficie di rottura (AC) approssimata ad un **piano**;
- 3) Tensioni tangenziali resistenti distribuite uniformemente lungo il piano di rottura. Il **coefficiente d'attrito**  $f$  vale  $f = \operatorname{tg} \phi$ ;
- 4) Il cuneo di rottura ABC si comporta come un **corpo rigido**;
- 5) La rottura avviene in condizioni di deformazione piana. Si considera, quindi, una porzione unitaria di muro ( $\Delta z = 1$ ) infinitamente lungo.

➔ Stesse ipotesi di teoria di Coulomb, ma **si trascura l'attrito** tra muro e terreno.

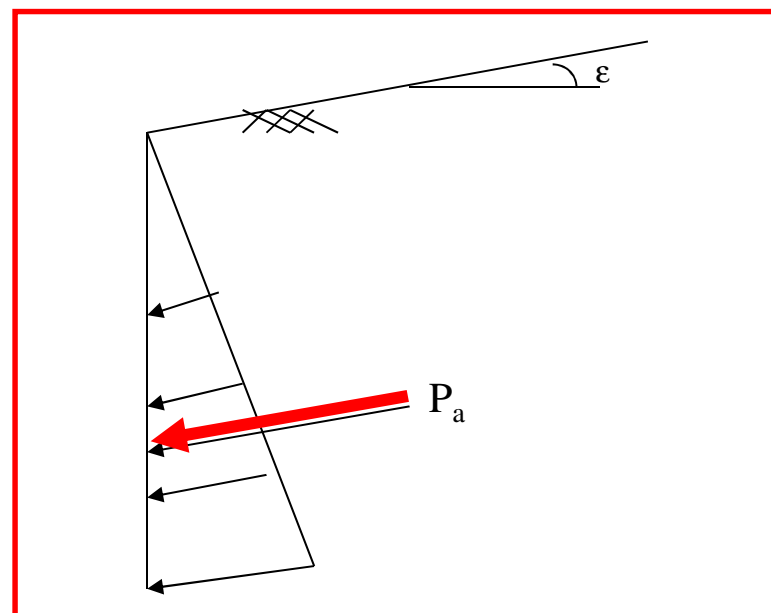
## Teoria di Rankine

Si ipotizza che le tensioni siano parallele all'estradosso del terreno



Estradosso piano:

$$\varepsilon = 0^\circ$$

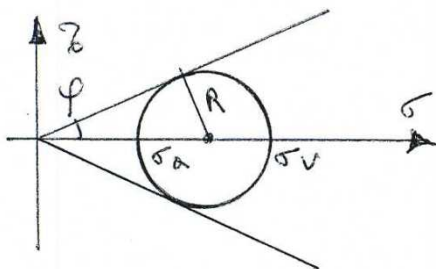


Estradosso inclinato:

$$\varepsilon \neq 0^\circ$$

## Teoria di Rankine

### Spinta ATTIVA



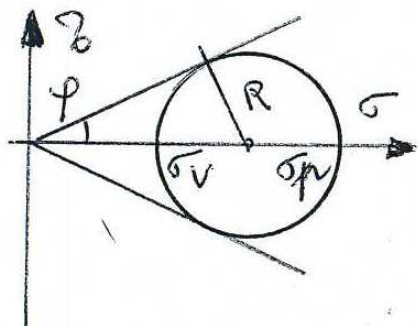
$$R = \frac{\sigma_v - \sigma_a}{2} = \frac{\sigma_v + \sigma_a}{2} \cdot \text{sen} \phi$$

$$\sigma_v \cdot (1 - \text{sen} \phi) = \sigma_a \cdot (1 + \text{sen} \phi)$$

$$\sigma_a = \sigma_v \cdot \left( \frac{1 - \text{sen} \phi}{1 + \text{sen} \phi} \right) = \sigma_v \cdot \text{tg}^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\sigma_a = \sigma_v \cdot \lambda_a = \gamma \cdot h \cdot \text{tg}^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

### Spinta PASSIVA



$$R = \frac{\sigma_p - \sigma_v}{2} = \frac{\sigma_v + \sigma_p}{2} \cdot \text{sen} \phi$$

$$\sigma_v \cdot (1 + \text{sen} \phi) = \sigma_p \cdot (1 - \text{sen} \phi)$$

$$\sigma_p = \sigma_v \cdot \left( \frac{1 + \text{sen} \phi}{1 - \text{sen} \phi} \right) = \sigma_v \cdot \text{tg}^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\sigma_p = \sigma_v \cdot \lambda_p = \gamma \cdot h \cdot \text{tg}^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$



## Teoria di Rankine

### Coefficienti di spinta:

Nel caso in cui:  $\beta = 0^\circ$ :

**Spinta ATTIVA**  $\Rightarrow K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)$

**Spinta PASSIVA**  $\Rightarrow K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$

Coincidono con le espressioni di **Coulomb** nel caso in cui:  $\beta = \delta = 0^\circ$ ,  $\alpha = 90^\circ$

Altrimenti:

**Spinta ATTIVA**  $\Rightarrow K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$

**Spinta PASSIVA**  $\Rightarrow K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$

## Teoria di Rankine

Espressioni della spinta:

**Terreni INCOERENTI (c=0)**

**Spinta ATTIVA**  $\Rightarrow P_a = \frac{\gamma h^2}{2} K_a$

**Spinta PASSIVA**  $\Rightarrow P_p = \frac{\gamma h^2}{2} K_p$

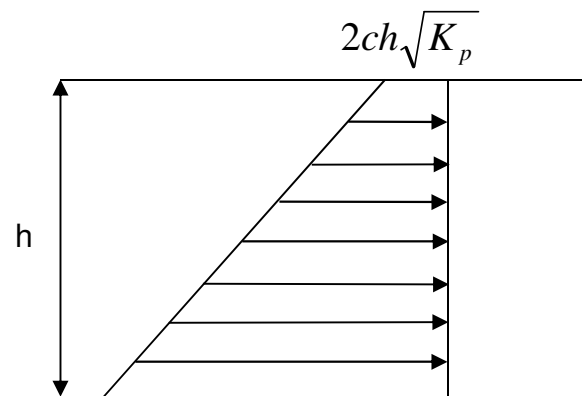
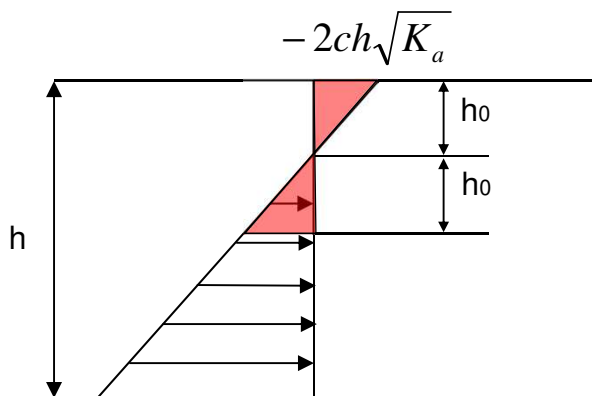
**Terreni COESIVI (c≠0)**

**Spinta ATTIVA**

$\Rightarrow P_a = \frac{\gamma h^2}{2} K_a - 2ch\sqrt{K_a}$

**Spinta PASSIVA**

$\Rightarrow P_p = \frac{\gamma h^2}{2} K_p + 2ch\sqrt{K_p}$



## Pressioni sul terreno

### PRESSIONE A RIPOSO:

$$\sigma'_{h0} = K_0 \sigma'_{v0}$$

dove:

$\sigma'_{h0}$  = tensione orizzontale efficace

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace

$K_0$  = coefficiente di spinta a riposo.

### PRESSIONE ATTIVA:

**Terreni incoerenti**

$$\sigma'_A = K_A \sigma'_v = tg^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \sigma'_v$$

**Terreni coerenti**

$$\sigma'_A = K_A \sigma'_v - 2c \sqrt{K_A} = tg^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \sigma'_v - 2c \sqrt{tg^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)}$$

### PRESSIONE PASSIVA:

**Terreni incoerenti**

$$\sigma'_P = K_P \sigma'_v = tg^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \sigma'_v$$

**Terreni coerenti**

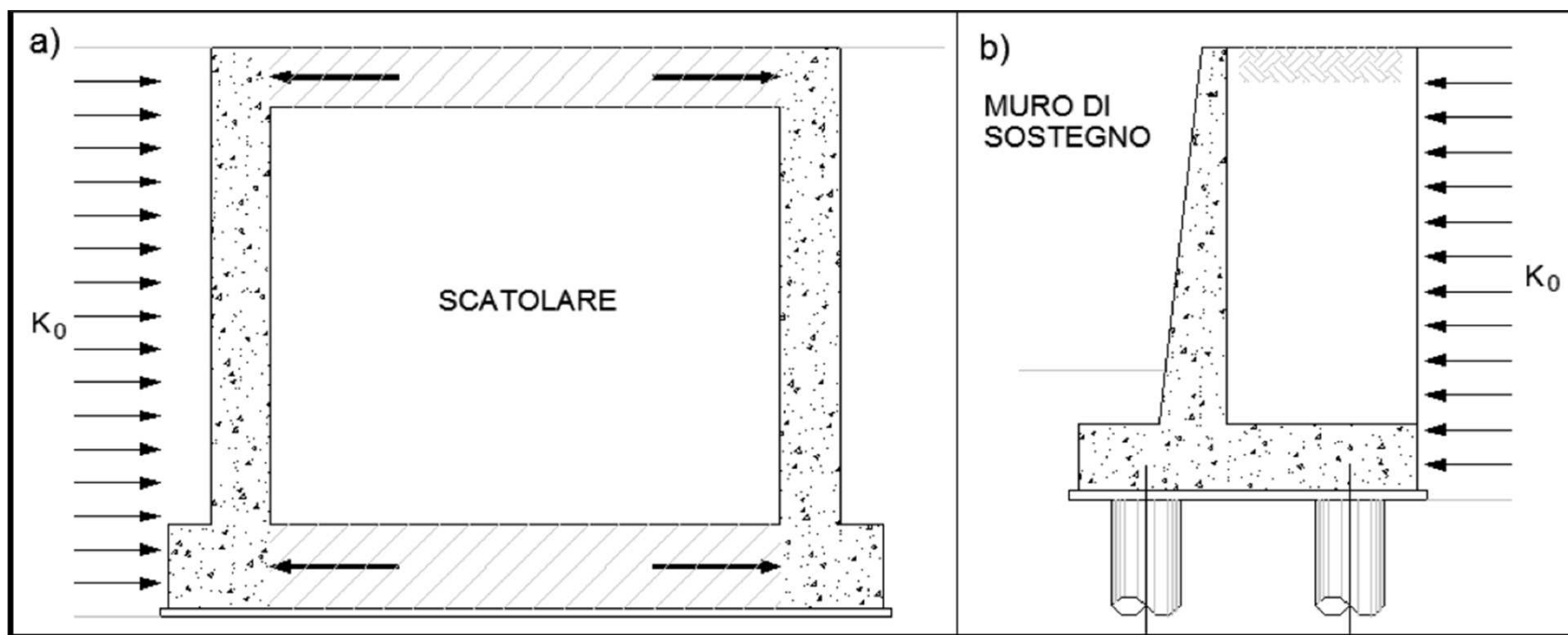
$$\sigma'_P = K_P \sigma'_v + 2c \sqrt{K_P} = tg^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \sigma'_v + 2c \sqrt{tg^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)}$$

## Spinta a riposo

### ESEMPI

**Struttura scatolare:** la soletta superiore e quella inferiore agiscono da puntoni, non consentendo alcun spostamento.

### Muro di sostegno su pali



## Pressioni sul terreno: ricapitolando...

### COEFFICIENTI DI SPINTA:

**Spinta ATTIVA**  $\Rightarrow K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$

**Spinta PASSIVA**  $\Rightarrow K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$

Nel caso in cui l'estradosso del terreno si orizzontale:  $\beta = 0^\circ$ :

**Spinta ATTIVA**  $\Rightarrow K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)$

**Spinta PASSIVA**  $\Rightarrow K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$

## Pressioni sul terreno: ricapitolando...

### PRESSIONE AGENTE SUL TERRENO:

#### PRESSIONE ATTIVA:

**Terreni incoerenti**

$$\sigma'_A = K_A \sigma'_v = tg^2 \left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \sigma'_v$$

**Terreni coerenti**

$$\sigma'_A = K_A \sigma'_v - 2c\sqrt{K_A} = tg^2 \left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \sigma'_v - 2c\sqrt{tg^2 \left(45 - \frac{\phi}{2}\right)}$$

#### PRESSIONE PASSIVA:

**Terreni incoerenti**

$$\sigma'_P = K_P \sigma'_v = tg^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \sigma'_v$$

**Terreni coerenti**

$$\sigma'_P = K_P \sigma'_v + 2c\sqrt{K_P} = tg^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \sigma'_v + 2c\sqrt{tg^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right)}$$

## Pressioni sul terreno: ricapitolando...

### SPINTA AGENTE SUL TERRENO:

#### SPINTA ATTIVA:

**Terreni incoerenti**

$$\Rightarrow P_a = \frac{\gamma h^2}{2} K_a$$

**Terreni coerenti**

$$\Rightarrow P_a = \frac{\gamma h^2}{2} K_a - 2ch\sqrt{K_a}$$

#### SPINTA PASSIVA:

**Terreni incoerenti**

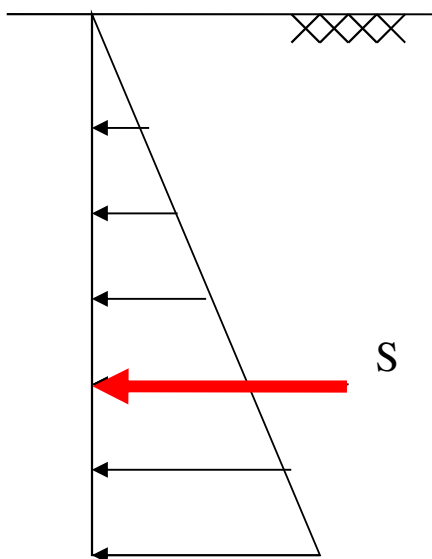
$$\Rightarrow P_p = \frac{\gamma h^2}{2} K_p$$

**Terreni coerenti**

$$\Rightarrow P_p = \frac{\gamma h^2}{2} K_p + 2ch\sqrt{K_p}$$

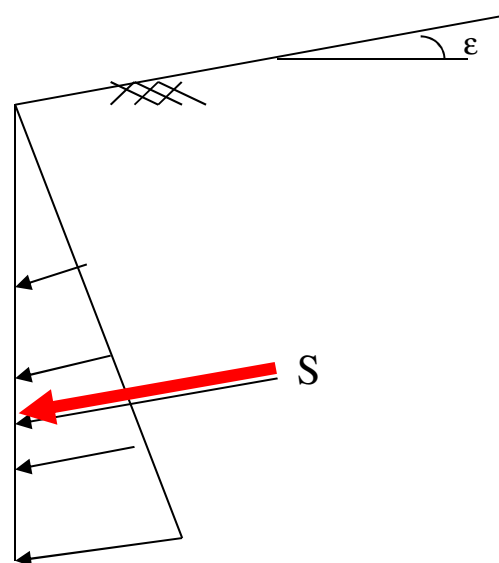
## Pressioni sul terreno: ricapitolando...

### ANDAMENTO DEL DIAGRAMMA DI SPINTA:



Estradosso piano:

$$\varepsilon = 0^\circ$$



Estradosso inclinato:

$$\varepsilon \neq 0^\circ$$



## Pressioni sul terreno: presenza di un sovraccarico

Tensioni verticali dovute al terreno:

$$z = 0: \sigma_v = 0$$

$$z = H: \sigma_v = \gamma * H$$

Tensioni verticali dovute al sovraccarico:

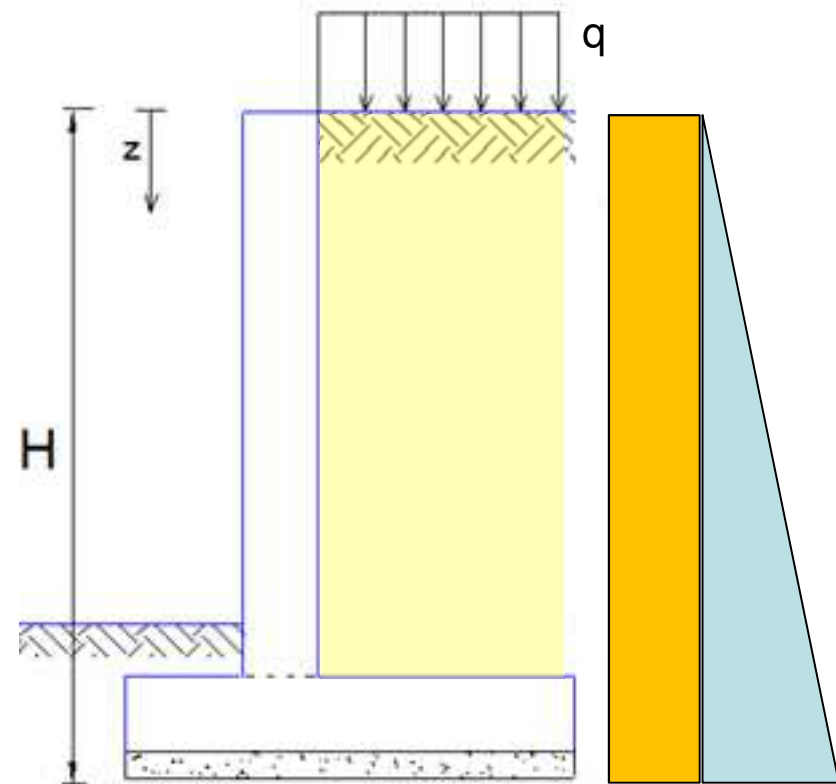
$$z = 0: \sigma_v = q$$

$$z = H: \sigma_v = q$$

Tensioni verticali totali:

$$z = 0: \sigma_v = 0 + q$$

$$z = H: \sigma_v = \gamma * H + q$$

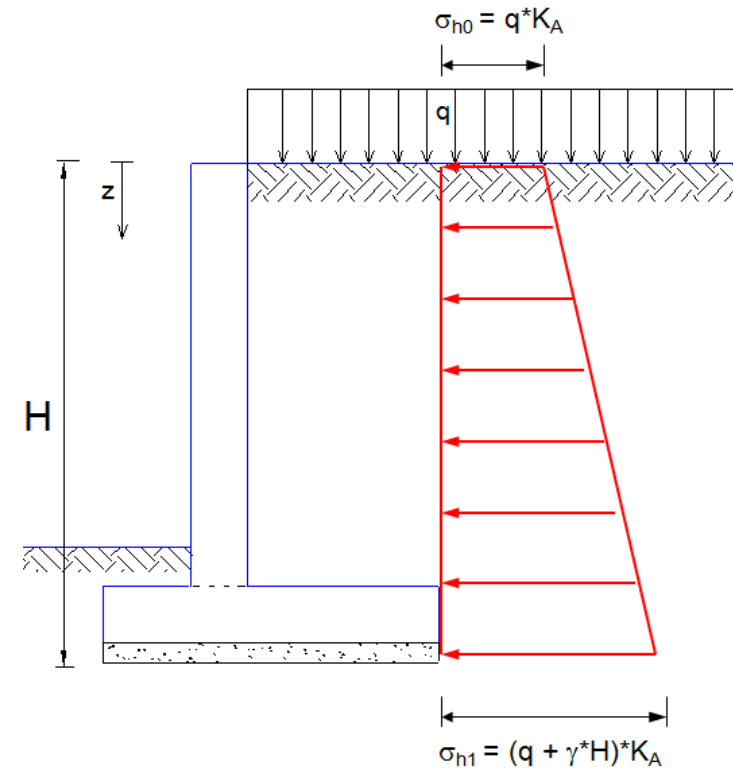
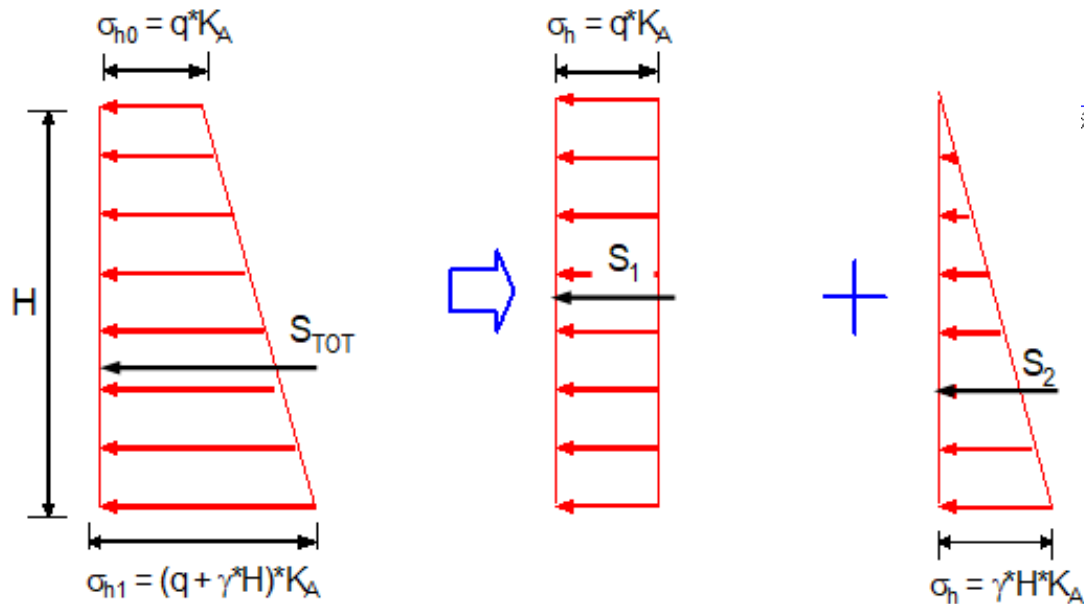


# Pressioni sul terreno: presenza di un sovraccarico

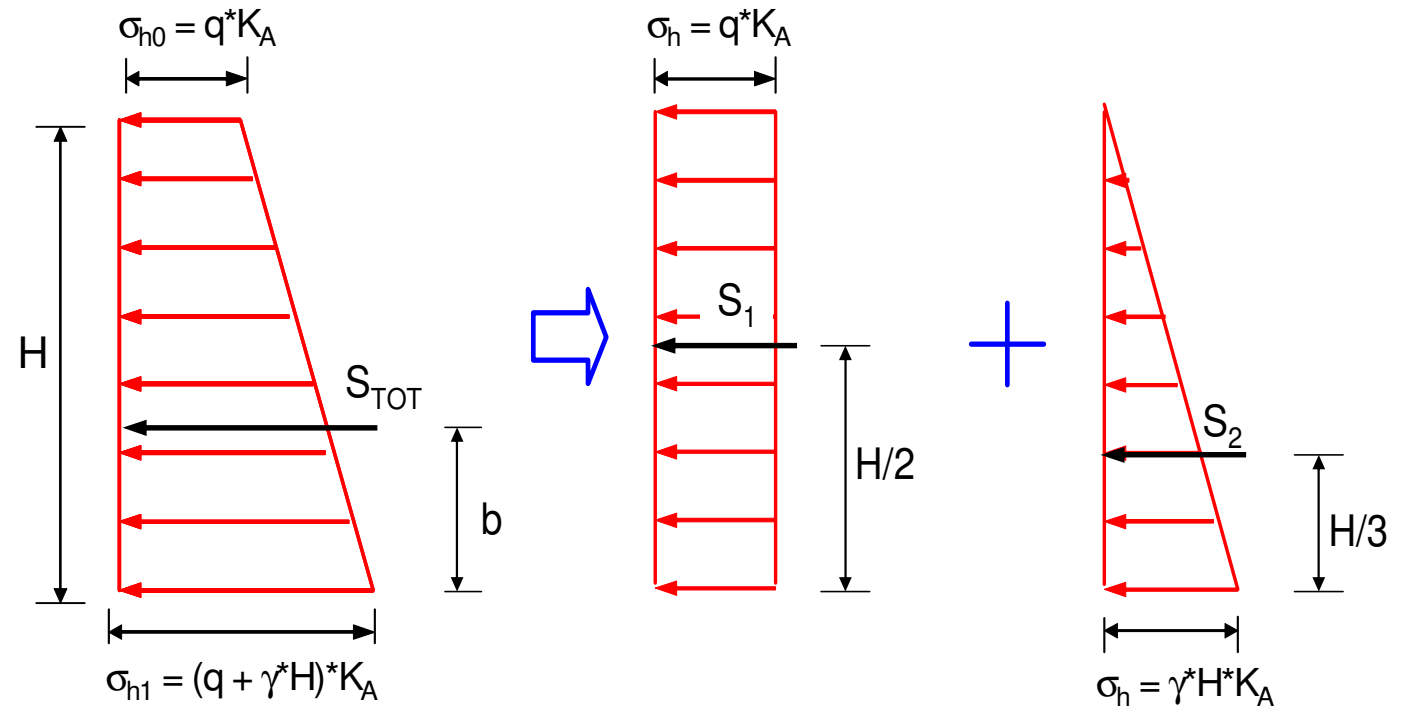
Tensioni orizzontali:

$$z = 0: \sigma_{h0} = (q) * K_A$$

$$z = H: \sigma_{h1} = (q + \gamma * H) * K_A$$



# Pressioni sul terreno: presenza di un sovraccarico



Spinta risultante:

$$S_{TOT} = qHK_A + \frac{1}{2}\gamma H^2 K_A$$

Punto d'applicazione:  $bS_{TOT} = \frac{H}{2} S_1 + \frac{H}{3} S_2$        $bS_{TOT} = \frac{H}{2} (qHK_A) + \frac{H}{3} \left( \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A \right)$

## Pressioni sul terreno: presenza di un terreno coesivo

Si esamina una verifica a lungo termine (coesione drenata).

$$\sigma_A = \gamma z K_A - 2c\sqrt{K_A}$$

Tensioni orizzontali:

$$z = 0: \sigma_h = -2cK_A^{1/2}$$

$$z = H: \sigma_h = \gamma H K_A - 2cK_A^{1/2}$$

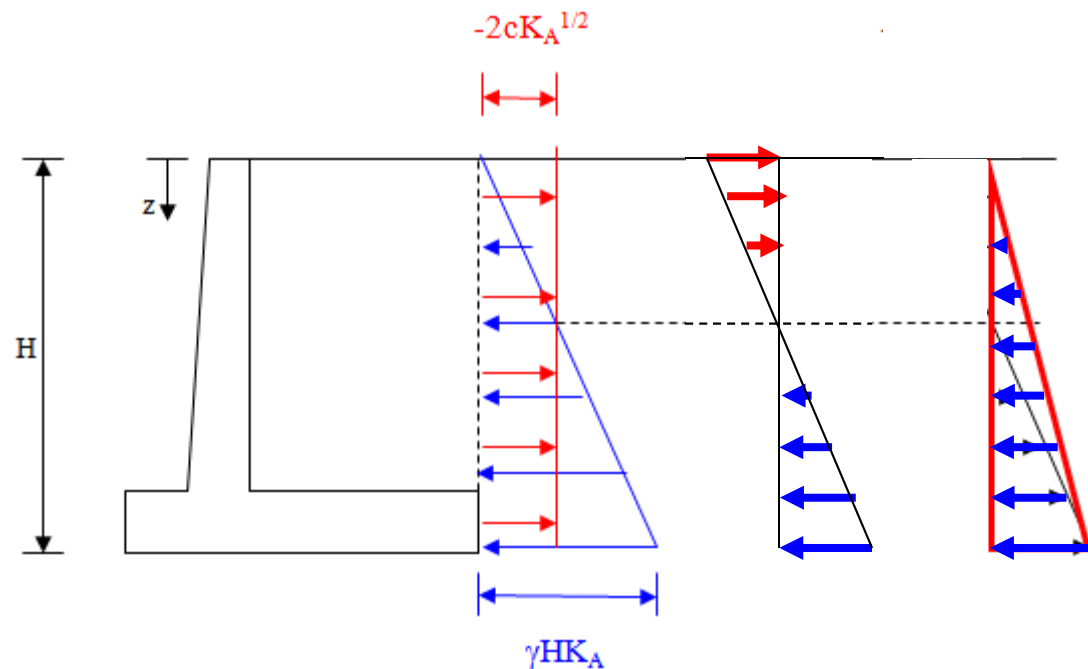
Grafico risultante «a farfalla»



Esistono anche delle tensioni di trazione

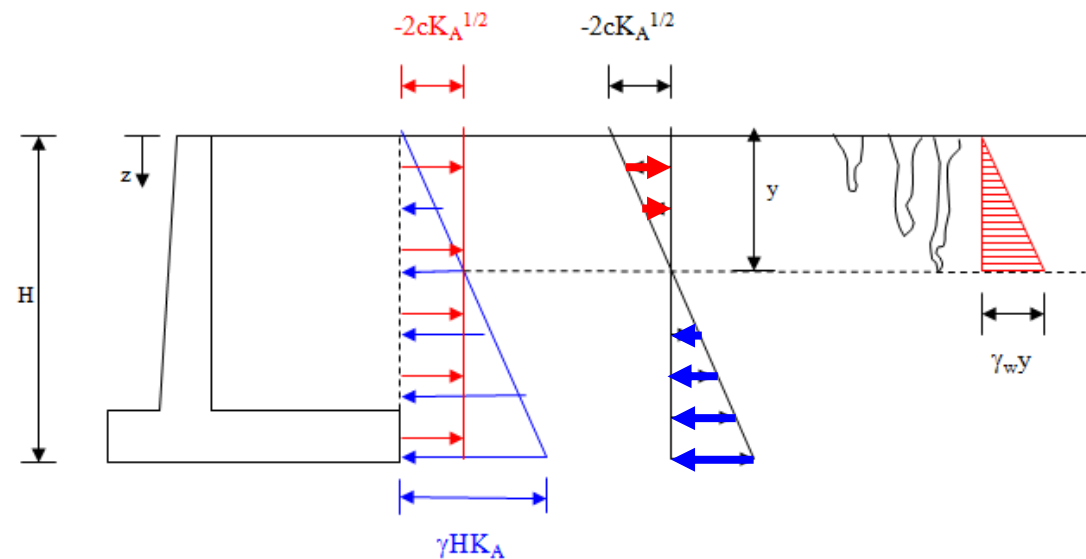


Il diagramma da adottare è triangolare.



## Pressioni sul terreno: presenza di un terreno coesivo

Determinazione del punto in cui si annullano le  $\sigma_a$ .



Profondità critica:

$$\sigma_A = \gamma z K_A - 2c' \sqrt{K_A}$$

$$\sigma_A = 0$$



$$y = \frac{2c' \sqrt{K_A}}{\gamma K_A} = \frac{2c'}{\gamma \sqrt{K_A}}$$

## Pressioni sul terreno: presenza di un sovraccarico e della falda

### Tensioni verticali:

$$z = 0: \sigma_v = q$$

$$z = m: \sigma_v = q + \gamma^* m$$

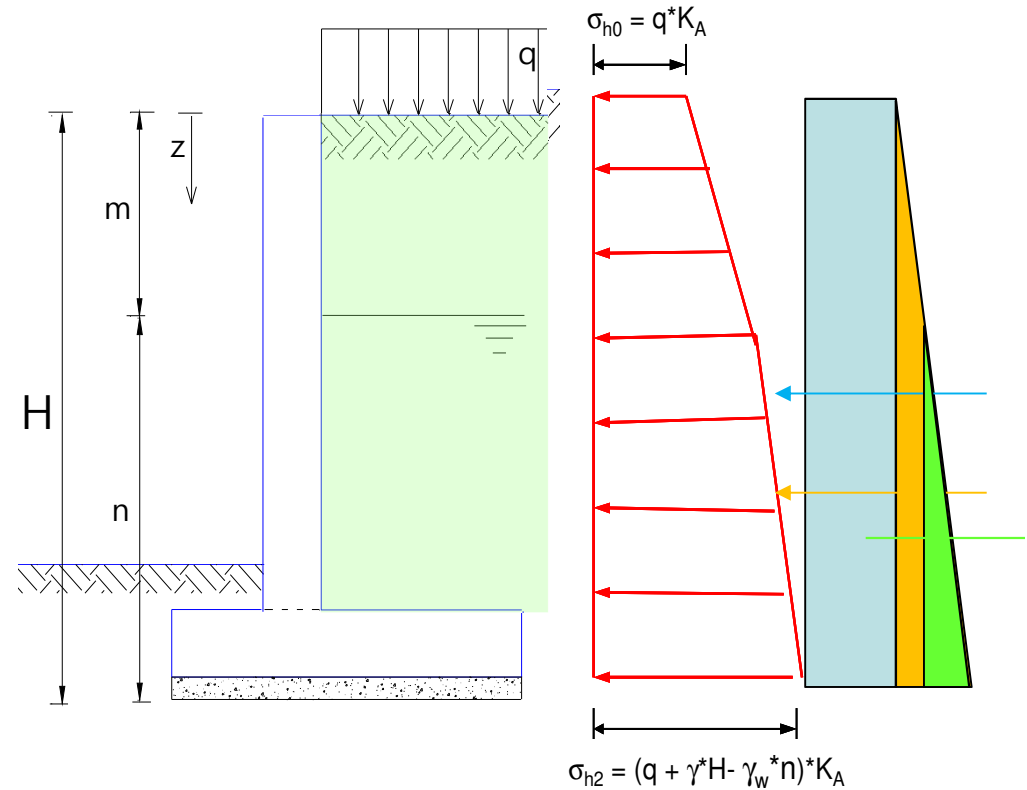
$$z = H: \sigma_v = q + \gamma^* H - \gamma_w^* n$$

### Tensioni orizzontali:

$$z = 0: \sigma_{h0} = q * K_A$$

$$z = m: \sigma_{h1} = (q + \gamma^* m) * K_A$$

$$z = H: \sigma_{h2} = (q + \gamma^* H - \gamma_w^* n) * K_A$$



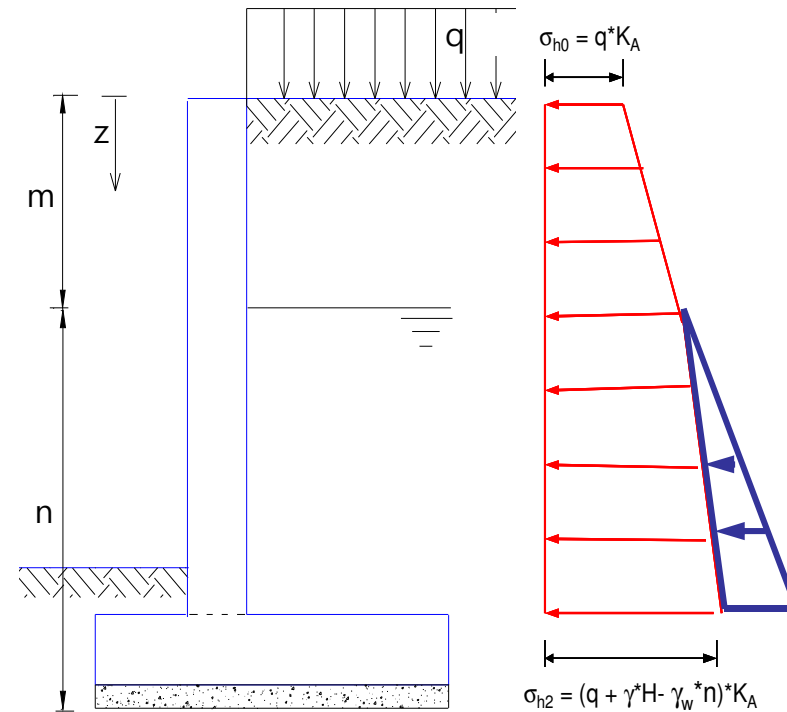
## Pressioni sul terreno: presenza di un sovraccarico e della falda

Spinta risultante:

$$S = qHK_A + \frac{1}{2} \gamma(m^2 + n^2)K_A + \gamma mnK_A - \frac{1}{2} \gamma_w n^2 K_A$$

La pressione neutra da un lato diminuisce la tensione efficace, dall'altro agisce con la spinta idrostatica su tutto il paramento.

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w n^2$$



# Pressioni sul terreno: presenza di un terreno stratificato

## Tensioni verticali:

$$z = 0: \sigma_V = 0$$

$$z = m: \sigma_V = \gamma_1 m$$

$$z = H: \sigma_V = \gamma_1 m + \gamma_2 n$$

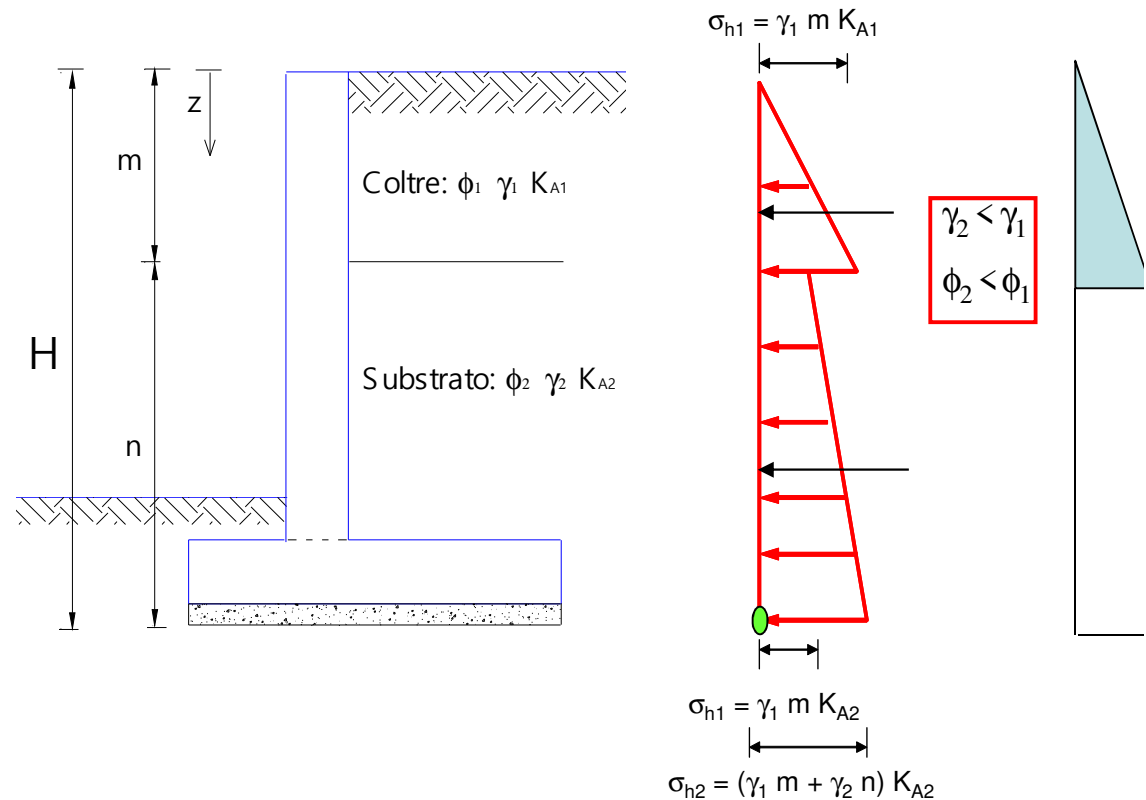
## Tensioni orizzontali:

$$z = 0: \sigma_{h0} = 0$$

$$z = m: \sigma_{h1} = \gamma_1 m K_{A1}$$

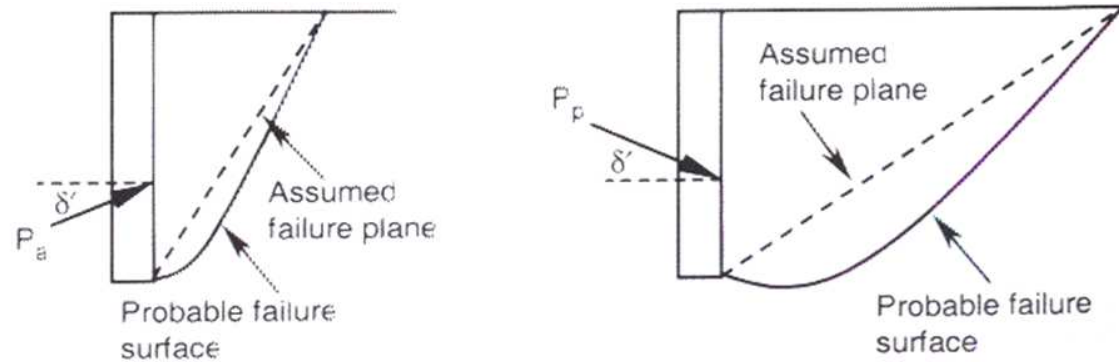
$$\sigma_{h1} = \gamma_1 m K_{A2}$$

$$z = H: \sigma_{h2} = (\gamma_1 m + \gamma_2 n) K_{A2}$$





## Spinta con superficie curvilinea



		$\delta / \phi = 0.5$		$\delta / \phi = 1$	
	$\phi$	Superficie di rottura piana	Spirale logaritmica	Superficie di rottura piana	Spirale logaritmica
$K_a$	30	0.30	0.28	0.30	0.29
	40	0.21	0.18	0.20	0.20
$K_p$	30	4.95	4.66	10.05	6.93
	40	11.83	9.58	80.64	18.28

Sovrastima del contributo stabilizzante



Sovrastima della spinta passiva



## Spinta con superficie curvilinea

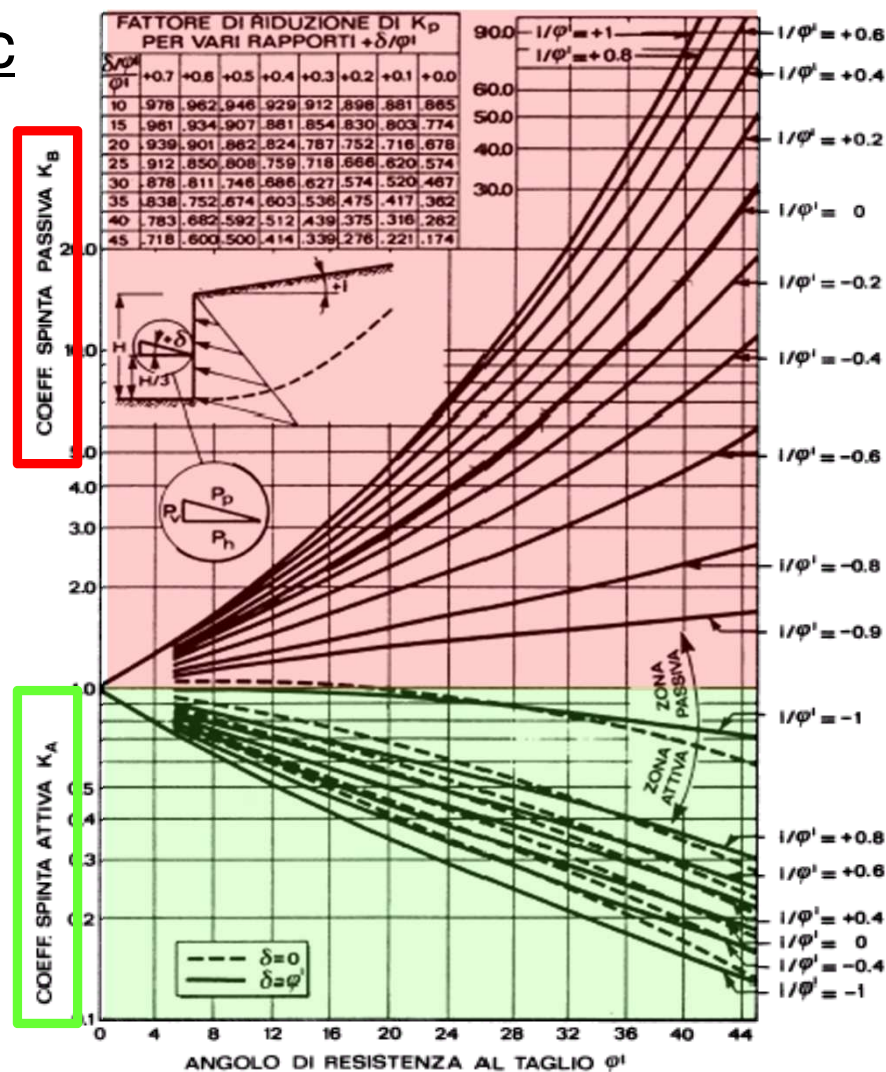
### Diagrammi forniti dal NavFac

Ipotizzano una superficie di rottura a spirale logaritmica.

Forniscono il valore di  $K_a$  e  $K_p$ .

$K_a$  → Al di sotto di 1 sull'asse delle ordinate

$K_p$  → Al di sopra di 1 sull'asse delle ordinate



# Spinta con superficie curvilinea

## Diagrammi forniti dal NavFac

### VALUTAZIONE DI $K_a$

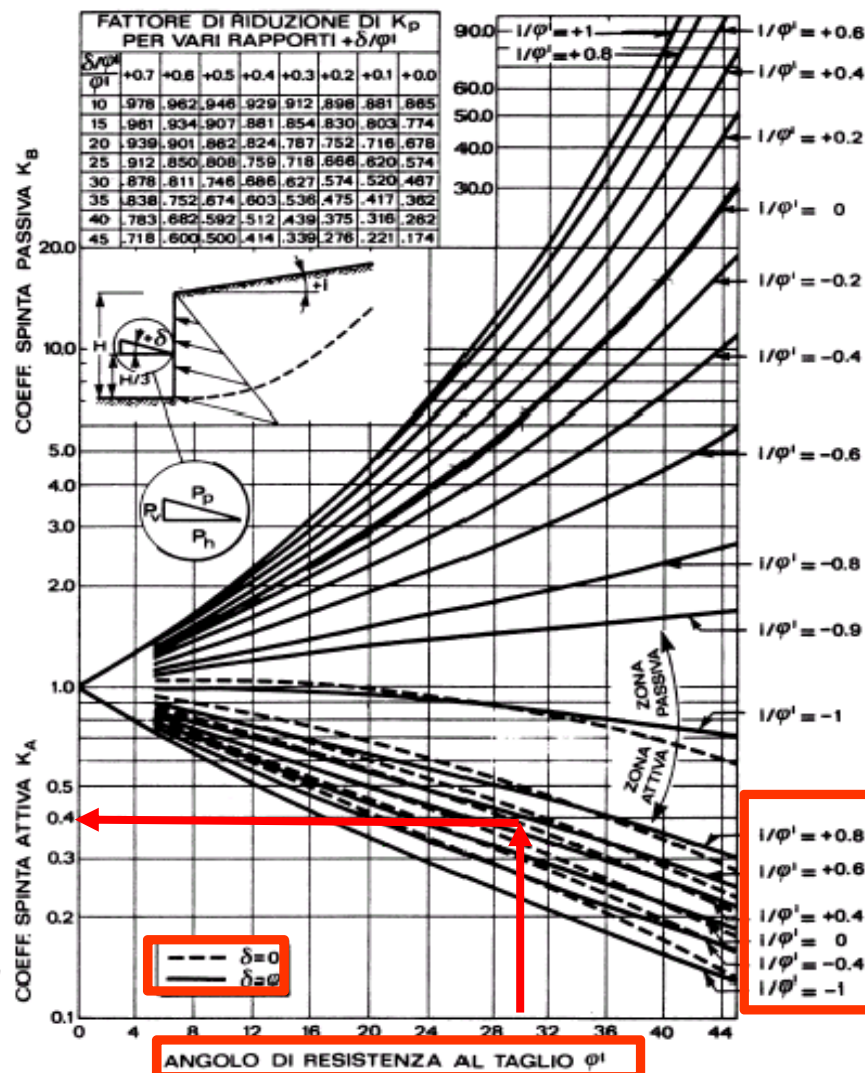
Il valore di  $K_a$  si valuta in funzione di diversi fattori:

- angolo di res. a taglio del terr.  $\phi$ ;
- rapporto  $i/\phi$  tra l' inclinazione dell'estradosso (i) e angolo di res. a taglio ( $\phi$ );
- angolo d'attrito muro-terreno  $\delta$ .

### Esempio:

- ✓  $\phi = 30^\circ$  ;
- ✓  $\delta = 0^\circ$  ;  $\Rightarrow i / \phi = 0.4$
- ✓  $i = 12^\circ$  .

$$K_a = 0.40$$



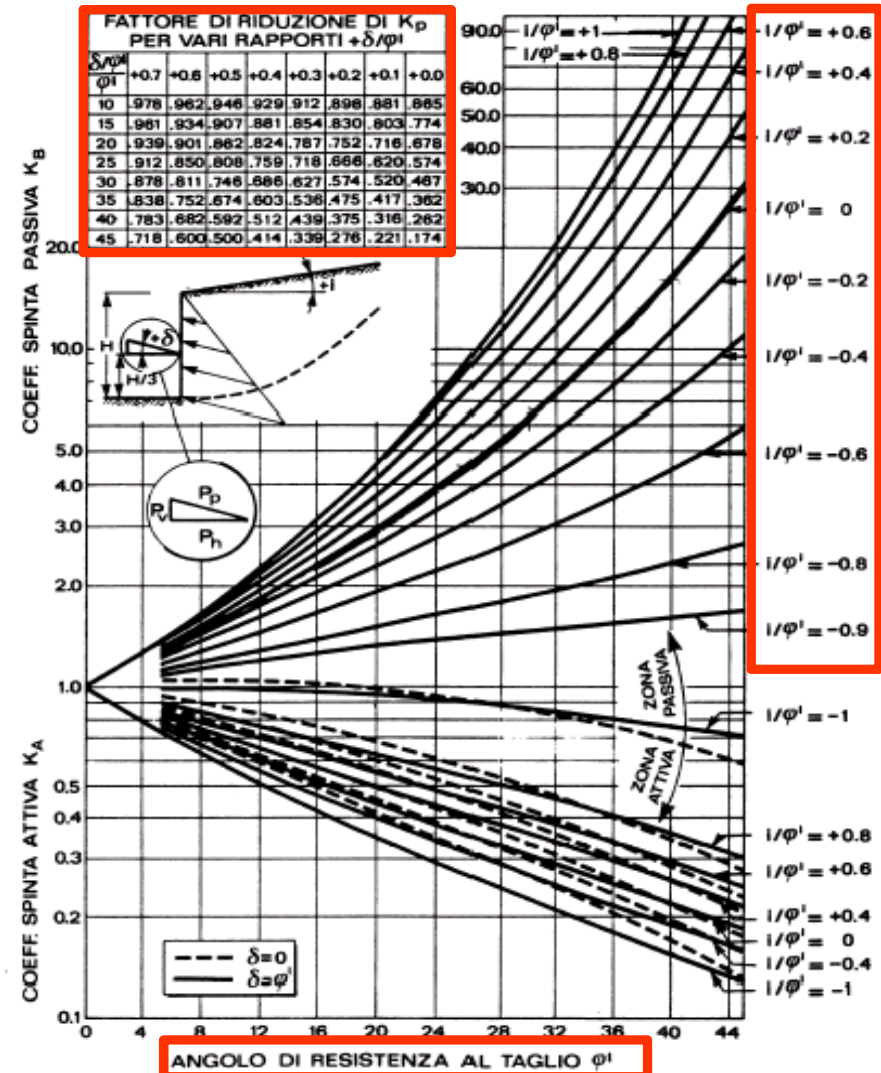
## Spinta con superficie curvilinea

### Diagrammi forniti dal NavFac

#### VALUTAZIONE DI $K_p$

Il valore di  $K_p$  si valuta in funzione di diversi fattori:

- angolo di res. a taglio del terr.  $\phi$ ;
- rapporto  $(i/\phi)$  tra l'inclinazione dell'estradosso ( $i$ ) e angolo di res. a taglio ( $\phi$ );
- rapporto tra l'angolo d'attrito muro-terreno e l'angolo di res. a taglio  $\delta/\phi$ . Serve per determinare il fattore correttivo.



## Spinta con superficie curvilinea

### Diagrammi forniti dal NavFac

#### VALUTAZIONE DI $K_p$

#### Esempio:

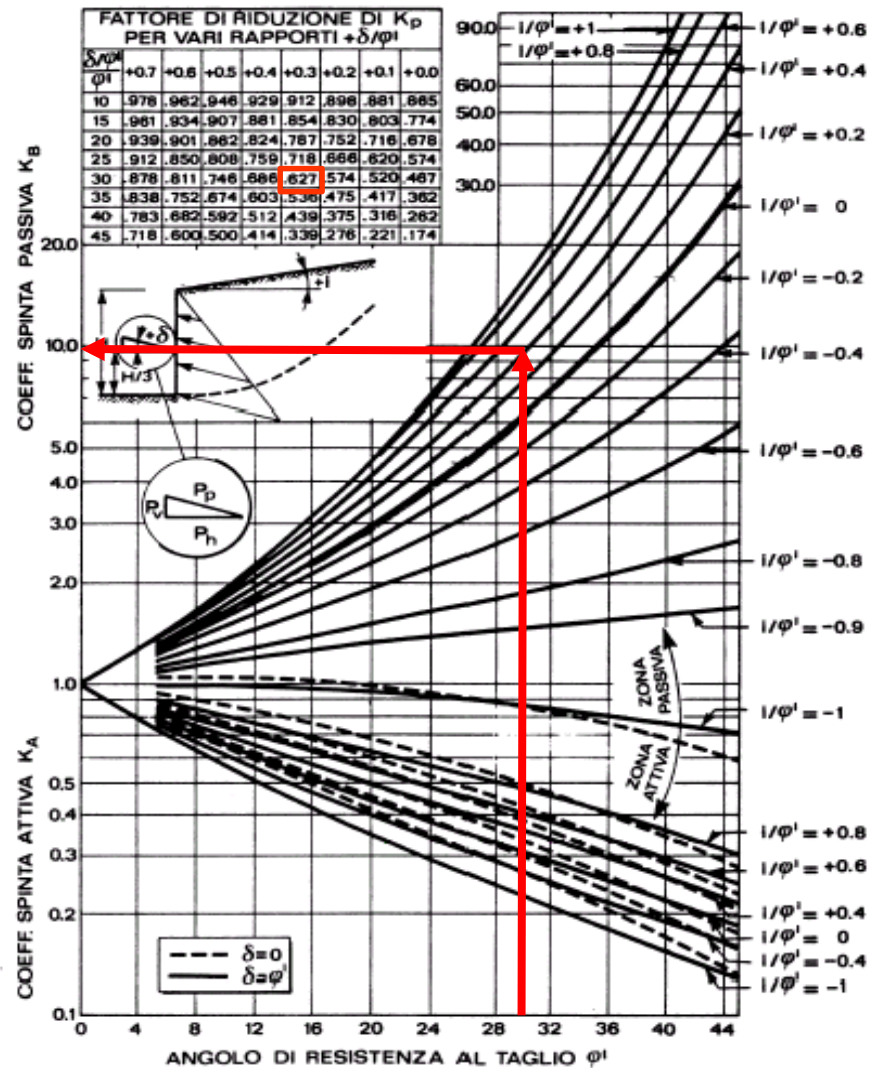
✓  $\phi = 30^\circ$   
 ✓  $i = 12^\circ$  →  $i / \phi = 0.4$

↓  
 $K_p^* = 9.5$

✓  $\delta = 10^\circ$  →  $\delta / \phi = 0.3$

↓  
 $F_c = 0.627$

↓  
 $K_p = F_c \cdot K_p^* = 6$



# Valutazione di $\delta$

## Diagrammi forniti dal NavFac

Valori indicativi dell'angolo  $\delta$ :

$$\delta = \frac{2}{3} \div \frac{3}{4} \phi$$

Calcestruzzo magro

Palancole in acciaio

Calcestruzzo casserato o palancole in c.a.

Vari materiali strutturali (muratura, roccia vulcanica, muratura su legno, ecc.)

Interface Materials	Friction factor, tan [delta]	Friction angle [delta] degrees
Mass concrete on the following foundation materials:		
Clean sound rock.....	0.70	35
Clean gravel, gravel-sand mixtures, coarse sand...	0.55 to 0.60	29 to 31
Clean fine to medium sand, silty medium to coarse sand, silty or clayey gravel.....	0.45 to 0.55	24 to 29
Clean fine sand, silty or clayey fine to medium sand.....	0.35 to 0.45	19 to 24
Fine sandy silt, nonplastic silt.....	0.30 to 0.35	17 to 19
Very stiff and hard residual or preconsolidated clay.....	0.40 to 0.50	22 to 26
Medium stiff and stiff clay and silty clay..... (Masonry on foundation materials has same friction factors.)	0.30 to 0.35	17 to 19
Steel sheet piles against the following soils:		
Clean gravel, gravel-sand mixtures, well-graded rock fill with spalls.....	0.40	22
Clean sand, silty sand-gravel mixture, single size hard rock fill.....	0.30	17
Silty sand, gravel or sand mixed with silt or clay	0.25	14
Fine sandy silt, nonplastic silt.....	0.20	11
Formed concrete or concrete sheet piling against the following soils:		
Clean gravel, gravel-sand mixture, well-graded rock fill with spalls.....	0.40 to 0.50	22 to 26
Clean sand, silty sand-gravel mixture, single size hard rock fill.....	0.30 to 0.40	17 to 22
Silty sand, gravel or sand mixed with silt or clay	0.30	17
Fine sandy silt, nonplastic silt.....	0.25	14
Various structural materials:		
Masonry on masonry, igneous and metamorphic rocks:		
Dressed soft rock on dressed soft rock.....	0.70	35
Dressed hard rock on dressed soft rock.....	0.65	33
Dressed hard rock on dressed hard rock.....	0.55	29
Masonry on wood (cross grain).....	0.50	26
Steel on steel at sheet pile interlocks.....	0.30	17