

Lezione 10

GEOTECNICA

Docente: Ing. Giusy Mitaritonna
e-mail: g.mitaritonna@poliba.it

- Lezione 10 –

- A. Opere di sostegno
- B. Spinta delle Terre
- C. Teoria di Rankine (1857)
- D. Teoria di Coulomb (1776)

10.A

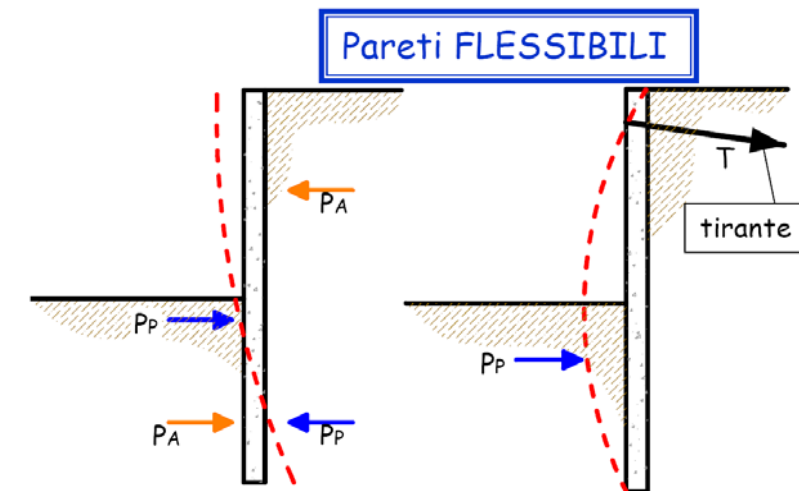
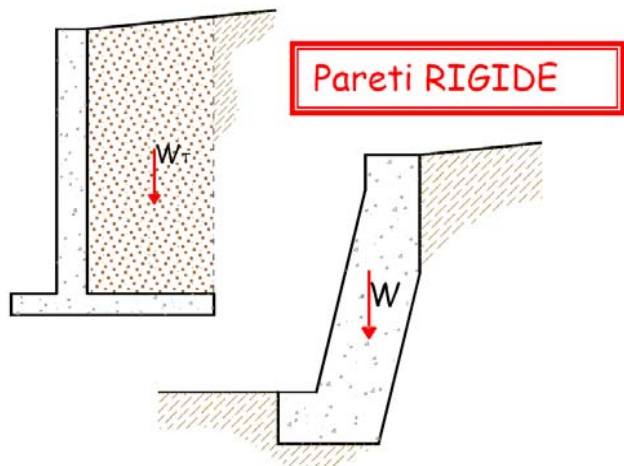
Opere di sostegno

Opere di sostegno

Le opere di sostegno sono delle strutture in grado di contrastare le spinte esercitate da un fronte di terreno instabile.

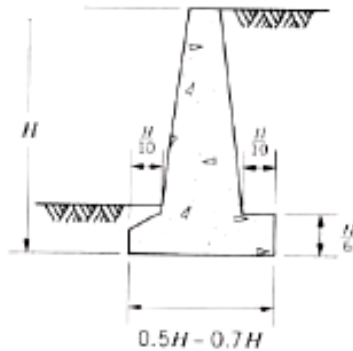
Si distinguono in due categorie: - opere di sostegno *rigide*
- opere di sostegno *flessibili*

Per le opere di sostegno *rigide* la stabilità è legata al peso W dell'opera stessa e/o a quella del terreno W_T che grava sulla suola di fondazione.



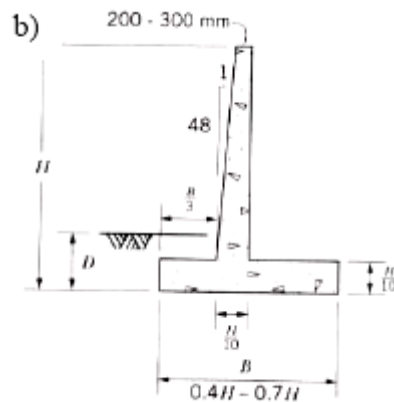
Per le opere di sostegno *flessibili* l'equilibrio è assicurato dalla mobilitazione della resistenza passiva P_p nella parte infissa o dalla presenza di ancoraggi.

Opere di sostegno rigide



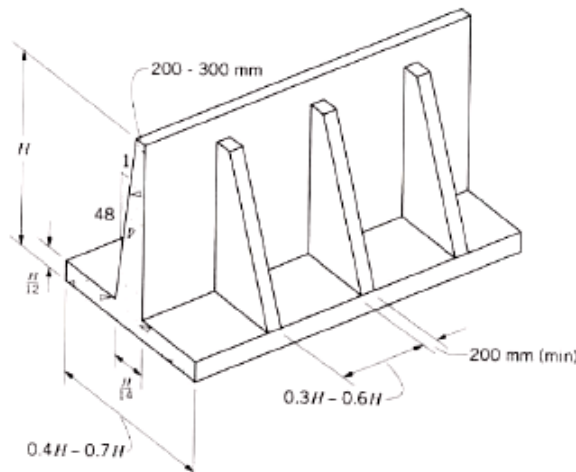
Muri a gravità

Utilizzano il loro peso proprio per contrastare la spinta del terreno ($H \leq 3\text{m}$).



Muri a mensola

Sono caratterizzati da una suola di fondazione su cui si innesta una parete verticale che permette di sfruttare il peso del rinterro, che si scarica sulla suola, per equilibrare la spinta del terreno ($H \leq 7\text{m}$).



Muri a contrafforti

Sono simili ai muri a parete verticale con mensola di fondazione, con l'aggiunta di setti triangolari o trapezi posti ortogonalmente rispetto alla struttura ed insieme alla soletta di base contrastano le spinte del terreno ($H \geq 7\text{m}$).

Opere di sostegno: verifica di stabilità

Per la progettazione di un muro di sostegno devono essere effettuate le verifiche:

- al ribaltamento;
- allo slittamento;
- di capacità portante.

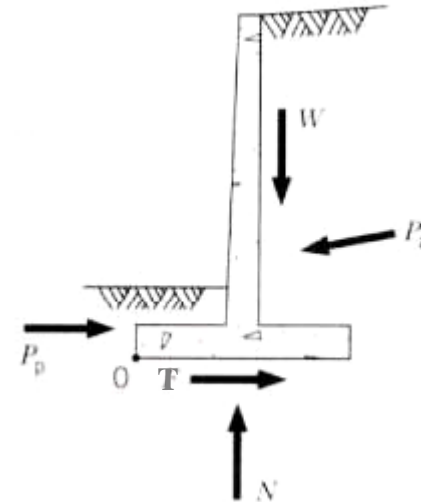
W = peso del muro e del terreno che grava sulla fondazione,

P_A = spinta esercitata dal terreno a monte o spinta attiva
(compresa l'eventuale spinta dell'acqua),

P_p = spinta esercitata dal terreno a valle o spinta passiva
(da trascurare, di norma, nelle verifiche di sicurezza),

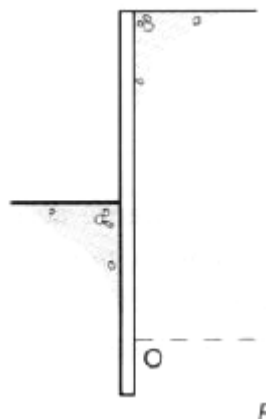
N = componente normale della reazione di appoggio,

T = componente tangenziale della reazione di appoggio.



Opere di sostegno flessibili

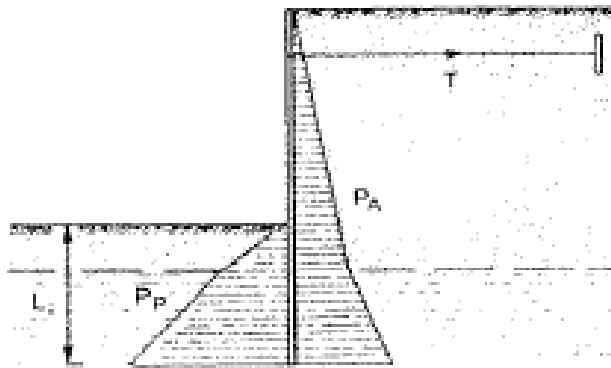
Sono pareti verticali parzialmente o interamente immerse nel terreno, che possono avere funzione idraulica, di **sostegno del terreno**, di fondazione profonda, o mista. Le paratie con funzione di sostegno del terreno sono pareti verticali ammorsate nel terreno con quota diversa ai due lati della parete.



Paratie

Il meccanismo di funzionamento delle paratie si basa sul fatto che l'intensità della pressione mutua di contatto fra la parete e il terreno dipende dal movimento della parete, e quindi dalle conseguenti deformazioni del terreno.

I movimenti e la deformazione della parete dipendono dalla rigidezza relativa della struttura, e dovrebbero essere determinati mediante un'analisi di interazione terreno-struttura.



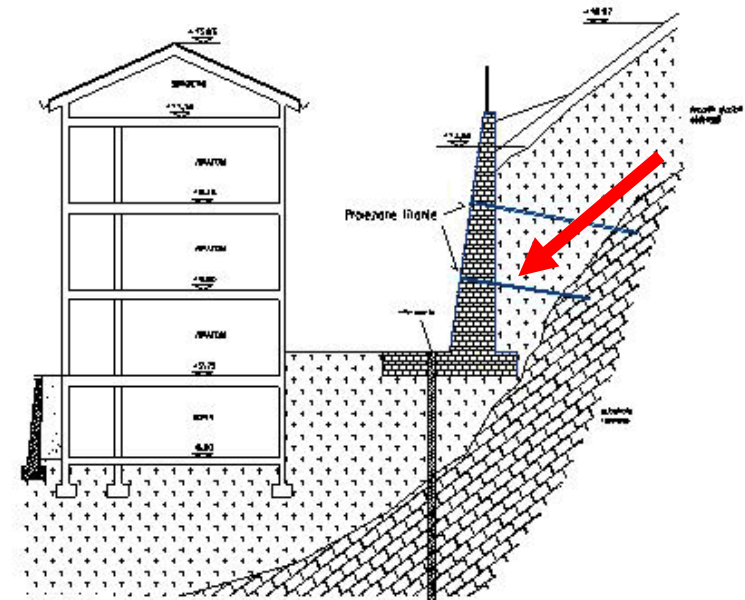
Paratie tirantate

10.B

Spinta delle Terre

Spinta delle Terre

La determinazione della spinta esercitata dal terreno su un'opera di sostegno è un problema classico di ingegneria geotecnica che viene affrontato normalmente utilizzando due teorie “storiche” opportunamente modificate e integrate alla luce del principio delle tensioni efficaci:



la teoria di Rankine (1857)



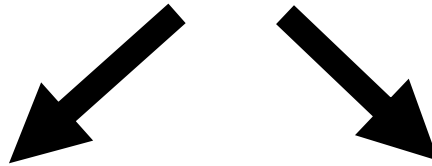
la teoria di Coulomb (1776)



Spinta delle Terre

Valutazione della spinta del terreno

SUPERFICIE DI ROTTURA PIANA



teoria di Rankine (1857) o
teoria del masso illimitato

la teoria di Coulomb (1776) o
teoria del cuneo di massima
spinta

SUPERFICIE DI ROTTURA CURVILINEA



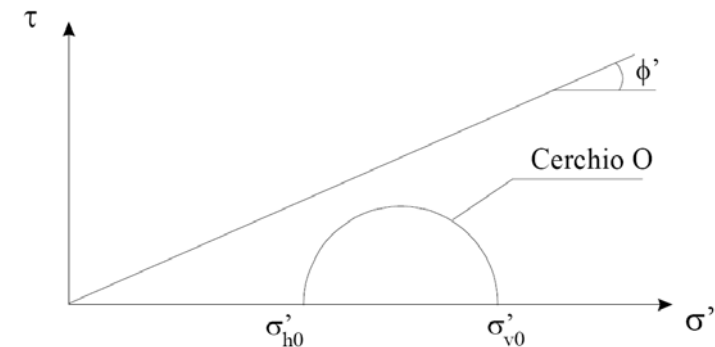
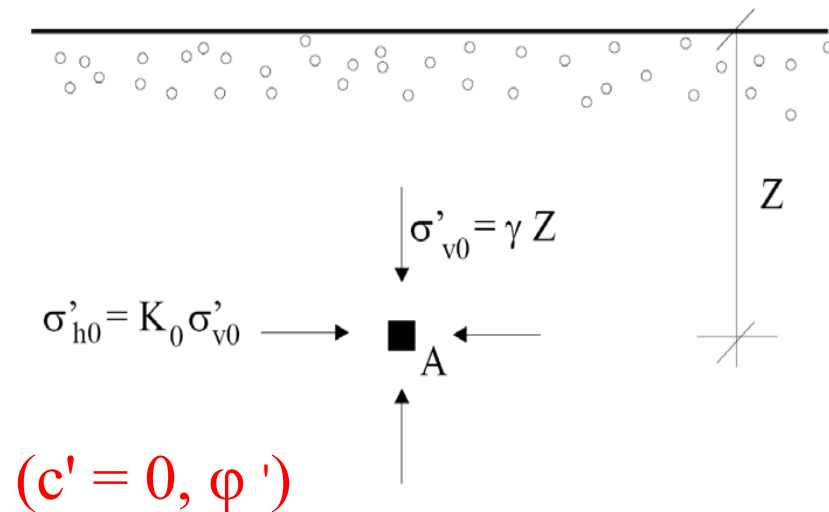
es.: la teoria di Muller- Breslau

10.C

Teoria di Rankine (1857)

Spinta delle Terre: Teoria di Rankine

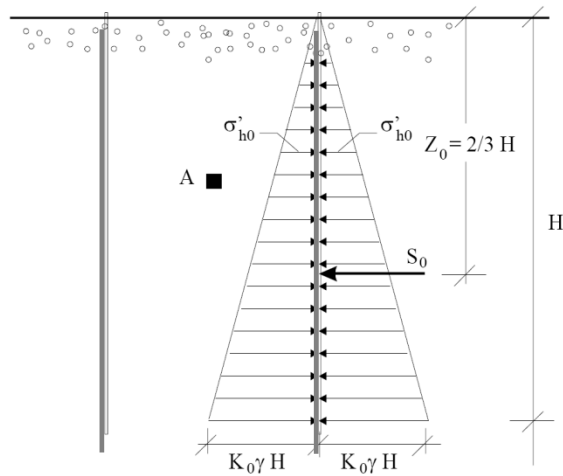
- terreno incoerente (sabbie, ghiaie)
- terreno omogeneo (γ costante con la profondità)
- terreno asciutto (o sopra falda)
- piano campagna orizzontale



Stato tensionale litostatico nel punto A

Spinta delle Terre: Teoria di Rankine (Spinta Attiva)

Si inseriscono, a sinistra e a destra del punto A, due pareti verticali ideali, cioè tali da non modificare lo stato tensionale nel terreno

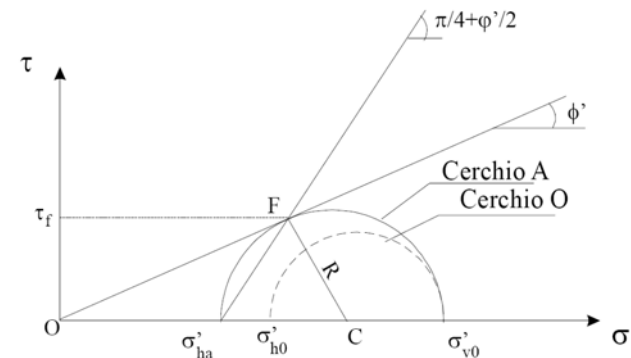
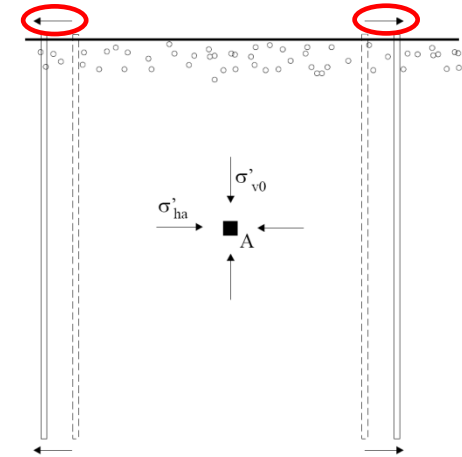


S_0 = risultante delle tensioni orizzontali efficaci
 z_0 = profondità della retta di applicazione di S_0

Si allontanano le due pareti.

Nel punto A permangono condizioni di simmetria, per cui le tensioni verticale ed orizzontali sono ancora principali.

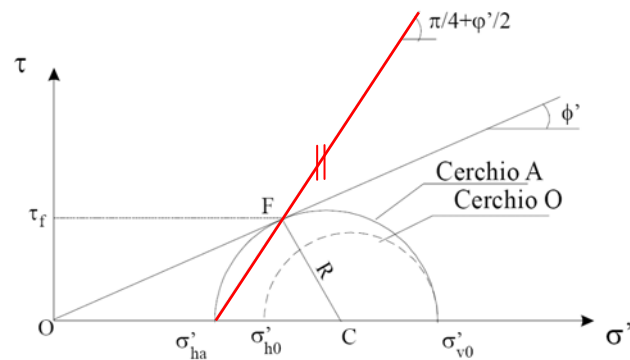
La tensione verticale $\sigma'_{v0} = \gamma z$ non varia, mentre la tensione orizzontale efficace si riduce progressivamente.



Stato tensionale attivo nel punto A

Spinta delle Terre: Teoria di Rankine (Spinta Attiva)

Stato tensionale ATTIVO

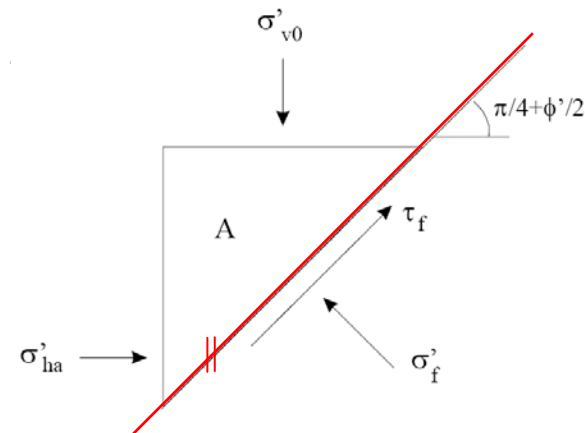
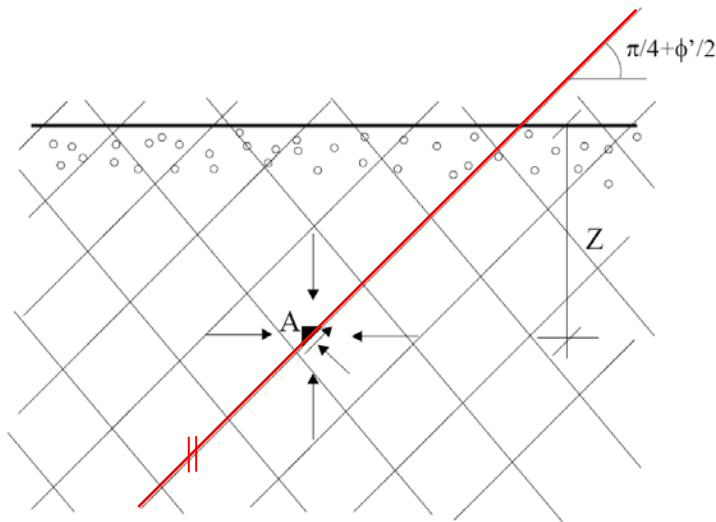


$$\sigma'_{ha} = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} \sigma'_{v0} = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi'}{2} \right) \sigma'_{v0}$$

$$K_A = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi'}{2} \right)$$

Coefficiente di spinta Attiva

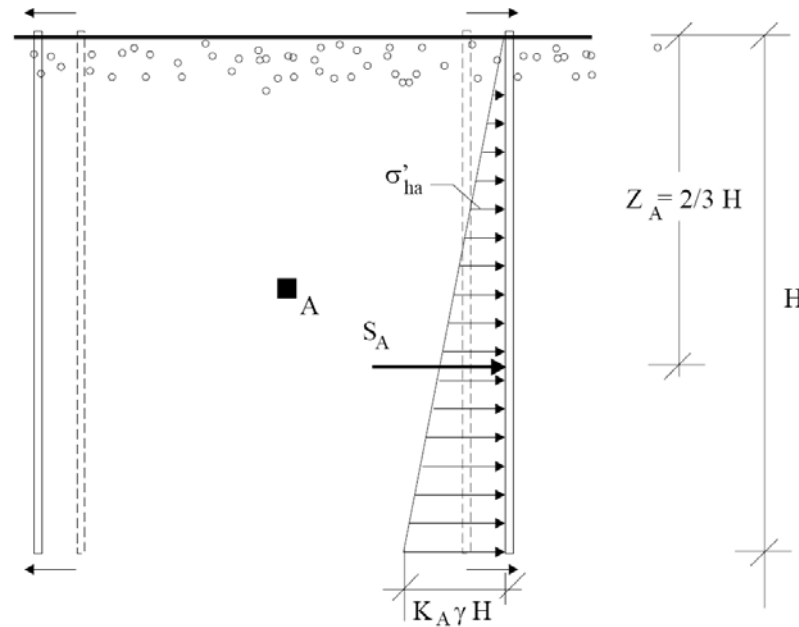
$$\sigma'_{ha} = K_A \sigma'_{v0}$$



Piani di scorrimento nella condizione di spinta attiva

Spinta delle Terre: Teoria di Rankine (Spinta Attiva)

Stato tensionale ATTIVO



$$S_A = \int_0^H \sigma'_{ha} dz = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A$$

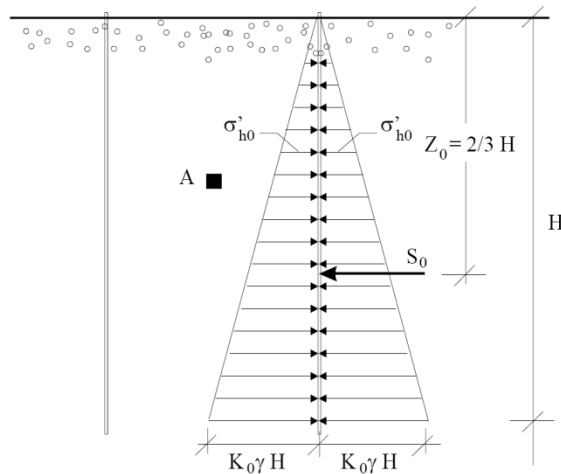
La spinta orizzontale presente sui lati interni di ciascuna parete ideale

$$z_A = \frac{2}{3} H = z_0$$

Profondità della retta di applicazione di S_A

Spinta delle Terre: Teoria di Rankine (Spinta Passiva)

Si inseriscono, a sinistra e a destra del punto A, due pareti verticali ideali, cioè tali da non modificare lo stato tensionale nel terreno



$$S_0 = \int_0^H \sigma'_{h0} dz = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_0$$

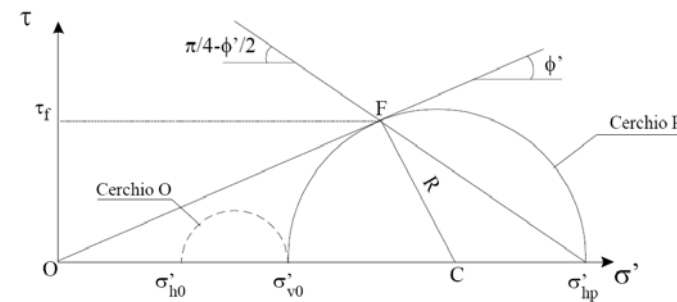
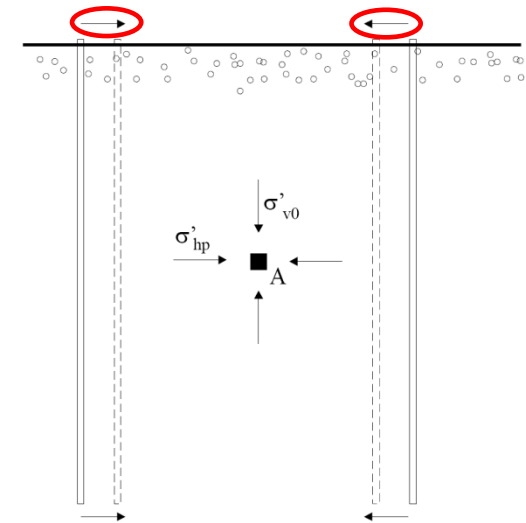
$$z_0 = \frac{2}{3} H$$

S_0 = risultante delle tensioni orizzontali efficaci
 z_0 = profondità della retta di applicazione di S_0

Si avvicinano le due pareti.

Nel punto A permangono condizioni di simmetria, per cui le tensioni verticale ed orizzontali sono ancora principali.

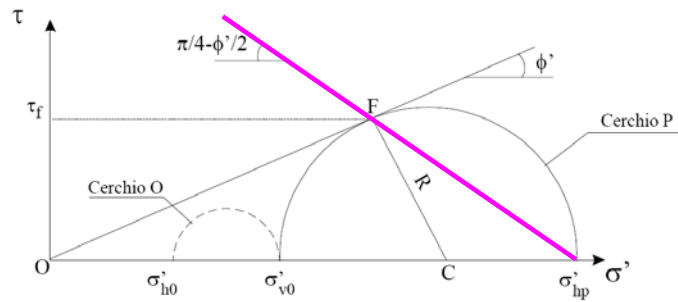
La tensione verticale $\sigma'_{v0} = \gamma z$ non varia, mentre la tensione orizzontale efficace aumenta progressivamente.



Stato tensionale passivo nel punto A

Spinta delle Terre: Teoria di Rankine (Spinta Passiva)

Stato tensionale PASSIVO

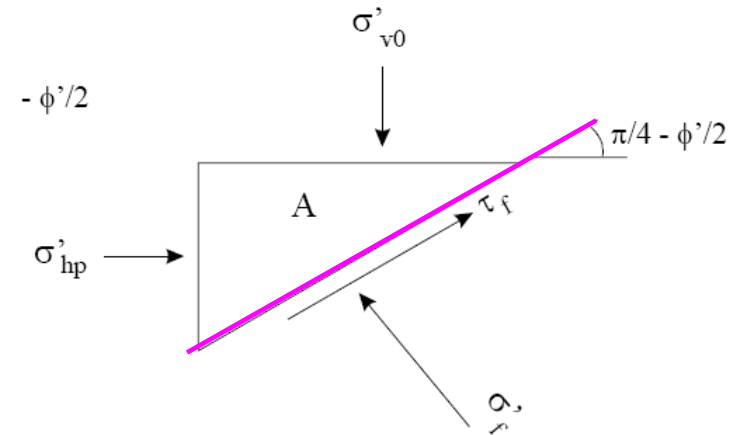
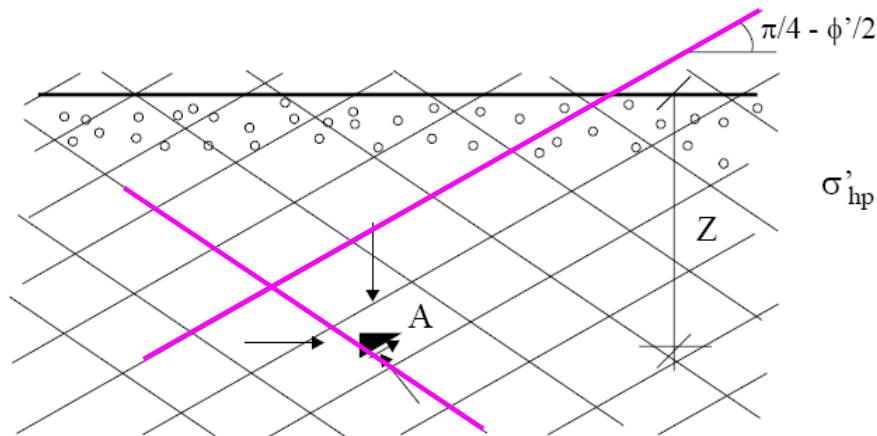


$$\sigma'_{hp} = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} \sigma'_{v0} = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right) \sigma'_{v0}$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right) = \frac{1}{K_A}$$

$$\sigma'_{hp} = K_p \sigma'_{v0}$$

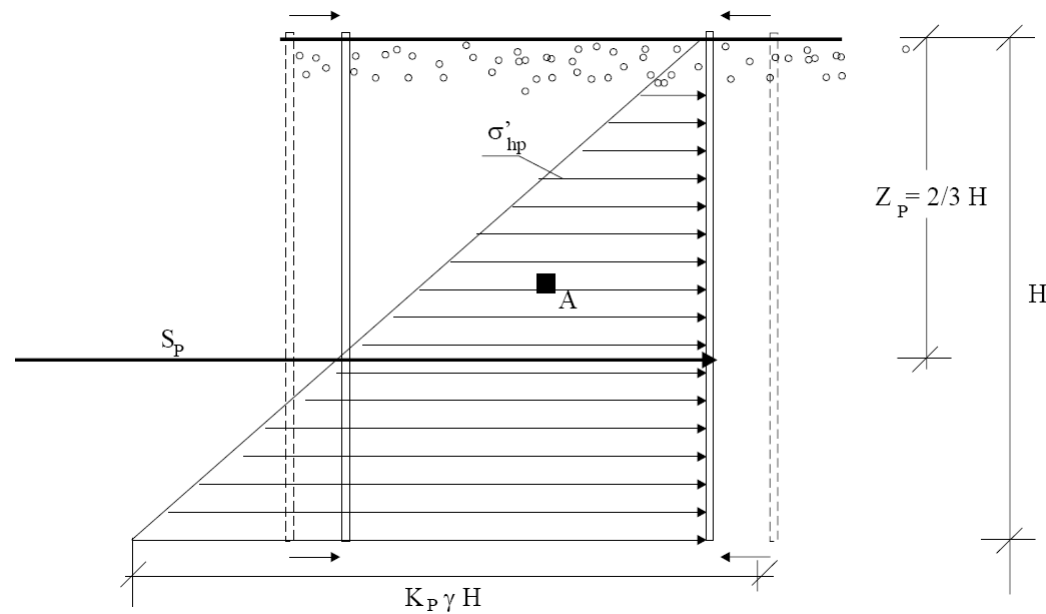
**Coefficiente di spinta
Passiva**



Piani di scorrimento nella condizione di spinta passiva

Spinta delle Terre: Teoria di Rankine (Spinta Passiva)

Stato tensionale PASSIVO



$$S_p = \int_0^H \sigma'_{hp} dz = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p$$

La spinta orizzontale presente sui lati interni di ciascuna parete ideale

$$z_p = \frac{2}{3} H = z_0$$

Profondità della retta di applicazione di S_p

Spinta delle Terre: Teoria di Rankine

I coefficienti di spinta attiva, K_A , e passiva, K_P , rappresentano i valori limite, rispettivamente inferiore e superiore, del rapporto tra le tensioni efficaci orizzontale e verticale:

$$K_A \leq \frac{\sigma'_h}{\sigma'_{v0}} \leq K_P$$

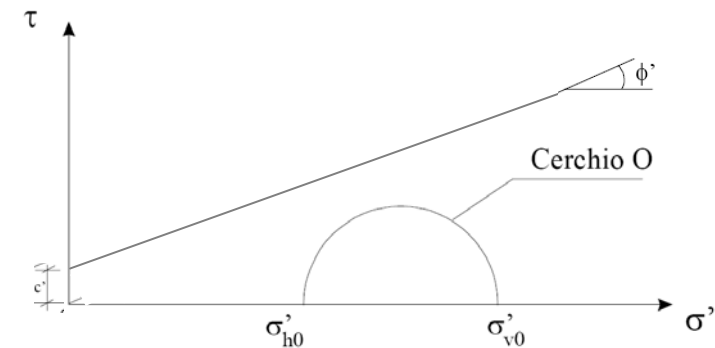
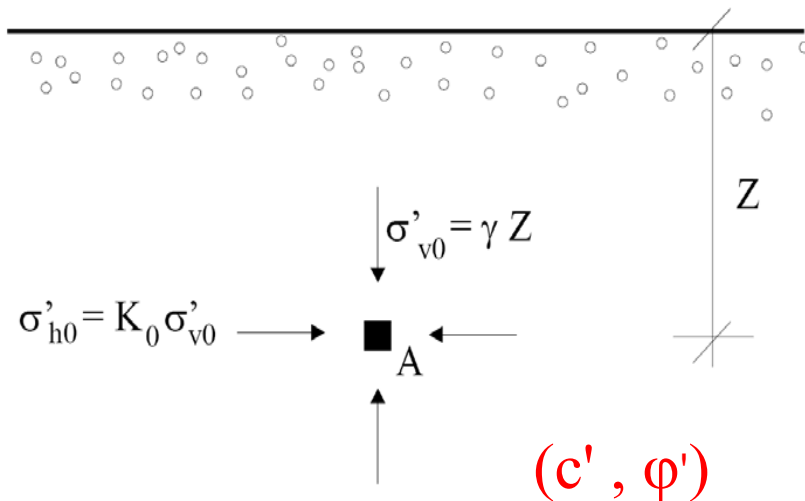
Il valore del coefficiente di spinta a riposo, K_0 , è compreso tra il valore di K_A e quello di K_P .

$$K_A < K_0 < K_P$$

Spinta delle Terre: Teoria di Rankine

Incidenza della coesione

- terreno coesivo (argille, limi)
- terreno omogeneo (γ costante con la profondità)
- terreno asciutto (o sopra falda)
- piano campagna orizzontale

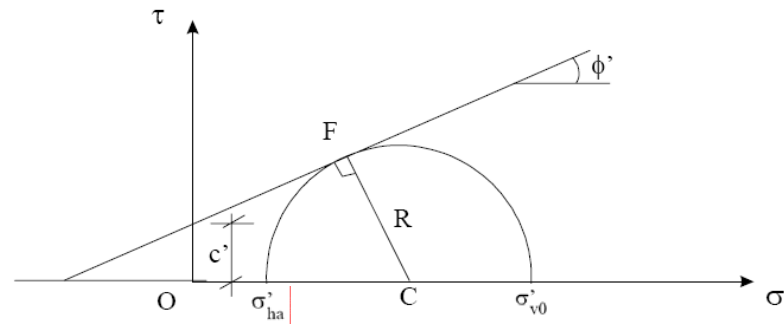


Stato tensionale litostatico nel punto A

Spinta delle Terre: Teoria di Rankine

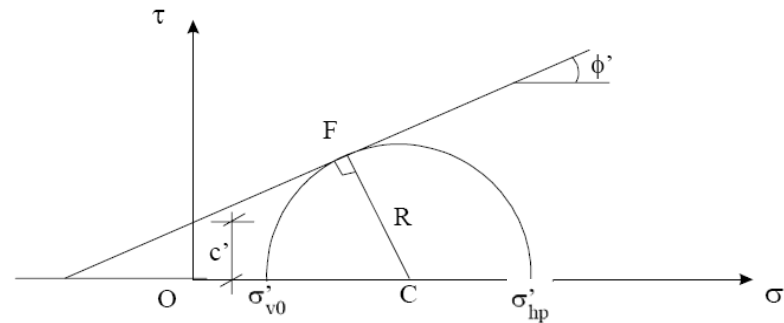
Incidenza della coesione

SPINTA ATTIVA



$$\sigma'_{ha} = \sigma'_{v0} \cdot \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi'}{2}\right) - 2 \cdot c' \cdot \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi'}{2}\right) = \sigma'_{v0} \cdot K_A - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_A}$$

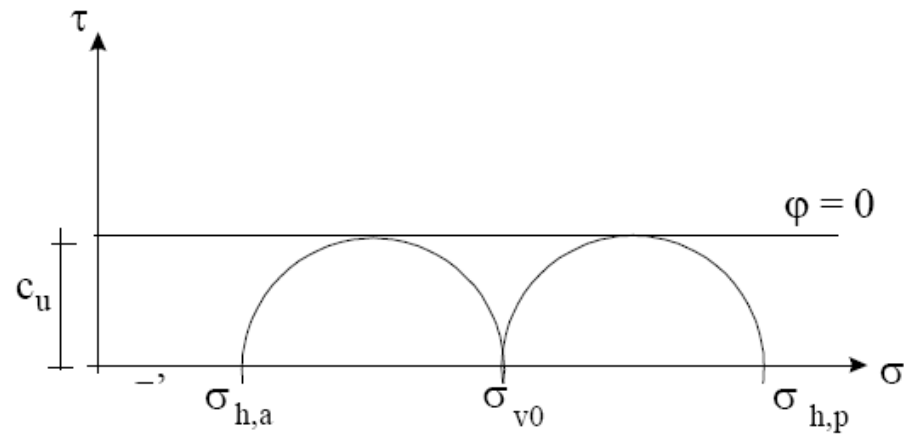
SPINTA PASSIVA



$$\sigma'_{hp} = \sigma'_{v0} \cdot \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2}\right) + 2 \cdot c' \cdot \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2}\right) = \sigma'_{v0} \cdot K_P + 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_P}$$

Spinta delle Terre: Teoria di Rankine

Condizioni non drenate



Stati tensionali limite attivo e passivo per un terreno coesivo in condizioni non drenate

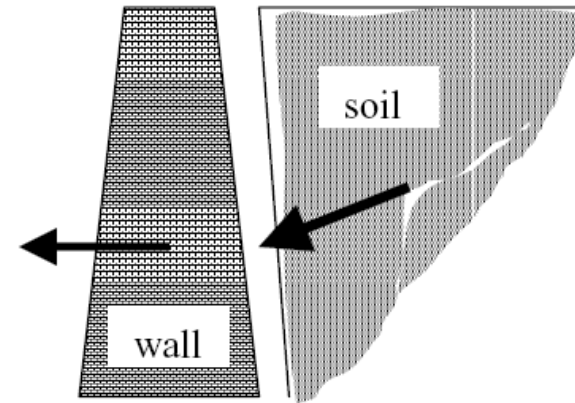
$$\sigma_{ha} = \sigma_{v0} - 2 \cdot c_u$$

$$\sigma_{hp} = \sigma_{v0} + 2 \cdot c_u$$

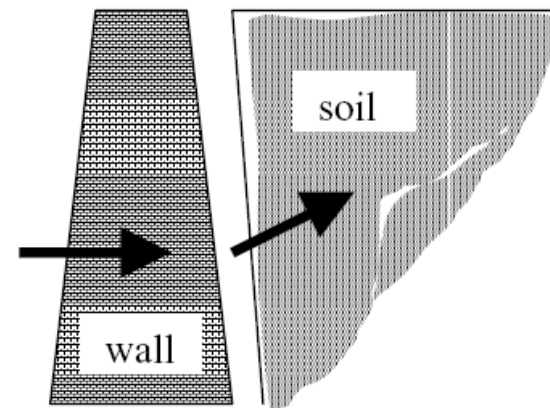
Spinta delle Terre

Stati tensionali nel terreno

SPINTA ATTIVA: Corrisponde al valore massimo dell'azione che le terre a tergo della parete esercitano sul muro. Spinta minima che bisogna applicare al muro affinché non avvenga il collasso.



SPINTA PASSIVA: spinta massima che il terreno è in grado di sopportare. È la reazione massima che il terreno esercita su una parete che tende a spingere l'ammasso

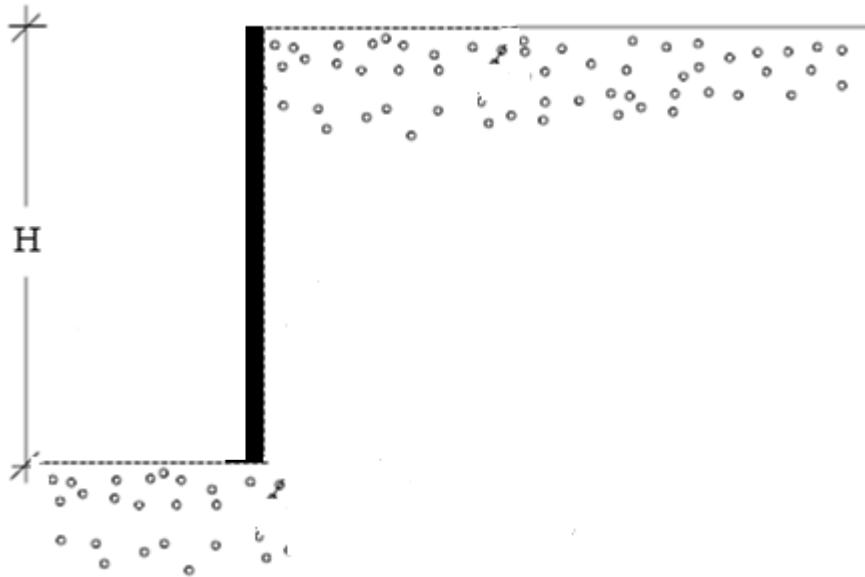


10.D

Teoria di Coulomb (1776)

Spinta delle Terre: Teoria di Coulomb

Il problema della determinazione della spinta esercitata dal terreno su un'opera di sostegno era stato affrontato dall'ingegnere militare francese Coulomb con un metodo basato sull'equilibrio delle forze in gioco.

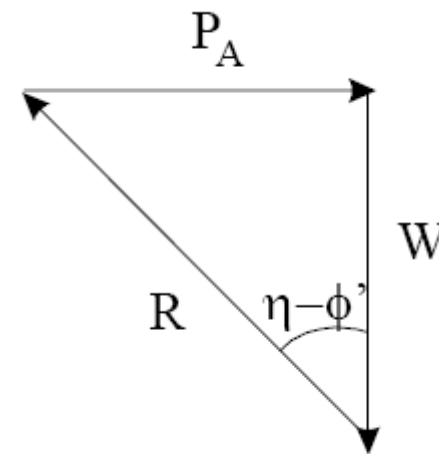
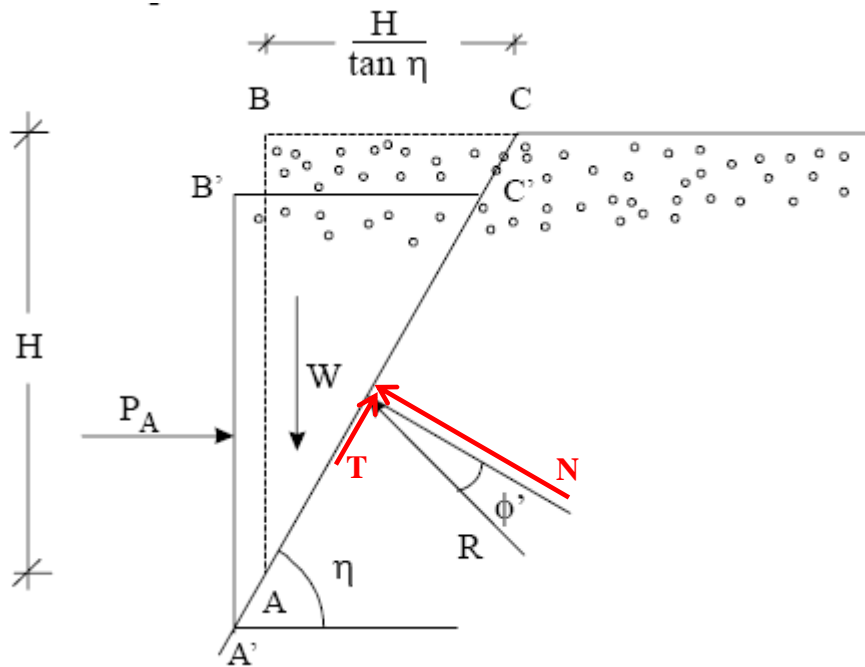


1. Assenza di attrito tra parete e terreno;
2. Parete del muro verticale ;
3. Superficie del terrapieno orizzontale ;
4. Terreno omogeneo, incoerente e asciutto, con peso di volume γ e resistenza al taglio: $\tau = \sigma_n' \tan \varphi'$;
5. Superficie di scorrimento piana.

Condizioni di deformazione piana

Spinta delle Terre: Teoria di Coulomb (Spinta Attiva)

Per determinare il valore della spinta attiva, P_A , si immagini di traslare gradualmente la parete verso l'esterno fino a produrre la rottura del terreno. La rottura si manifesta, nell'ipotesi di Coulomb, con il distacco di un cuneo di terreno ABC che scorre verso l'esterno e verso il basso su una superficie di rottura piana e inclinata di un angolo η sull'orizzontale, incognito. Il cuneo ABC trasla nella posizione A'B'C'.



$$P_A = W \tan(\eta - \phi) = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \cot \eta \cdot \tan(\eta - \phi)$$

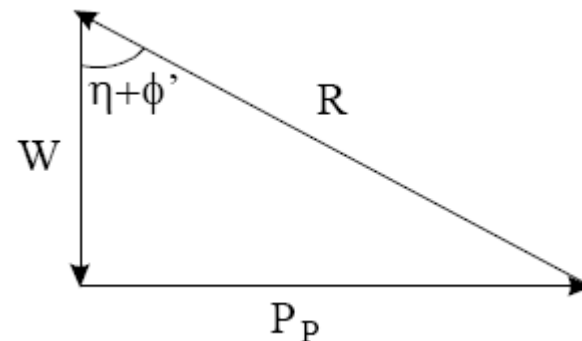
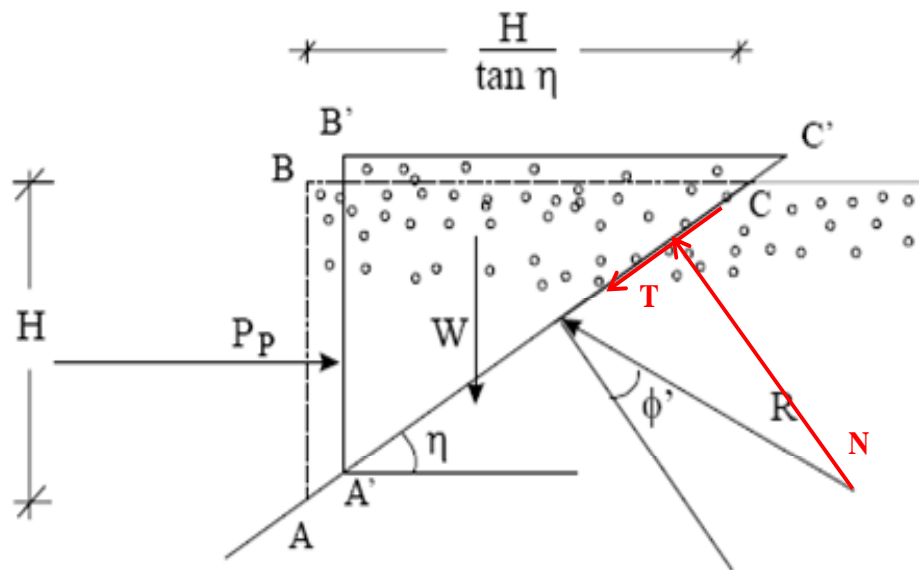
$$\eta_{\text{crit}} \Rightarrow \frac{\partial P_A}{\partial \eta} = 0 \Rightarrow \eta_{\text{crit}} = \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$P_A = W \tan(\eta - \phi) = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_A$$

$$K_A = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$$

Spinta delle Terre: Teoria di Coulomb (Spinta Passiva)

Per determinare il valore della spinta passiva, P_p , si immagini di traslare la parete verso l'interno fino a produrre la rottura del terreno. La rottura si manifesta, nell'ipotesi di Coulomb, con il distacco di un cuneo di terreno ABC che scorre verso l'interno e verso l'alto su una superficie di rottura piana e inclinata di un angolo η sull'orizzontale, incognito. Il cuneo ABC trasla nella posizione A'B'C'.



$$P_p = W \tan(\eta + \phi) = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \cot \eta \cdot \tan(\eta + \phi)$$

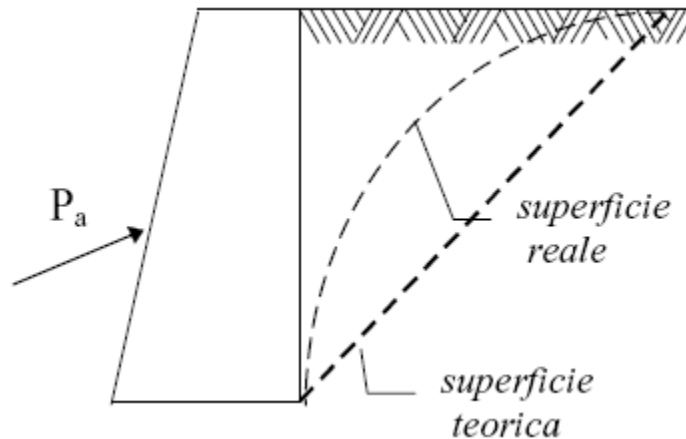
$$\eta_{\text{crit}} \Rightarrow \frac{\partial P_p}{\partial \eta} = 0 \Rightarrow \eta_{\text{crit}} = \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$P_p = W \tan(\eta - \phi) = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p$$

$$K_p = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$$

Spinta delle Terre

Andamento della superficie di rottura



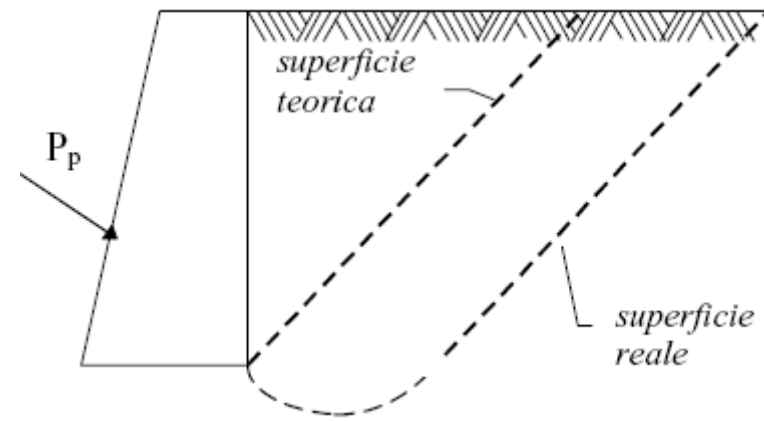
CASO ATTIVO



L'ammasso di terreno di cui si deve tener conto è minore di quello ottenuto con superficie di rottura piana.



SICUREZZA



CASO PASSIVO



L'ammasso di terreno di cui si deve tener conto è maggiore di quello ottenuto con superficie di rottura piana.

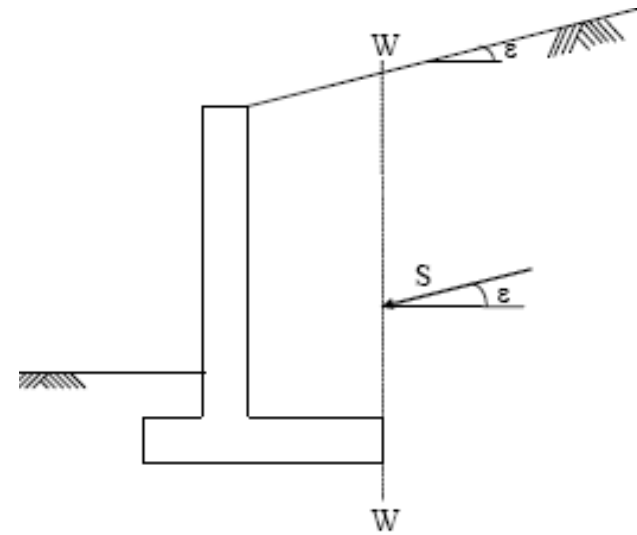


MASSIMA CAUTELA

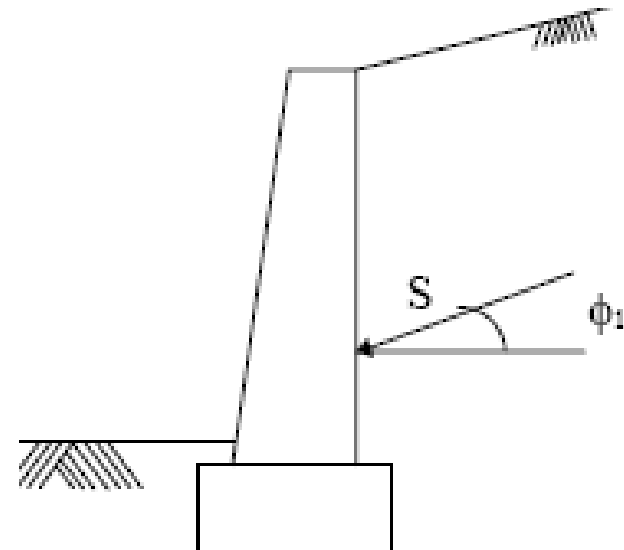
Spinta delle Terre

APPLICAZIONI

TEORIA DI RANKIN: Muri snelli in c.a. Resistono in funzione del peso proprio e del terreno a tergo del muro.



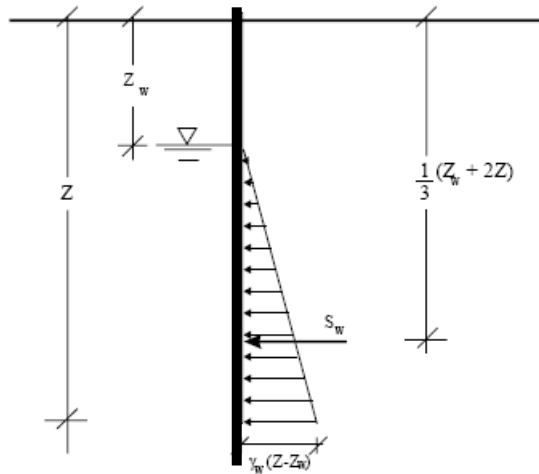
TEORIA DI COULOMB: Muri a gravità. Resistono in funzione del solo peso proprio.



Spinta delle Terre in presenza d'acqua in quiete

Se un terreno è anche solo parzialmente sotto falda, la spinta totale esercitata contro una parete sarà somma di due forze:

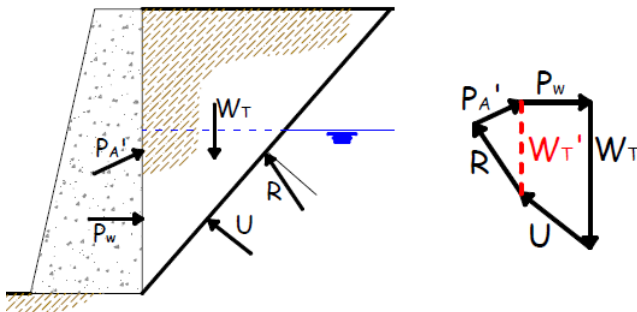
- 1) la spinta esercitata dal terreno, valutata con le formule precedentemente citate, utilizzando le tensioni verticali efficaci;
- 2) la spinta (S_w) esercitata dall'acqua interstiziale. Quest'ultima si calcola integrando il diagramma delle pressioni interstiziali.



$$S_w = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot (Z - Z_w)^2 \quad \text{Spinta dell'acqua}$$

$$Z(S_w) = Z - \frac{1}{3}(Z - Z_w) = \frac{1}{3}(2Z - Z_w)$$

Punto di applicazione della spinta dell'acqua



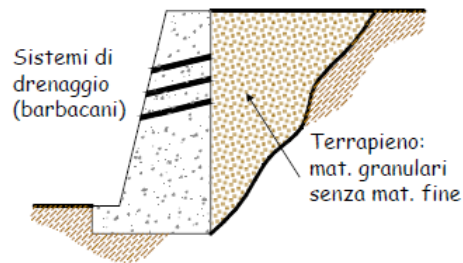
Spinta delle Terre in presenza d'acqua in quiete

Per ridurre la spinta dell'acqua \longrightarrow Sistemi di drenaggio

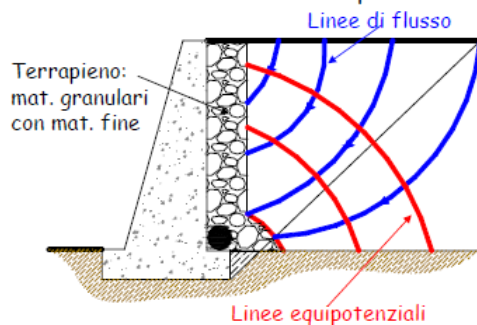


Abbattimento della falda a tergo del muro

Materiali granulari in assenza di fine



Drenaggio Verticale



Drenaggio sub-orizzontale

