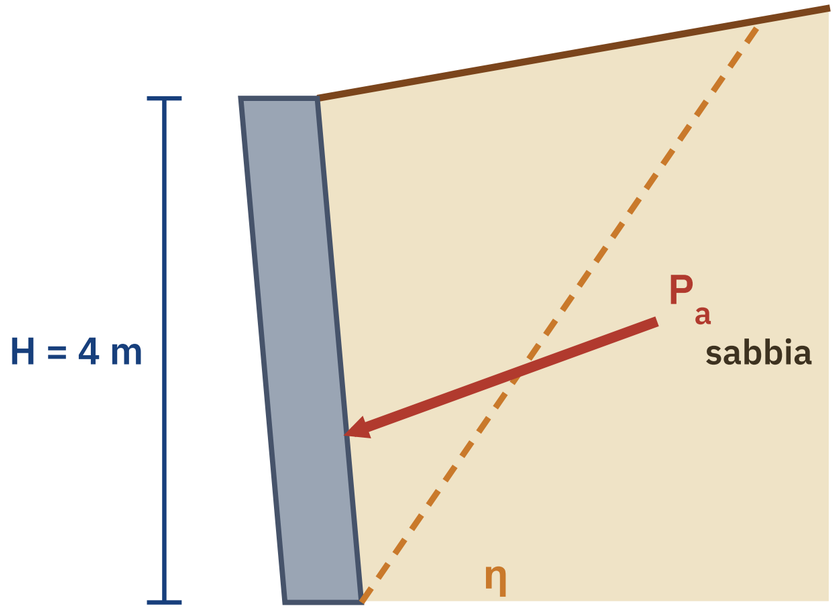
Lezione di geotecnica · Spinta delle terre

Spinta delle terre secondo Coulomb

Lezione: spinta attiva e passiva delle terre secondo Coulomb per un cuneo di rottura piano dietro il muro, attrito terra-muro, paramento inclinato e terrapieno in pendenza; sovraccarico, falda freatica e terrapieno stratificato; un esempio di calcolo per ogni argomento.

Cuneo di tentativo · Attrito terra-muro δ′ · Attiva e passiva · Sovraccarico · acqua · strato · Strato coesivo



Introduzione

Che cosa si impara in questa lezione?

- L'idea del **cuneo di tentativo** di Coulomb: l'equilibrio delle tre forze (W, F, P_a) e il cuneo più critico
- In che modo l'attrito terra-muro (δ′), l'inclinazione del paramento (θ) e l'inclinazione del terrapieno (α) modificano i coefficienti **K_a e K_p**
- Che la forza **attiva** è la **maggiore** tra i cunei e la forza **passiva** è la **minore** tra i cunei
- Determinare la posizione della forza (H/3), la sua direzione (δ′ rispetto alla normale al paramento) e le sue componenti orizzontale – verticale
- **Sovraccarico** ($q_e = q \cos\theta / \cos(\theta - \alpha)$), **falda freatica** e terrapieno stratificato
- Quando la soluzione di Coulomb risulta **non a vantaggio di sicurezza** nel caso passivo

SVOLGIMENTO DELLA LEZIONE

Ogni argomento è trattato in **tre passaggi**:

1 · **Teoria**: qual è la regola e perché è così?

2 · **Traccia**: dati e richiesto

3 · **Soluzione**: passo per passo, con i numeri

Le forze sono per unità di lunghezza del muro (kN/m); gli angoli in gradi; θ è l'angolo del paramento del muro con la verticale, α è l'angolo del terrapieno con l'orizzontale.

Cuneo piano di Coulomb

TEORIA

Coulomb (1776) considera il terreno dietro il muro come un **cuneo rigido** che scivola su un piano passante per il tallone e, a differenza di Rankine, tiene conto dell'**attrito** tra muro e terreno. Nel terrapieno incoerente sul cuneo di tentativo agiscono tre forze:

W: peso del cuneo

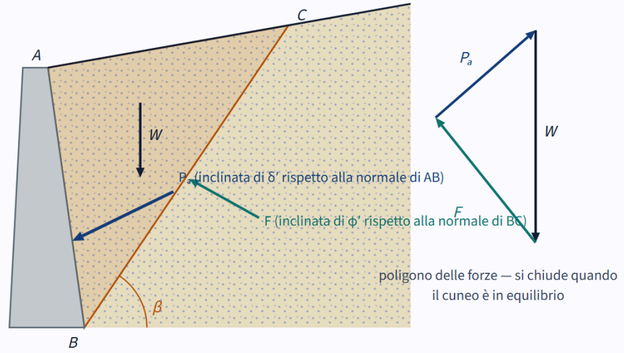
F: la risultante sul piano di scorrimento BC, inclinata di φ′ rispetto alla normale al piano

P_a: forza del muro, inclinata di δ′ rispetto alla normale al paramento

Se il piano forma un angolo β con l'orizzontale, nel poligono delle forze si applica il teorema dei seni:

$$\frac{W}{\sin(90^\circ + \theta + \delta' - \beta + \varphi')} = \frac{P_a}{\sin(\beta - \varphi')}$$

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 \, \frac{\cos(\theta-\beta)\cos(\theta-\alpha)\sin(\beta-\varphi')}{\cos^2\theta \, \sin(\beta-\alpha) \, \sin(90^\circ+\theta+\delta'-\beta+\varphi')}$$



Traccia

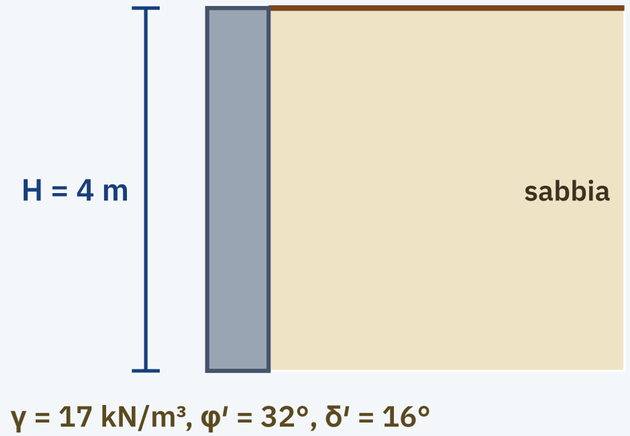
ESEMPIO

RICHIESTO

Per i piani di tentativo β = 45°, 60° e 75°, **$P_a(\beta)$**; la forza **massima** e il suo angolo β.

Dati

Muro	$H = 4$ **m, verticale ($\theta = 0$); superficie del terrapieno orizzontale ($\alpha = 0$)**
Terreno	**sabbia asciutta: $\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 32°$; attrito terra-muro $\delta' = 16° = \varphi'/2$**



Soluzione

SOLUZIONE

1 Muro verticale, terrapieno orizzontale: θ = α = 0 ⇒ $P_a(\beta) = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 \cdot \cos\beta \sin(\beta - \varphi') / [\sin\beta \cos(\beta - \varphi' - \delta')]$

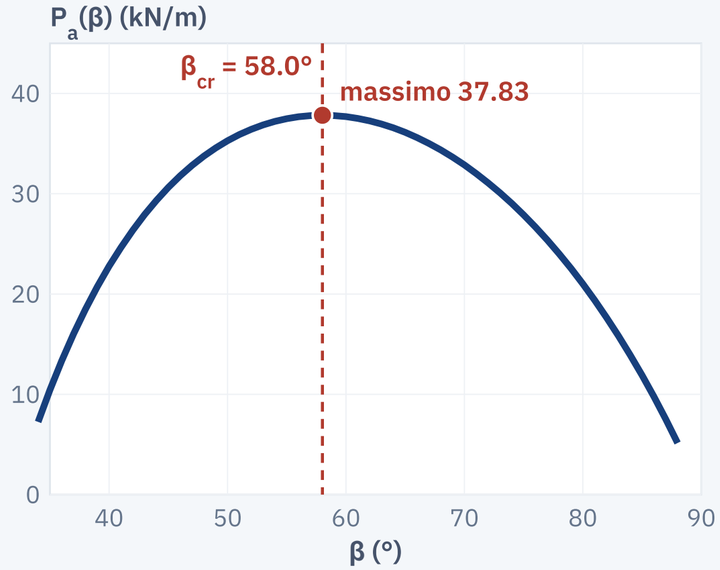
$$\beta = 45^\circ: \; P_a = \mathbf{30.64}\ \mathrm{kN/m} \qquad \beta = 60^\circ: \; P_a = \mathbf{37.69}\ \mathrm{kN/m}$$

$$\beta = 75^\circ: \; P_a = \mathbf{27.89}\ \mathrm{kN/m}$$

2 Cuneo di tentativo massimo ($dP_a/d\beta = 0$)

$$\beta_{cr} = \mathbf{58.0^\circ} \qquad P_{a,max} = \mathbf{37.83}\ \mathrm{kN/m}$$

Il più grande dei cunei di tentativo, 37.83 kN/m (β = 58.0°), è la forza attiva di Coulomb; cunei più ripidi o più inclinati richiedono una forza minore. Il muro deve poter sostenere soltanto il cuneo più critico.



Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

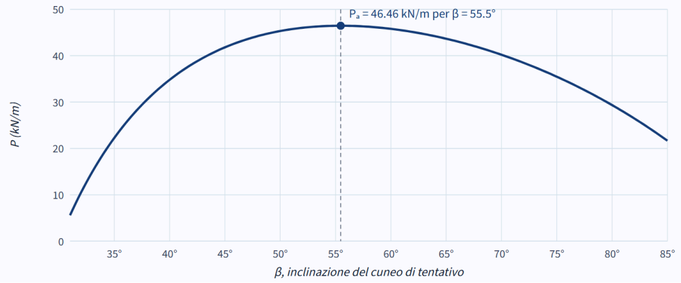
coefficiente di spinta attiva di Coulomb K_a

TEORIA

Era incognito solo β. Il cuneo più critico che il muro deve contenere è il massimo di $P_a(\beta)$ ($dP_a/d\beta = 0$); la soluzione:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta' + \theta)\left[1 + \sqrt{\dfrac{\sin(\delta' + \varphi')\sin(\varphi' - \alpha)}{\cos(\delta' + \theta)\cos(\theta - \alpha)}}\right]^2} \qquad P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2$$

φ′	δ′ = 0°	δ′ = 5°	δ′ = 10°	δ′ = 15°	δ′ = 20°	δ′ = 25°
28°	0.3610	0.3448	0.3330	0.3251	0.3203	0.3186
32°	0.3073	0.2945	0.2852	0.2791	0.2755	0.2745
36°	0.2596	0.2497	0.2426	0.2379	0.2354	0.2350
40°	0.2174	0.2098	0.2045	0.2011	0.1994	0.1995



La forza agisce a **H/3** sopra la base, inclinata di **δ′** rispetto alla normale al paramento; forma un angolo θ + δ′ con l'orizzontale.

Rankine per α = θ = δ′ = 0. L'attrito terra-muro **riduce** la forza attiva.

Traccia

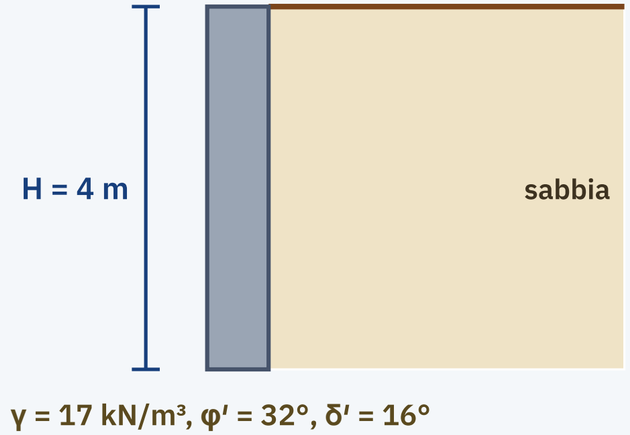
ESEMPIO

RICHIESTO

K_a, **P_a**, altezza di applicazione, componenti orizzontale e verticale; confronto con Rankine.

Dati

Muro e terreno	**Il muro dell'Esempio 1:** $H = 4$ **m,** $\theta = \alpha = 0$**;** $\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 32°$, $\delta' = 16°$



Soluzione

SOLUZIONE

1 Coefficiente (θ = α = 0)

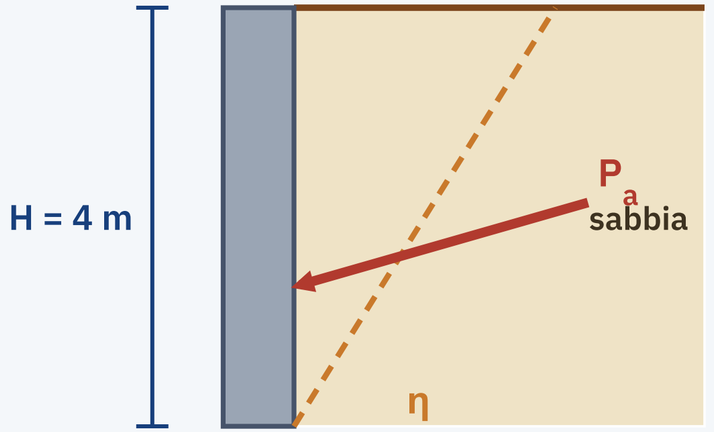
$$\sqrt{\frac{\sin 48^\circ \sin 32^\circ}{\cos 16^\circ}} = 0.6401$$

$$K_a = \frac{\cos^2 32^\circ}{\cos 16^\circ \,(1 + 0.6401)^2} = \frac{0.7192}{2.5856} = \mathbf{0.2782}$$

2 Forza, posizione e componenti (δ′ = 16° rispetto all'orizzontale)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(0.2782)(17)(4)^2 = \mathbf{37.83}\ \text{kN/m} \qquad \bar{z} = \tfrac{4}{3} = 1.33\ \text{m}$$

$$P_h = P_a \cos 16^\circ = 36.36 \qquad P_v = P_a \sin 16^\circ = 10.43\ \text{kN/m}$$



P_a = **37.83 kN/m**; uguale a quello del più grande dei cunei di tentativo (Esempio 1). Rankine (δ′ = 0, K_a = 0.3073) darebbe 41.79 kN/m: l'attrito terra-muro ha ridotto la forza del 9%.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

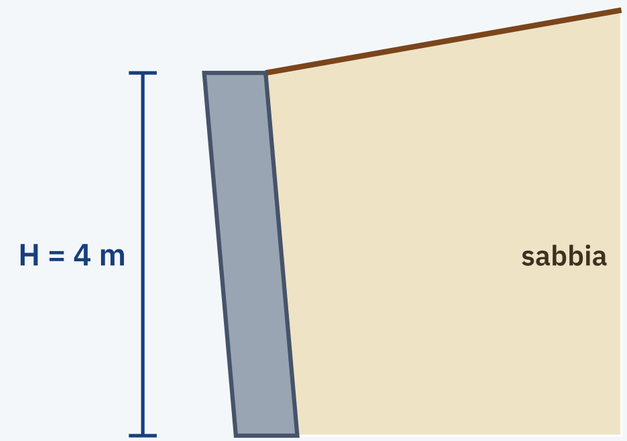
ESEMPIO

Dati

Muro	$H = 4$ **m; paramento inclinato di** $\theta = 5^\circ$ **rispetto alla verticale**
Terreno di riporto	**inclinazione del piano di campagna** $\alpha = 10^\circ$ **;** $\gamma = 15\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30^\circ$
Attrito terra-muro	$\delta' = 15^\circ$ **(**$\delta'/\varphi' = \frac{1}{2}$**)**

RICHIESTO

K_a, **P_a**, la loro direzione e posizione; cuneo critico β. Il modulo si apre con questo muro.



Soluzione (1/2)

SOLUZIONE

1 Termine al numeratore e termine di radice

$$\cos^2(30^\circ - 5^\circ) = 0.8214 \qquad \cos^2 5^\circ \cos(15^\circ + 5^\circ) = 0.9326$$

$$\sqrt{\frac{\sin 45^\circ \sin 20^\circ}{\cos 20^\circ \cos(-5^\circ)}} = \sqrt{0.2583} = 0.5083$$

2 Coefficiente

$$K_a = \frac{0.8214}{0.9326\,(1 + 0.5083)^2} = \mathbf{0.3872}$$

Soluzione (2/2)

SOLUZIONE

3 Forza e posizione

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_a = \tfrac{1}{2}(15)(4)^2(0.3872) = \mathbf{46.46}\ \mathrm{kN/m}$$

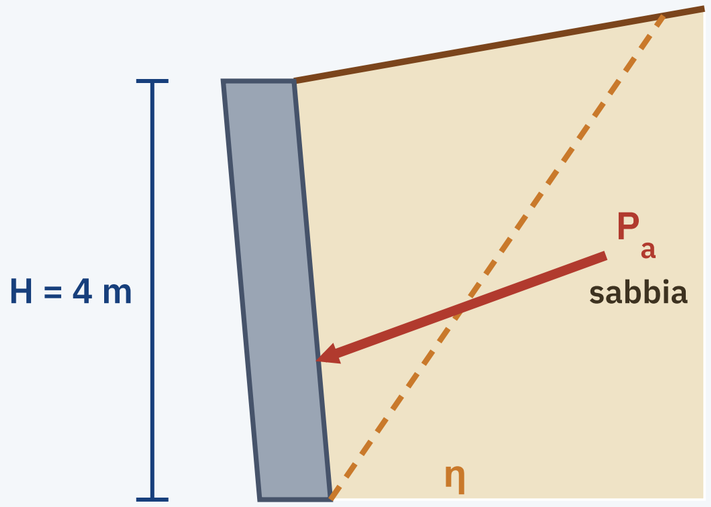
$$\bar{z} = \tfrac{H}{3} = \mathbf{1.33}\ \mathrm{m}$$

4 Direzione: δ′ = 15° rispetto alla normale, θ + δ′ = 20° rispetto all'orizzontale

$$P_h = P_a \cos 20^\circ = 43.66\ \mathrm{kN/m}$$

$$P_v = P_a \sin 20^\circ = 15.89\ \mathrm{kN/m}$$

P_a = **46.46 kN/m**, a 1.33 m sopra la base. Il cuneo critico forma con l'orizzontale **β ≈ 55.5°** (vertice dei cunei di tentativo).



Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

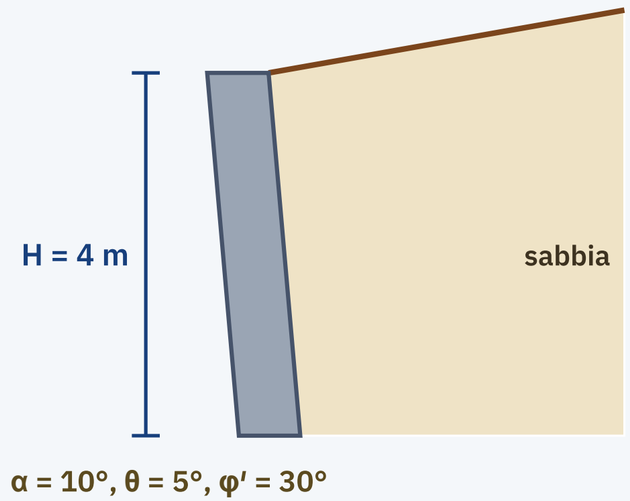
ESEMPIO

Dati

Muro e terrapieno	**Il muro dell'Esempio 3: $\theta = 5^\circ,\ \alpha = 10^\circ,\ \varphi' = 30^\circ$; per confronto, muro verticale, terrapieno orizzontale ($\theta = \alpha = 0$)**
Variabile	$\delta' = 0^\circ,\ 5^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ,\ 25^\circ,\ 30^\circ$

RICHIESTO

Per ciascun δ′, **K_a**; per quale δ′ K_a è **minimo**? L'intervallo raccomandato di δ′/φ′.



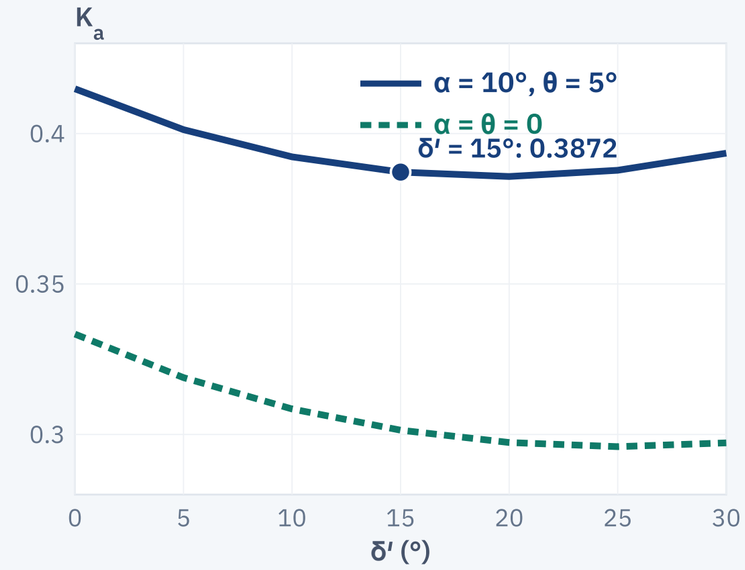
Soluzione

SOLUZIONE

1 Sette valori di δ′ con la stessa formula

δ′	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
K_a (θ = 5°, α = 10°)	0.4149	0.4013	0.3923	0.3872	0.3857	0.3878	0.3935
K_a (θ = α = 0)	0.3333	0.3189	0.3085	0.3014	0.2973	0.2959	0.2972

Al crescere di δ′, K_a dapprima **diminuisce** (da 0.415 per δ′ = 0 a 0.387 per 15°), raggiunge il minimo per δ′ ≈ 20–25° e poi **aumenta** di nuovo. In pratica si assume δ′ = (1/2 – 2/3)φ′; assumere δ′ = φ′ non è a favore di sicurezza, poiché dipende dallo scorrimento verso il basso del muro rispetto al terreno.



Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

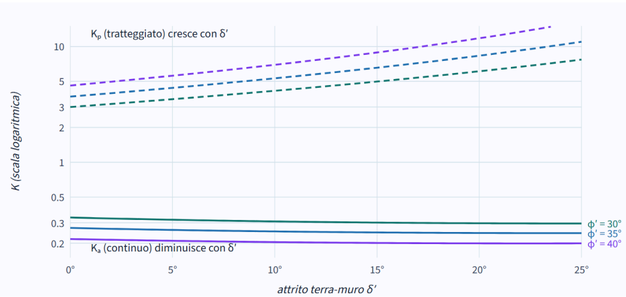
coefficiente di spinta passiva di Coulomb K_p

TEORIA

Quando il muro è spinto contro il terreno, la risultante e la forza normale al muro si portano **dal lato opposto**; la forza passiva è la **minima** tra quelle dei cunei di tentativo:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi' + \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta' - \theta)\left[1 - \sqrt{\dfrac{\sin(\varphi' + \delta')\sin(\varphi' + \alpha)}{\cos(\delta' - \theta)\cos(\alpha - \theta)}}\right]^2} \qquad P_p = \tfrac{1}{2}K_p\gamma H^2$$

φ′	δ′ = 0°	δ′ = 5°	δ′ = 10°	δ′ = 15°	δ′ = 20°
15°	1.698	1.901	2.131	2.403	2.735
20°	2.040	2.313	2.635	3.029	3.525
25°	2.464	2.833	3.285	3.855	4.597
30°	3.000	3.505	4.143	4.977	6.105
35°	3.690	4.391	5.309	6.555	8.324
40°	4.599	5.593	6.946	8.872	11.771



L'attrito tra terra e muro **incrementa rapidamente** la forza passiva (φ′ = 30°: per δ′ = 0 → 20° K_p passa da 3.00 a 6.11).

Per valori elevati di δ′, il cuneo piano fornisce una resistenza passiva **maggiore** di quella reale (a favore di sicurezza): modulo a spirale logaritmica.

Traccia

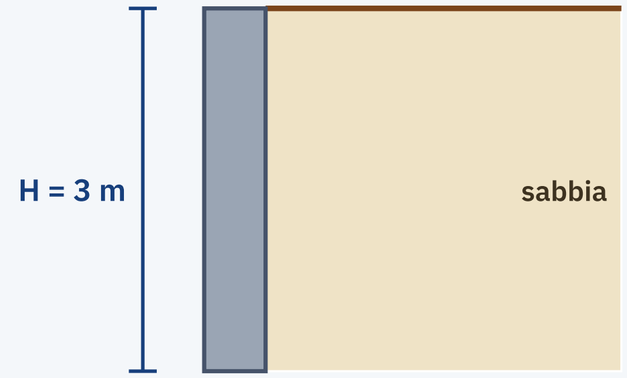
ESEMPIO

Dati

Muro	$H = 3$ **m, verticale; terrapieno orizzontale**
Terreno	**sabbia asciutta:** $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ$
Attrito terra-muro	$\delta' = 0^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ$

RICHIESTO

Per ciascun δ′: **K_p**, **P_p** e le relative componenti; per δ′ = 15°, confronto con le soluzioni a superficie curva (302–326 kN/m).



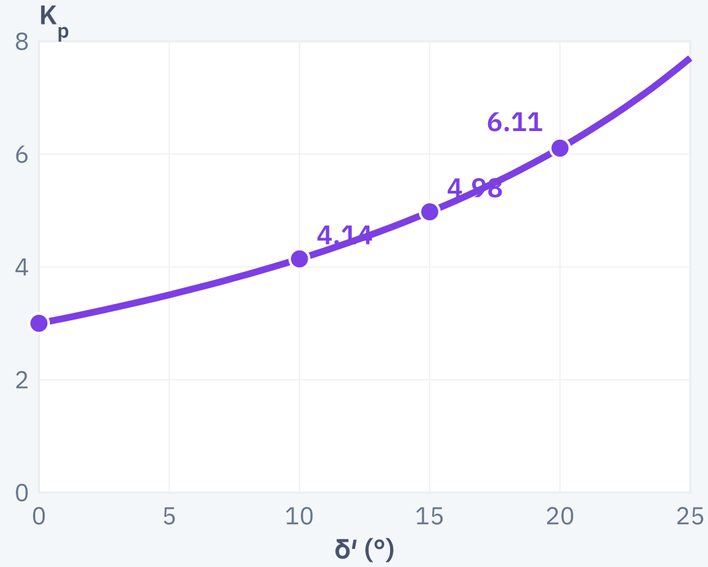
Soluzione

SOLUZIONE

1 Formula di K_p, $P_p = \frac{1}{2}K_p\gamma H^2 = \frac{1}{2}K_p(15.7)(9) = 70.65\ K_p$

δ′	K_p	P_p (kN/m)	P_h	P_v	β (cuneo critico)
0°	3.000	212.0	212.0	0.0	30.0°
10°	4.143	292.7	288.3	50.8	23.4°
15°	4.977	351.6	339.6	91.0	20.7°
20°	6.105	431.3	405.3	147.5	18.1°

da δ′ = 0 a 20°, P_p passa da 212.0 a 431.3 kN/m: cresce fino a **2.0 volte**. Per δ′ = 15° Coulomb fornisce 351.6 kN/m; le soluzioni a superficie curva sono nell'intervallo 302–326 kN/m, cioè la spinta passiva del cuneo piano sovrastima di circa l'**8 %** (a sfavore della sicurezza).



Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Estensione del modulo della soluzione di Coulomb

TEORIA

Il **sovraccarico q** (verticale, per unità di area della superficie inclinata) viene aggiunto al peso di ogni cuneo di tentativo nella stessa proporzione del terreno; il cuneo critico e K_a non cambiano. La tensione equivalente per unità di profondità verticale:

$$q_e = q\,\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} \qquad P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 + K_a q_e H$$

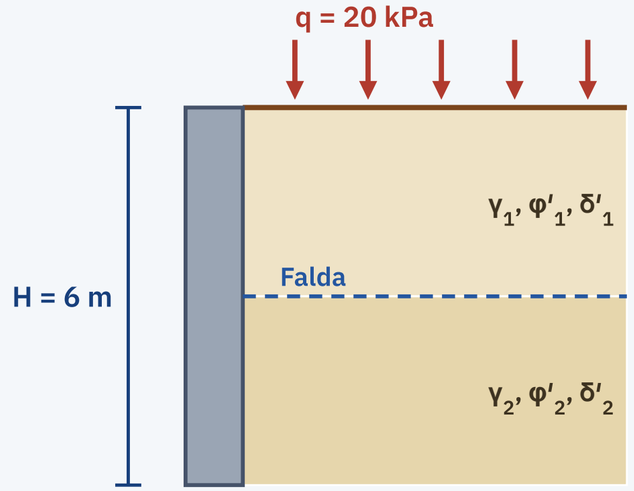
La prima parte si trova a H/3 sopra la base, la seconda a H/2. **Nel terrapieno stratificato** (confini orizzontali, spessori misurati verticalmente dalla sommità A del paramento) ogni strato assume il proprio coefficiente K_i con i propri γ, φ′ e δ′:

$$\sigma'_v = q_e + \sum \gamma_i h_i \qquad \sigma' = K_i\,\sigma'_v\cos\theta$$

σ′ agisce sull'unità di lunghezza del paramento, inclinata rispetto alla normale dell'angolo δ′ dello strato; K salta al confine in cui cambia.

Falda freatica (orizzontale, z_w) al di sotto: $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$; $u = \gamma_w(z - z_w)$ si somma **perpendicolarmente** al muro. Le forze si scompongono in componenti normale (N) e parallela (T) al paramento e si sommano: $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$, $\beta = \tan^{-1}(T/N)$.

RIPORTO STRATIFICATO E ACQUA



Traccia

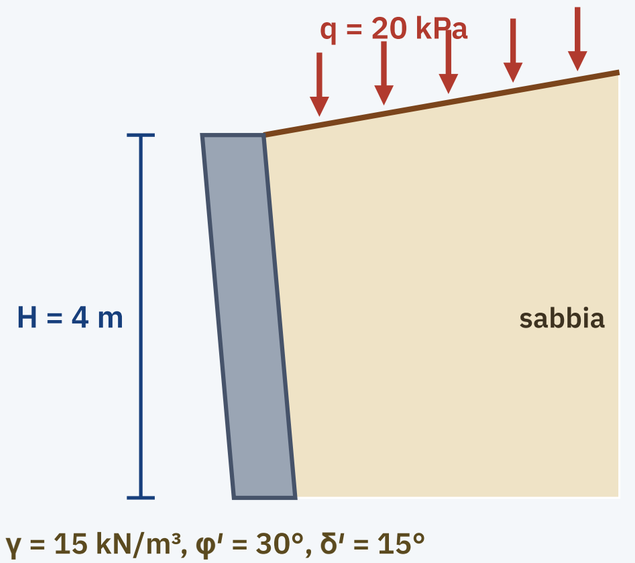
ESEMPIO

Dati

Muro e terreno	**Il muro dell'Esempio 3:** $H = 4$ **m,** $\theta = 5^\circ,\ \alpha = 10^\circ$**;** $\gamma = 15\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ,\ \delta' = 15^\circ$
Sovraccarico	**carico uniformemente distribuito** $q = 20$ **kPa sulla superficie inclinata (perpendicolare alla superficie)**

RICHIESTO

q_e, P_a totale e altezza della sua azione; la quota del sovraccarico.



Soluzione

SOLUZIONE

1 Tensione verticale equivalente

$$q_e = q\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} = 20\frac{\cos 5^\circ}{\cos(-5^\circ)} = \mathbf{20.00}\ \text{kPa}$$

2 Forze del terreno e del sovraccarico ($K_a = 0.3872$)

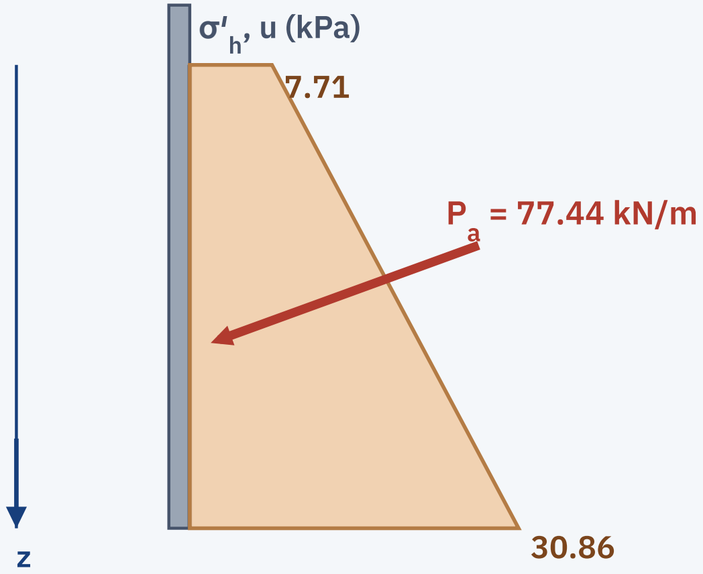
$$P_\gamma = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 = 46.46\ \text{kN/m}\ \ (H/3 = 1.33\ \text{m})$$

$$P_q = K_a q_e H = 0.3872(20)(4) = 30.97\ \text{kN/m}\ \ (H/2 = 2.00\ \text{m})$$

3 Totale e posizione

$$P_a = 46.46 + 30.97 = \mathbf{77.44}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{46.46(1.33) + 30.97(2.00)}{77.44} = \mathbf{1.60}\ \text{m}$$



Il sovraccarico ha incrementato la forza del 67% (P_a = 77.44 kN/m); il punto di applicazione è salito da 1.33 m a **1.60 m**.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

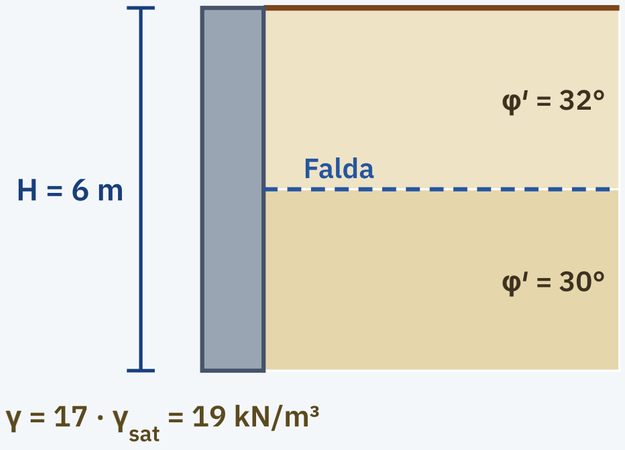
ESEMPIO

Dati

Muro	$H = 6$ **m, verticale; terrapieno orizzontale; nessun sovraccarico**
Strato 1 (0–3 m)	$\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 32°,\ \delta' = 16°$
Strato 2 (3–6 m)	$\gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$
Falda freatica	**a 3 m di profondità**

RICHIESTO

Pressioni in ciascuno strato; forze del terreno e dell'acqua; **P**, β e altezza di applicazione.



Soluzione (1/2)

SOLUZIONE

1 Coefficienti

$$K_1(32^\circ, 16^\circ) = \mathbf{0.2782} \qquad K_2(30^\circ, 15^\circ) = \mathbf{0.3014}$$

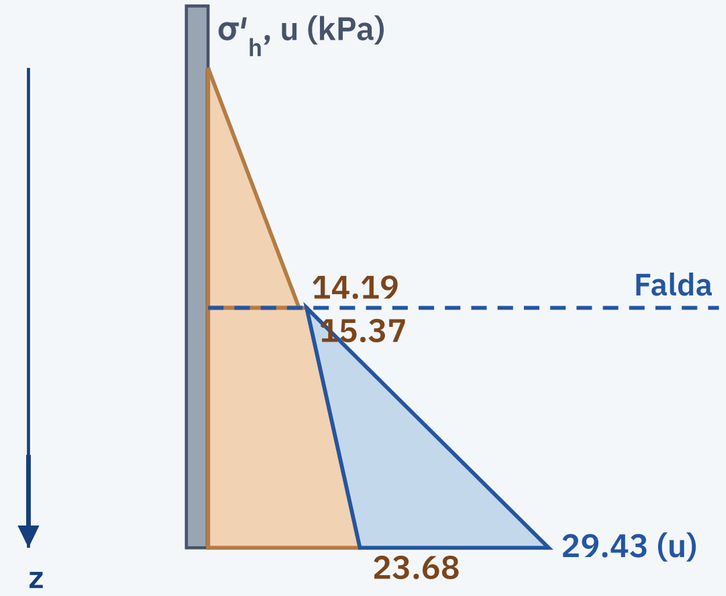
2 Tensioni: σ′$_v$(3) = 17(3) = 51; σ′$_v$(6) = 51 + 3(19 − 9.81) = 78.57 kPa

$$p_1 = 0.2782(51) = \mathbf{14.19}\ \text{kPa}\ (\text{sommità})$$

$$p_2 = 0.3014(51) = \mathbf{15.37}\ \text{kPa}\ (\text{base})$$

$$p(6) = 0.3014(78.57) = \mathbf{23.68}\ \text{kPa}$$

$$u(6) = 9.81(3) = \mathbf{29.43}\ \text{kPa}$$



Soluzione (2/2)

SOLUZIONE

3 Forze del terreno (agenti sul paramento, ciascuno strato con il proprio δ′): triangolo · rettangolo · triangolo

$$P_s = \tfrac{1}{2}(3)(14.19) + 3(15.37) + \tfrac{1}{2}(3)(8.31) = 21.28 + 46.12 + 12.47 = 79.86\ \text{kN/m}$$

$$P_w = \tfrac{1}{2}(29.43)(3) = 44.14\ \text{kN/m}\ \text{(perpendicolare al muro)}$$

4 Componenti, risultante e posizione

$$N = N_s + N_w = 77.04 + 44.14 = 121.18 \qquad T = 21.03\ \text{kN/m}$$

$$P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{123.00}\ \text{kN/m} \qquad \beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 9.84^\circ \qquad \bar{z} = \mathbf{1.69}\ \text{m}$$

La risultante vale **123.00 kN/m** (terreno 79.86 + acqua 44.14), a 1.69 m sopra la base. La forza dell'acqua è pari al 55% di quella del terreno; al confine p salta da 14.19 a 15.37 kPa (K cambia).

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

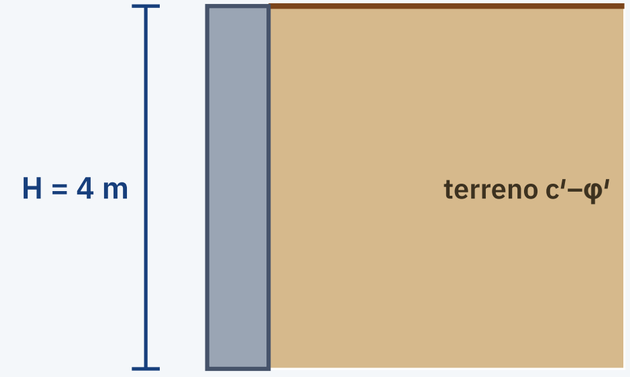
ESEMPIO

Dati

Muro	$H = 4$ **m, verticale; terrapieno orizzontale**
Terreno	**c′–φ′:** $\gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 25°,\ c' = 10$ **kPa;** $\delta' = 12.5° = \varphi'/2$

RICHIESTO

K_a, profondità di trazione z_0, **P_a** con e senza fessura; confronto con Rankine.



Soluzione (1/2)

SOLUZIONE

1 Coefficiente di Coulomb e termine di coesione (l'adesione è trascurata)

$$K_a(25^\circ, 12.5^\circ) = \mathbf{0.3674} \qquad \sigma' = K_a \sigma'_v - 2c'\sqrt{K_a}$$

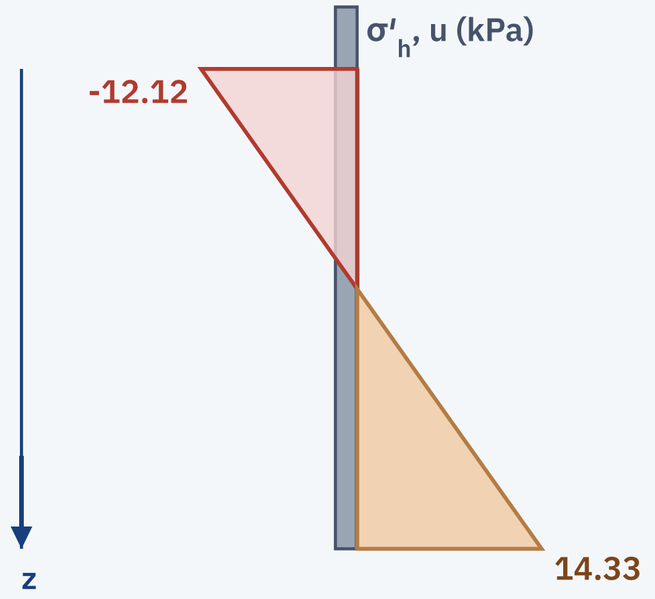
$$2c'\sqrt{K_a} = 2(10)(0.6061) = 12.12 \text{ kPa}$$

2 Alla sommità, alla base e alla profondità della zona tesa

$$\sigma'(0) = -\mathbf{12.12} \text{ kPa (trazione)}$$

$$\sigma'(4) = 0.3674(18)(4) - 12.12 = \mathbf{14.33} \text{ kPa}$$

$$z_0 = \frac{2c'}{\gamma\sqrt{K_a}} = \frac{20}{18(0.6061)} = \mathbf{1.83} \text{ m}$$



Soluzione (2/2)

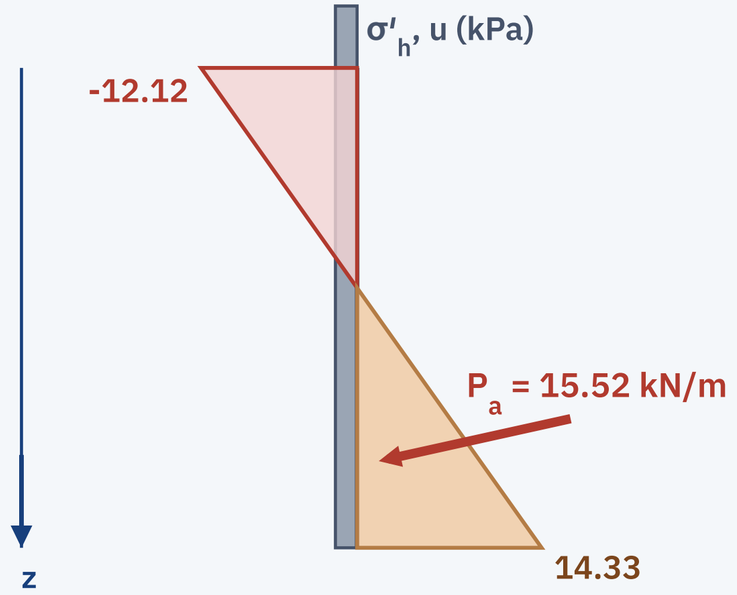
SOLUZIONE

3 Forza nel calcestruzzo fessurato (solo triangolo positivo)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(14.33)(4 - 1.83) = \mathbf{15.52}\ \mathrm{kN/m} \qquad \bar{z} = 0.72\ \mathrm{m}$$

$$\text{senza fessura: } P_a = 4.41\ \mathrm{kN/m}$$

P_a con fessurazione = **15.52 kN/m**; senza fessurazione (inclusa la zona negativa) 4.41 kN/m: se si conta la zona tesa, la forza risulta molto piccola perché è piccola. Rankine (δ′ = 0) darebbe 18.59 kN/m.



Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Campo di validità della soluzione di Coulomb

TEORIA

La superficie di scorrimento è piana. Nel caso attivo questa è una buona approssimazione della superficie reale; nel caso passivo, per δ′ elevati essa si discosta dalla superficie curva e la resistenza risulta **maggiore di quella effettiva** (attenzione per δ′ > φ′/3; modulo con spirale logaritmica).

L'**attrito terra-muro** δ′ è un dato di input: dipende dal materiale del muro e dal movimento del terreno rispetto al muro; stime approssimative sono δ′ = (1/2 – 2/3)φ′ (calcestruzzo–sabbia).

Strato coesivo: il termine di coesione è assunto in forma di Rankine con il valore K di Coulomb dello strato; l'adesione terra-muro è trascurata; la zona di trazione è esclusa mediante una fessura.

La **soluzione stratificata** è l'estensione ingegneristica del modulo (in letteratura non esiste una soluzione di Coulomb stratificata in forma chiusa); per un singolo strato si riduce alla soluzione in forma chiusa, e per δ′ = 0 e terrapieno orizzontale a Rankine.

Il **sisma** è nel modulo Mononobe–Okabe; Coulomb è la soluzione statica.

Sintesi

Punti chiave

Cuneo: W, F (inclinata di φ' rispetto alla normale), P (inclinata di δ' rispetto alla normale); $P_a(\beta)$ con il teorema dei seni; **attivo = cuneo massimo**, **passivo = cuneo minimo**

$\mathbf{K_a} = \cos^2(\varphi' - \theta) / \{\cos^2\theta \cos(\delta' + \theta)[1 + \sqrt{(\ldots)}]^2\}$; la forza agisce a H/3 dalla base, con inclinazione $\theta + \delta'$ rispetto all'orizzontale; per $\delta' = 0$ e geometria rettilinea, Rankine

L'attrito terra-muro riduce la spinta attiva (fino a $\delta' \approx 2\varphi'/3$) e aumenta rapidamente quella passiva; nel caso passivo, per δ' elevati il cuneo piano non è a favore di sicurezza

Sovraccarico $q_e = q \cos\theta / \cos(\theta - \alpha)$: $P = \frac{1}{2}K\gamma H^2\,(H/3) + K\,q_e\,H\,(H/2)$

Stratificato + acqua: $\sigma' = K_i \sigma'_v \cos\theta$, salto al confine; u normale al muro; $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$, $\beta = \tan^{-1}(T/N)$

Strato coesivo: $\sigma' = K\sigma'_v - 2c'\sqrt{K}$, in presenza di fessura di trazione la zona negativa viene trascurata

Bibliografia

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning.

Coulomb, C.A. (1776). Essai sur une application des règles de Maximis et Minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture. Mémoires de Mathématique et de Physique, Académie Royale des Sciences, Paris, 7, 343–382.

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning — a surcharge on a sloping backfill.

NOTA

Tutti gli esempi numerici sono stati prodotti con il motore di calcolo del modulo stesso; il modulo restituisce gli stessi valori. Il modulo si apre con il muro dell'Esempio 3 (θ = 5°, α = 10°, δ′ = 15°).

GeoTerva

Calcoli geotecnici online

Dalla teoria alla pratica

Inserire in GeoTerva l'inclinazione del proprio muro, l'inclinazione del terrapieno, l'attrito, gli strati, il sovraccarico e la falda freatica; il modulo fornisce insieme la forza, la sua direzione e la sua altezza di applicazione.

Aprire il modulo →

Pagina di teoria →

Aprire dallo smartphone

I moduli di prova non richiedono registrazione.

Se si desidera utilizzarli nelle proprie lezioni: info@geoterva.com