Lezione di geotecnica · Spinta delle terre

Spinta passiva delle terre: spirale logaritmica

Lezione: calcolo della spinta passiva agente su un muro scabro con superficie di rottura curva (spirale logaritmica), cuneo di tentativo di Terzaghi–Peck, soluzione di Lancellotta, confronto con Coulomb; paramento inclinato, piano di campagna inclinato, strati e acqua; un esempio di calcolo per ogni argomento.

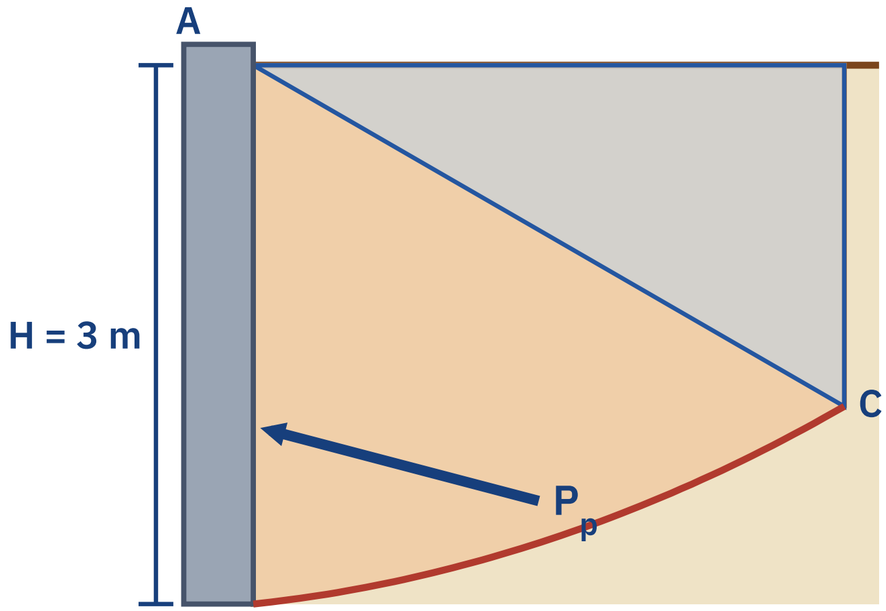
Attrito terra-muro

$r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$

Cuneo di Terzaghi – Peck

Lancellotta · Coulomb

Terrapieno inclinato · strato · acqua



Introduzione

Che cosa si impara in questa lezione?

Perché per un muro scabro è necessaria una **superficie curva** invece di un **cuneo piano** (Coulomb)

La **spirale logaritmica**: $r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$; ogni raggio incontra la curva con φ' e la risultante passa per il centro della spirale

Calcolo di P mediante equilibrio dei momenti sul cuneo di tentativo **Terzaghi–Peck**; determinazione della forza dal cuneo di tentativo **più piccolo**

Confronto di K_p con la soluzione in forma chiusa di **Lancellotta** e con Coulomb, Shields–Tolunay, Zhu–Qian

Il cuneo generalizzato per terrapieno inclinato, superficie in pendenza, sovraccarico, **strati e acqua**

Quanto Coulomb diventi **non cautelativo** per δ' elevati

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 riferite all'unità di lunghezza del paramento del muro (kN/m); $P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2$; l'attrito terra-muro δ' agisce nella direzione in cui il muro trascina verso il basso il terreno.

Perché nel caso passivo non si forma una superficie piana?

TEORIA

La superficie di scorrimento piana di Coulomb è una buona approssimazione per la spinta **attiva**; per la resistenza **passiva** di un muro scabro, invece, fornisce un valore superiore alla resistenza effettiva, e tanto più quanto maggiore è l'attrito terra-muro: **a sfavore di sicurezza**.

Quando il muro viene spinto contro il terreno, il terreno si solleva rispetto al muro; il muro sposta il terreno **verso il basso** (attrito positivo terra-muro) e la forza passiva risulta inclinata di δ′ **verso il basso** rispetto alla normale al paramento. In questo caso la superficie di rottura è:

- in prossimità della punta (BC) è **curva** (spirale logaritmica)
- in prossimità della superficie (CD) è **rettilinea**: forma 45° − φ′/2 con l'orizzontale; la zona ACD è in stato passivo di Rankine

QUANTO IN PIÙ FORNISCE COULOMB?

φ′ / δ′	Spirale	Coulomb
30° / 15°	4.61	4.98
30° / 30°	6.68	10.10
40° / 20°	9.67	11.77
40° / 40°	18.86	92.59

Coefficienti K_p; per φ′ = δ′ = 40° Coulomb fornisce un valore 5 volte maggiore.

La proprietà che rende utile la spirale

TEORIA

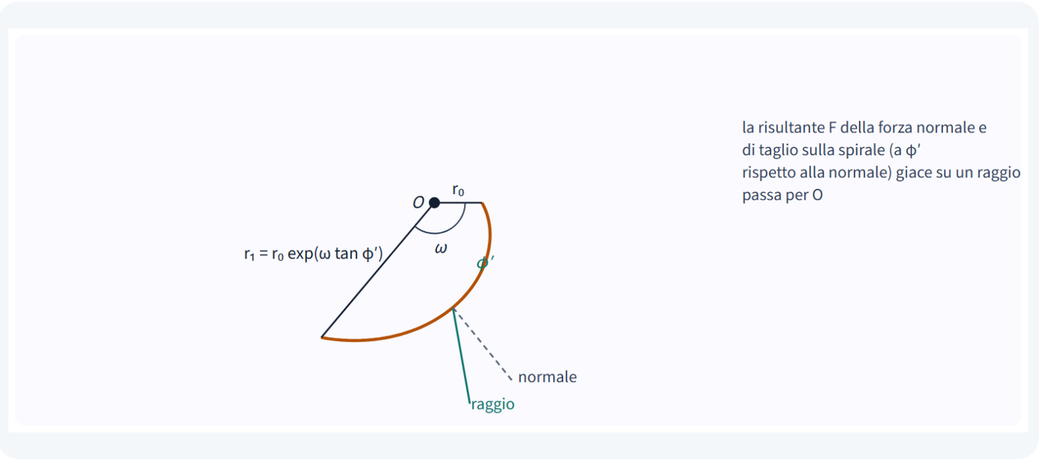
La parte curva BC della superficie di scorrimento è assunta come spirale logaritmica con centro in O:

$$r = r_0 \, e^{\omega \tan \varphi'}$$

r_0 è il raggio per ω = 0. Proprietà della spirale: **ogni raggio incontra la curva con angolo φ′**. Nel terreno granulare la risultante delle forze normali e tangenziali sulla superficie di scorrimento forma anch'essa φ′ con la normale; cioè sulla spirale la risultante giace lungo un raggio e **passa per O**: ciò discende dall'equazione dei momenti rispetto a O.

$$A_{OAB} = \frac{r_1^2 - r_0^2}{4 \tan \varphi'}$$

È l'area del concio compreso tra r_0 e r_1; il modulo determina numericamente l'area del cuneo e il baricentro.



Traccia

ESEMPIO

Dati

Spirale	**centro O; raggio iniziale** $r_0 = 1.00$ **m;** $\varphi' = 30^\circ$
Angolo	$\omega = 60^\circ$ **e** $\omega = 90^\circ$

RICHIESTO

$\mathbf{r_1}$, l'angolo del raggio rispetto alla curva e l'**area** del settore.

Soluzione

SOLUZIONE

1 ω = 60° = 1.0472 rad

$$r_1 = r_0 e^{\omega \tan\varphi'} = 1.00\, e^{1.0472 \times 0.5774} = 1.00\, e^{0.6046}$$

$$r_1 = \mathbf{1.831}\ \mathrm{m}$$

2 Area del settore

$$A = \frac{r_1^2 - r_0^2}{4\tan\varphi'} = \frac{3.351 - 1.00}{4(0.5774)} = \mathbf{1.018}\ \mathrm{m^2}$$

3 per ω = 90°

$$r_1 = 1.00\, e^{1.5708 \times 0.5774} = \mathbf{2.477}\ \mathrm{m} \qquad A = \mathbf{2.223}\ \mathrm{m^2}$$

Il raggio aumenta di un fattore $e^{\tan\varphi'} = 1.781$ per radiante; per ω = 60° si ha r_1 = 1.831 m e l'area è 1.018 m². Il raggio forma **φ′ = 30° in ogni punto** con la curva; pertanto la risultante passa per O.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Metodo di Terzaghi e Peck (1967)

TEORIA

Per il muro verticale AB di altezza H:

Da A si traccia la linea AC al di sotto della superficie di **45° – φ′/2**; su di essa si sceglie un punto C.

Sulla retta AC si individua **O** come centro della spirale di raggio r_0 = OB passante per B e che raggiunge C (r_1 = OC = $r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$).

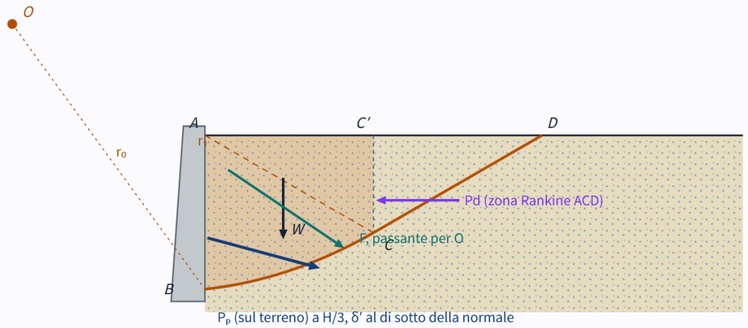
La faccia CC′ porta la spinta passiva di Rankine della zona ACD (orizzontale, a d/3 sopra C′):

$$P_d = \tfrac{1}{2}\gamma d^2 \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right)$$

Momento rispetto a O per il peso W del cuneo ABCC′, P_d e la forza del muro P (a H/3, δ′ sotto la normale) (la risultante F passa per O):

$$P = \frac{W\, l_W + P_d\, l_1}{l_P} \qquad P_p = \min_C P \qquad K_p = \frac{2P_p}{\gamma H^2}$$

Il tentativo si ripete per molti valori di C; la forza minima è la forza passiva. Per δ′ = 0 si riduce al piano a spirale e $K_p = \tan^2(45° + \varphi'/2)$.



Traccia

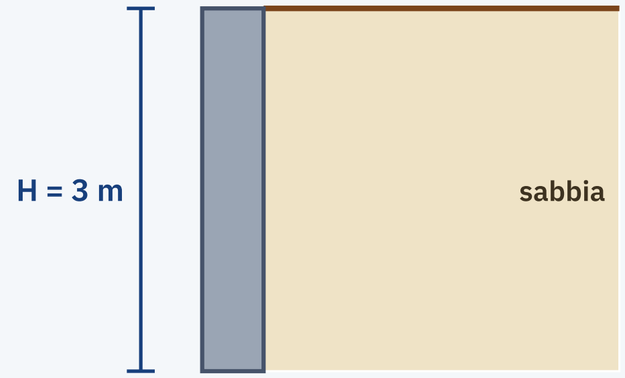
ESEMPIO

RICHIESTO

Geometria del cuneo di tentativo minimo e $\mathbf{P_p}$, $\mathbf{K_p}$; confronto con più cunei di tentativo. Il modulo si apre con questo muro.

Dati

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



γ = 15.7 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15° (passiva)

Soluzione (1/2)

SOLUZIONE

1 Geometria (AC a 45° − 15° = 30° rispetto all'orizzontale)

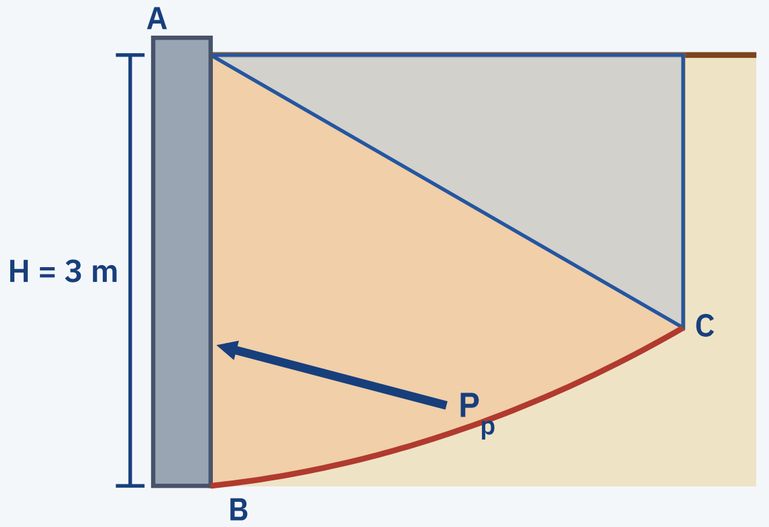
$$t = 3.80\ \text{m}: \quad C = (3.29;\ 1.10)\ \text{m}, \quad d = H - y_C = 1.90\ \text{m}$$

$$O = (-3.76;\ 5.17)\ \text{m}, \quad r_0 = OB = 6.39\ \text{m}, \quad r_1 = OC = 8.14\ \text{m}$$

2 Angolo della spirale e peso del cuneo

$$\omega = \ln(r_1/r_0)/\tan 30^\circ = 23.97^\circ$$

$$W = \gamma A_{ABCC'} = 15.7\,(8.480) = \mathbf{133.14}\ \text{kN/m}$$



Soluzione (2/2)

SOLUZIONE

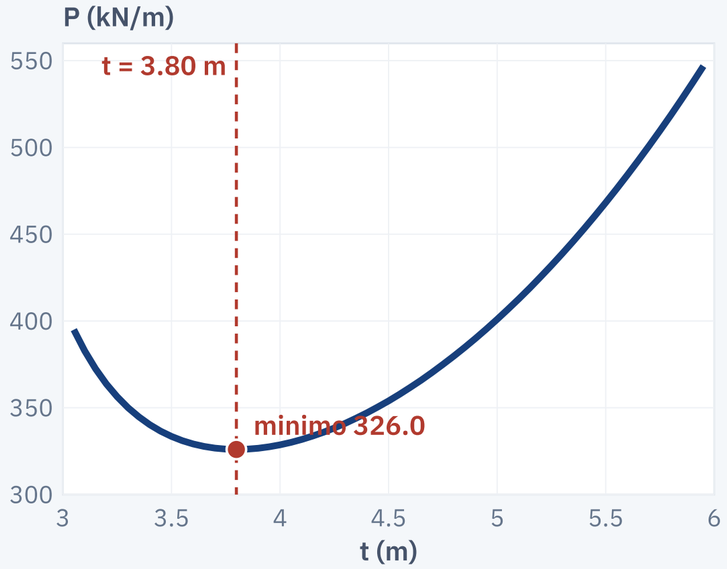
3 Zona di Rankine: $P_d = \tfrac{1}{2}\gamma d^2 \tan^2 60°$

$$P_d = \tfrac{1}{2}(15.7)(1.899)^2(3) = \mathbf{84.96}\ \mathrm{kN/m}$$

4 Momento rispetto a O (bracci $l_W = 5.289$, $|l_1| = 3.438$, $l_P = 3.056$ m)

$$P = \frac{W\, l_W + P_d\, |l_1|}{l_P} = \frac{133.14(5.289) + 84.96(3.438)}{3.056} = \mathbf{326.03}\ \mathrm{kN/m}$$

La forza di tentativo minima è **P_p = 326.0 kN/m** (t = 3.80 m); $K_p = 2P_p/(\gamma H^2)$ = **4.615**. Per t minore o maggiore la forza aumenta (t = 3.2 m: 363.8; t = 4.5 m: 354.0 kN/m), quindi la forza passiva è il **cuneo di tentativo minimo**.



Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

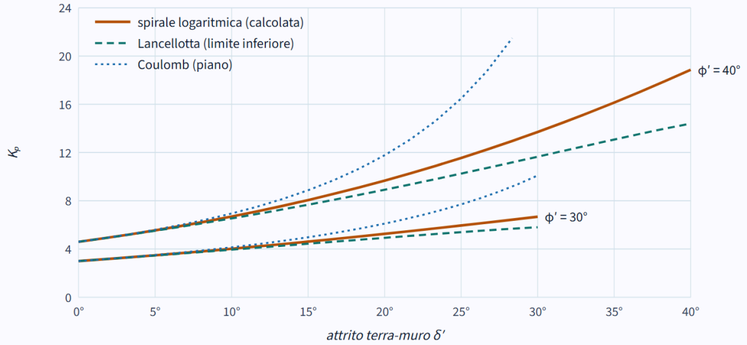
Spirale e altre soluzioni

TEORIA

Muro verticale, terrapieno orizzontale: altre soluzioni (tutte con $P_p = \frac{1}{2}K_p\gamma H^2$): Shields–Tolunay (metodo dei conci, tabella), Sokolowskiĭ (caratteristiche, tabella), Zhu–Qian (concio triangolare, tabella) e la soluzione in forma chiusa di **Lancellotta (2002)** (limite inferiore):

$$K_p = \frac{\cos\delta'}{1-\sin\varphi'}\left(\cos\delta' + \sqrt{\sin^2\varphi' - \sin^2\delta'}\right) e^{2\theta\tan\varphi'}\frac{1}{\cos\delta'} \qquad 2\theta = \sin^{-1}\frac{\sin\delta'}{\sin\varphi'} + \delta'$$

φ′	δ′	Spirale logaritmica	Lancellotta	Coulomb
20°	10°	2.56	2.52	2.64
20°	20°	3.07	2.87	3.53
30°	15°	4.61	4.44	4.98
30°	30°	6.68	5.80	10.10
40°	20°	9.67	8.92	11.77
40°	40°	18.86	14.39	92.59



Lancellotta è il limite inferiore, la spirale logaritmica è il limite superiore; il metodo delle caratteristiche si colloca tra i due, molto vicino alla spirale.

Coulomb sovrastima per δ′ elevati (φ′ = δ′ = 40°: 92.6).

Traccia

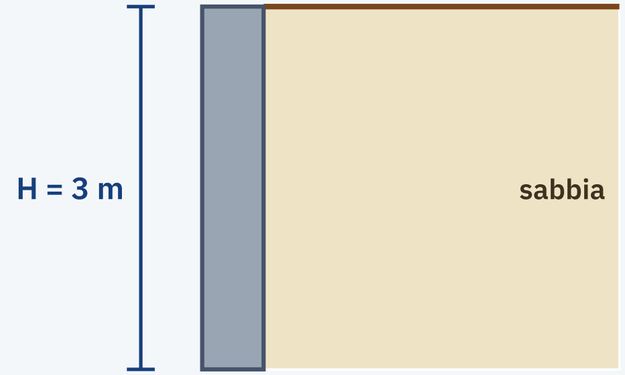
ESEMPIO

RICHIESTO

Il K_p di **Lancellotta** passo per passo; i valori P_p delle cinque soluzioni e la loro graduatoria.

Dati

Muro e terreno	**Muro dell'Esempio 2:** $H = 3$ **m,** $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$



γ = 15.7 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15° (passiva)

Soluzione (1/2)

SOLUZIONE

1 Lancellotta (limite inferiore): 2θ e K_p

$$2\theta = \sin^{-1}\frac{\sin 15^\circ}{\sin 30^\circ} + 15^\circ = 31.17^\circ + 15^\circ = 0.8059\ \text{rad}$$

$$K_p = \frac{\cos 15^\circ}{1-\sin 30^\circ}\left(\cos 15^\circ + 0.4278\right) e^{0.8059\tan 30^\circ}\frac{1}{\cos 15^\circ} = \mathbf{4.439}$$

Soluzione (2/2)

SOLUZIONE

2 Cinque soluzioni ($P_p = ½K_p(15.7)(9) = 70.65\ K_p$)

Soluzione	K_p	P_p (kN/m)
Coulomb (1776), superficie piana	4.977	351.6
Terzaghi & Peck (spirale logaritmica)	4.615	326.0
Shields & Tolunay (1973)	4.280	302.4
Zhu & Qian (2000)	4.575	323.2
Lancellotta (2002)	4.439	313.6

La soluzione piana di Coulomb fornisce il valore massimo (351.6 kN/m); le soluzioni con superficie curva si addensano nell'intervallo **302–326 kN/m**. Lancellotta (limite inferiore) dà 313.6, la spirale logaritmica (limite superiore) 326.0 kN/m.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

ESEMPIO

Dati

Terreno	**sabbia, $\varphi' = 30°$; muro verticale, terrapieno orizzontale**
Variabile	$\delta' = 0°,\ 10°,\ 15°,\ 20°,\ 30°$

RICHIESTO

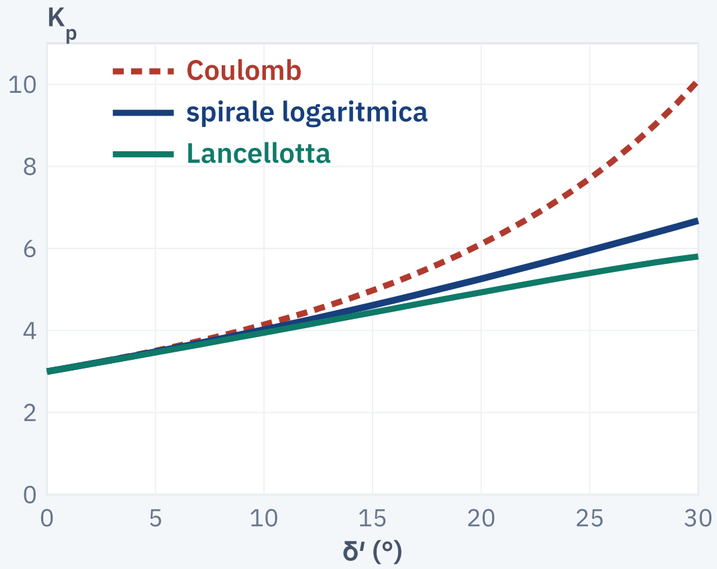
Per ciascun δ′, **K_p** (spirale logaritmica, Lancellotta, Coulomb) e l'eccesso rispetto a Coulomb.

Soluzione

SOLUZIONE

1 Quattro metodi per lo stesso $\varphi' = 30°$

δ'	Spirale logaritmica	Lancellotta	Coulomb	Coulomb / spirale
0°	3.000	3.000	3.000	1.00
10°	4.020	3.946	4.143	1.03
15°	4.615	4.439	4.977	1.08
20°	5.260	4.930	6.105	1.16
30°	6.677	5.804	10.095	1.51



Per $\delta' = 0$ tutti e tre coincidono con Rankine (3.00); all'aumentare di δ' la spirale di Coulomb lo supera rapidamente: +8% per $\delta' = 15°$, +51% per $\delta' = 30°$ (a sfavore di sicurezza). In pratica, per la resistenza passiva si utilizza la spirale logaritmica oppure $\delta' \le \varphi'/2$.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Terrapieno inclinato, superficie inclinata, sovraccarico, strato e acqua

TEORIA

Il modulo estende il cuneo di Terzaghi–Peck a un ciglio inclinato di θ e a un paramento inclinato di α: la regione compresa tra AC e la superficie si trova nello stato passivo di Rankine della superficie inclinata; la spirale su AC è tracciata a partire da O; la spirale può degenerare in un piano (anche il piano di Coulomb è un meccanismo e si assume il minore dei due).

$$P_p = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma} + q_e H K_{pq} \qquad q_e = q\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)}$$

I contributi del peso del terreno (H/3) e del sovraccarico (H/2) si ricavano dai rispettivi cunei di tentativo minimi. Nel terrapieno **stratificato** ogni strato assume il proprio valore di $K_{p\gamma}$, K_{pq}; il peso del terreno sovrastante agisce come un sovraccarico; **in presenza d'acqua**, γ′ e u si sommano perpendicolarmente al paramento:

$$\sigma'_p = \left[K_{pq}\sigma'_{v,top} + K_{p\gamma}\left(\sigma'_v - \sigma'_{v,top}\right)\right]\cos\theta$$

Caso (δ′ = φ′ = 30°)	Abachi di K_p (Caquot–Kerisel)	Modulo K_p	Differenza
θ = 20°	3.84	3.82	−0.6 %
θ = 30°	2.76	2.80	+1.6 %
α/φ′ = 0.4 (α = 12°)	10.60	10.22	−3.6 %
α/φ′ = 0.8 (α = 24°)	15.10	14.51	−3.9 %

$K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$ (in Caquot–Kerisel al posto di H si assume la lunghezza del paramento $H_1 = H/\cos\theta$). Questa estensione stratificata costituisce l'estensione ingegneristica del modulo.

CAQUOT – KERISEL R′

Gli abachi di Caquot–Kerisel valgono per δ′ = φ′; per altri δ′, $K_p = R' K_{p(\delta'=\varphi')}$. Per φ′ = 30°, δ′/φ′ = 0.5, R′ = 0.746.

Traccia

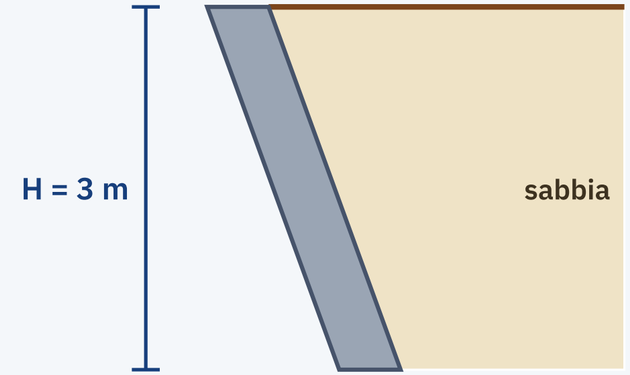
ESEMPIO

Dati

Muro	$H = 3$ m; paramento inclinato di $\theta = 20°$ rispetto alla verticale; terrapieno orizzontale
Terreno	sabbia asciutta: $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30°$; $\delta' = 30° = \varphi'$

RICHIESTO

$K_{p\gamma}$, P_p; confronto con K_p ricavato dall'abaco; confronto con un muro a paramento verticale.



θ = 20°, φ′ = 30°, δ′ = 30° (passiva)

Soluzione

SOLUZIONE

1 Coefficiente di spirale (modulo; δ′ = φ′ = 30°, θ = 20°)

$$K_{p\gamma} = \mathbf{4.321} \qquad K_{pq} = 4.127$$

2 Confronto con la forza e con l'abaco

$$P_p = \tfrac{1}{2} K_{p\gamma} \gamma H^2 = \tfrac{1}{2}(4.321)(15.7)(9) = \mathbf{305.3}\ \mathrm{kN/m}$$

$$K_p = K_{p\gamma} \cos^2 20^\circ = 4.321(0.8830) = \mathbf{3.82}\ (\text{abaco } 3.84)$$

P_p = **305.3 kN/m**; nello stesso terreno, un muro con paramento verticale (θ = 0, δ′ = 30°) darebbe 471.8 kN/m: un paramento inclinato di 20° **riduce** la resistenza passiva del 35%. Scostamento dall'abaco: 0.6%.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

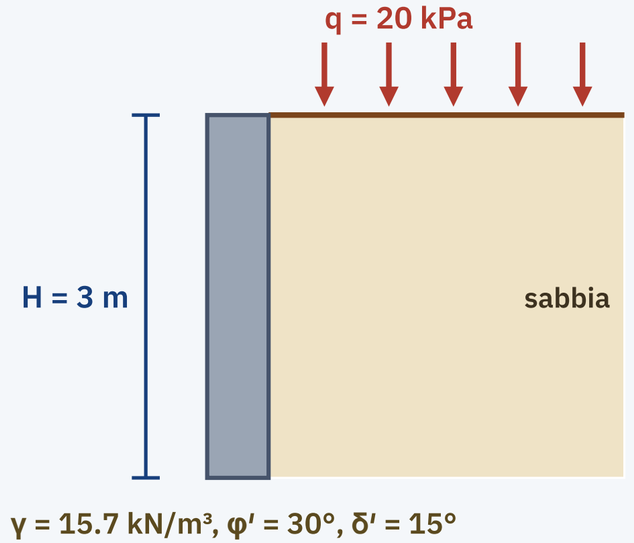
ESEMPIO

Dati

Muro e terreno	**Muro dell'Esempio 2:** $H = 3$ **m,** $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$
Sovraccarico	$q = 20$ **kPa (su superficie orizzontale)**

RICHIESTO

Contributi del terreno e del sovraccarico, totale $\mathbf{P_p}$ e $\bar{\mathbf{z}}$.



Soluzione

SOLUZIONE

1 Coefficienti (modulo, δ′ = 15°)

$$K_{p\gamma} = \mathbf{4.615} \qquad K_{pq} = \mathbf{4.532} \qquad q_e = 20\ \text{kPa}$$

2 Forze: terreno (braccio H/3 = 1.00 m) + sovraccarico (braccio H/2 = 1.50 m)

$$P_\gamma = \tfrac{1}{2} K_{p\gamma} \gamma H^2 = 326.03\ \text{kN/m}$$

$$P_q = K_{pq} q_e H = 4.532(20)(3) = 271.90\ \text{kN/m}$$

3 Totale e posizione

$$P_p = 326.03 + 271.90 = \mathbf{597.94}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{326.03(1.00) + 271.90(1.50)}{597.94} = \mathbf{1.23}\ \text{m}$$

P_p = **597.9 kN/m**, $\bar{z}$ = **1.23 m** (1.00 m senza sovraccarico); il contributo del sovraccarico è pari all'83% di quello del terreno.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

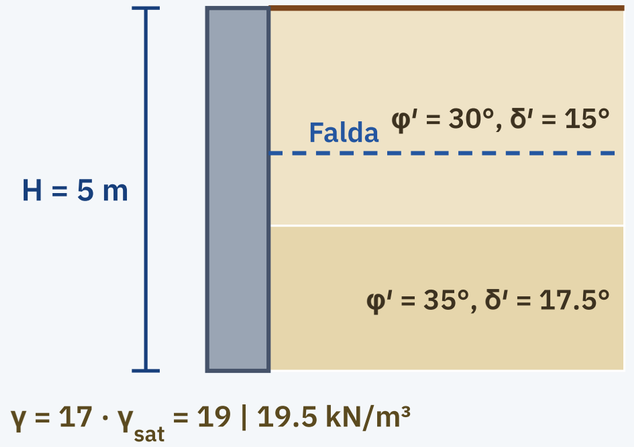
ESEMPIO

Dati

Muro	$H = 5$ **m, verticale; terrapieno orizzontale; nessun sovraccarico**
Strato 1 (0–3 m)	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ,\ \delta' = 15^\circ$
Strato 2 (3–5 m)	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 35^\circ,\ \delta' = 17.5^\circ$
Acqua sotterranea	**a 2 m di profondità**

RICHIESTO

Salto di pressione al confine dello strato, componenti, **P**, β e **z̄**.



Soluzione (1/2)

SOLUZIONE

1 Coefficienti (modulo)

$$\text{strato 1: } K_{p\gamma} = 4.615$$

$$\text{strato 2: } K_{p\gamma} = 6.522,\ K_{pq} = 6.351$$

2 Tensioni: $\sigma'_v(2) = 34$; $\sigma'_v(3) = 43.19$; $\sigma'_v(5) = 62.57$ kPa

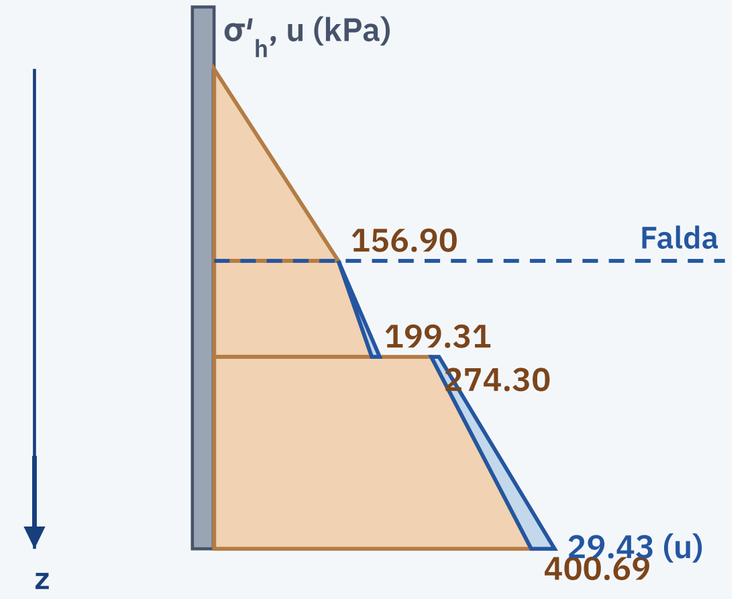
$$p(2) = 4.615(34) = 156.90$$

$$p(3^-) = 4.615(43.19) = 199.31$$

$$p(3^+) = K_{pq}\sigma'_v(3) = 6.351(43.19) = \mathbf{274.30}$$

$$p(5) = 274.30 + 6.522(19.38) = \mathbf{400.69}\ \text{kPa}$$

$$u(5) = \mathbf{29.43}\ \text{kPa}$$



Soluzione (2/2)

SOLUZIONE

3 Forze e componenti lungo il paramento (con δ′ dello strato)

$$P_s = 335.0 + 675.0 = 1{,}010.0\ \text{kN/m}$$

$$N_s = 967.3 \qquad T = 289.7\ \text{kN/m}$$

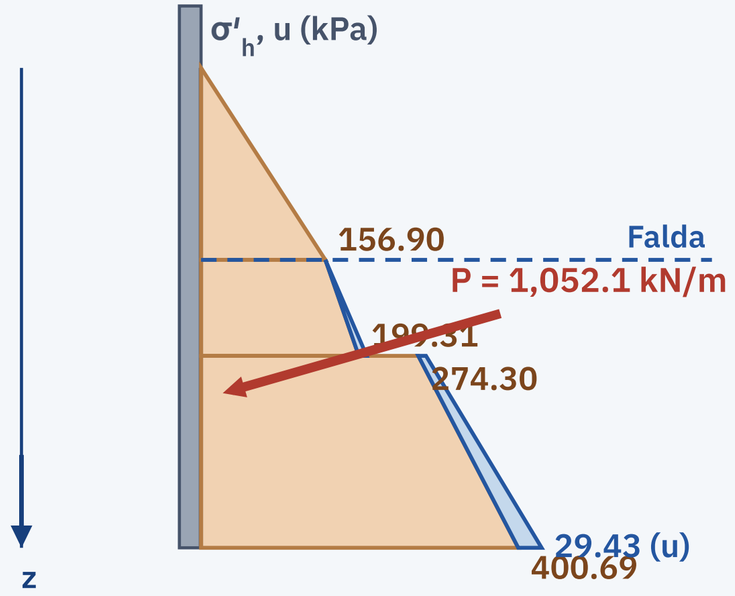
$$N_w = \tfrac{1}{2}(29.43)(3) = 44.15\ \text{kN/m}\ \text{(perpendicolare al colmo)}$$

4 Risultante e posizione

$$N = N_s + N_w = 1{,}011.5 \qquad P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{1{,}052.1}\ \text{kN/m}$$

$$\beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 15.98^\circ \qquad \bar{z} = \mathbf{1.61}\ \text{m}$$

P = **1,052.1 kN/m**, β = 16.0°, 1.61 m sopra la base. Il contributo dell'acqua è solo 44.1 kN/m (4%): nel caso passivo la resistenza del terreno è molto grande rispetto a quella dell'acqua; al limite p salta da 199.3 a 274.3 kPa.



Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Ambito della soluzione

TEORIA

Terreno granulare ($c' = 0$); per la spinta passiva in condizioni coesive si vedano i moduli Rankine e Coulomb.

La **spirale logaritmica** costituisce il limite superiore, Lancellotta quello inferiore; la resistenza effettiva è compresa tra i due. Il criterio di Coulomb piano risulta non cautelativo per valori elevati di δ'.

Il **cuneo generalizzato** (paramento virtuale inclinato, superficie inclinata, strato, acqua, sovraccarico) è l'estensione ingegneristica del modulo; non esiste una soluzione in forma chiusa per terreni stratificati; le aliquote del peso del terreno e del sovraccarico si ricavano dai rispettivi cunei di minimo.

Validità: $\alpha < \varphi'$; il retro e la superficie devono intersecarsi con un angolo sufficiente; se la spirale esce dal terreno o ruota nel verso sbagliato non si ha un meccanismo (il piano è il caso limite).

Per il **sisma** si utilizza il modulo della spinta passiva in condizioni sismiche.

Sintesi

Punti chiave

Nel caso passivo il cuneo piano non è a favore di sicurezza: con l'attrito terra-muro la superficie di collasso è curva (spirale) al tallone e piana in prossimità della superficie (zona di Rankine)

Spirale: $r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$; ogni raggio incontra la curva con φ', la risultante passa per O; area $(r_1^2 - r_0^2)/(4 \tan \varphi')$

Terzaghi–Peck: $P = (W\, l_W + P_d\, l_1)/l_P$; la P nel **cuneo di tentativo minimo** è la forza passiva; $K_p = 2P_p/(\gamma H^2)$

Lancellotta (limite inferiore, soluzione in forma chiusa), spirale (limite superiore); Coulomb fornisce un valore 5 volte maggiore per $\varphi' = \delta' = 40°$

Cuneo generalizzato: $P = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma} + q_e H K_{pq}$; $K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$ (definizione dell'abaco); strato per strato $\sigma' = [K_{pq}\sigma'_{v,sup} + K_{p\gamma}(\sigma'_v - \sigma'_{v,sup})]\cos\theta$

Muro di esempio ($H = 3$ m, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$): Coulomb 351.6 · spirale 326.0 · Lancellotta 313.6 kN/m

Bibliografia

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

Terzaghi, K. e Peck, R.B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed. Wiley, New York.

Shields, D.H. e Tolunay, A.Z. (1973). Passive pressure coefficients by method of slices. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 99(SM12), 1043–1053.

Lancellotta, R. (2002). Analytical solution of passive earth pressure. Géotechnique, 52(8), 617–619.

Sokolowskiĭ, V.V. (1965). Statics of Granular Media. Pergamon, London.

Zhu, D.Y. e Qian, Q. (2000). Determination of passive earth pressure coefficients by the method of triangular slices. Canadian Geotechnical Journal, 37(2), 485–491.

Caquot, A. e Kerisel, J. (1948). Tables for the Calculation of Passive Pressure, Active Pressure and Bearing Capacity of Foundations. Gauthier-Villars, Paris.

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning.

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 2-3 (H = 3 m, δ′ = 15°).

GeoTerva

Calcoli geotecnici online

Dalla teoria alla pratica

Inserire in GeoTerva l'inclinazione del paramento virtuale del proprio muro, l'inclinazione del terrapieno, gli strati, il sovraccarico e la falda freatica; il modulo fornisce insieme la spirale critica, P_p e l'altezza della risultante.

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