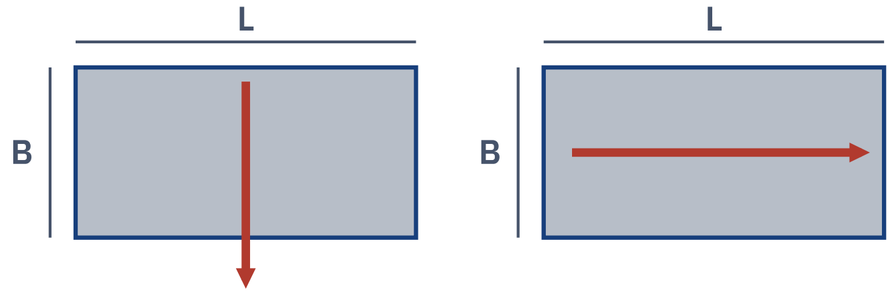
Presentazione didattica di geotecnica · Fondazioni

Equazione di capacità portante di Vesic

Lezione: i coefficienti adottati da Vesic e il suo contributo: l'esponente di inclinazione che tiene conto della forma della fondazione e della direzione del carico, l'inclinazione del piano di posa e l'inclinazione del piano di campagna; un esempio di calcolo per ogni argomento.

- Esponente di pendenza m
- Carico inclinato
- Inclinazione del piano di posa
- Inclinazione del piano di campagna
- sovrapposizione con Meyerhof
- Esempi di calcolo



Introduzione

Che cosa si impara in questa lezione?

A distinguere quali coefficienti **adotta l'equazione di Vesic** e quali sono **propri** di essa

Calcolare l'**esponente m** nei coefficienti di inclinazione in funzione del rapporto B/L della fondazione e della direzione del carico

Determinare i **coefficienti di inclinazione** con i carichi effettivi h e v e verificare i limiti di scorrimento

L'applicazione dei fattori di **inclinazione del piano di posa** e di **inclinazione del piano di campagna** (forme di Vesic); il confronto con quelli di Hansen

Come trattare la forma non drenata (φ = 0) e le condizioni della falda freatica

Riconoscere che, in assenza di inclinazione del carico, del piano di posa e del piano di campagna, l'equazione si riduce all'**equazione generale di Meyerhof**

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

Fondazione di esempio, il modello aperto dal modulo: fondazione quadrata 1.2 m × 1.2 m in sabbia, D_f = 1 m, falda freatica 0.5 m, c = 0, φ′ = 32°.

Coefficienti adottati e coefficienti propri

TEORIA

L'equazione di Vesic ha **la stessa struttura** dell'equazione di Hansen: correzioni di forma, profondità, inclinazione del carico, inclinazione del piano di posa e inclinazione del piano di campagna in ogni termine:

$$q_u = c\,N_c\,F_{cs}F_{cd}\,i_c b_c g_c + q\,N_q\,F_{qs}F_{qd}\,i_q b_q g_q + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma\,F_{\gamma s}F_{\gamma d}\,i_\gamma b_\gamma g_\gamma$$

Vesic **non ha ridiscusso tutto**: ha ripreso così come sono i coefficienti di **forma di De Beer** e di **profondità di Hansen**; anche N_γ è la sua forma chiusa: $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$.

Il suo contributo: i coefficienti di inclinazione (l'esponente dipende dalla forma della fondazione e dalla direzione del carico) e i coefficienti di inclinazione del piano di posa e del piano di campagna.

In assenza di pendenza, inclinazione del piano di posa e inclinazione del piano di campagna (valori predefiniti del modulo) si ha i = b = g = 1 e l'equazione coincide **esattamente con l'equazione generale di Meyerhof**.

ORIGINE DEI COEFFICIENTI

Coefficiente	Fonte
N_c, N_q	Prandtl, Reissner
N_γ	Vesic
F_s (figura)	De Beer
F_d (profondità)	Hansen
i (inclinazione)	**Vesic**
b (inclinazione del piano di posa)	**Vesic**
g (inclinazione del piano di campagna)	**Vesic**

Traccia

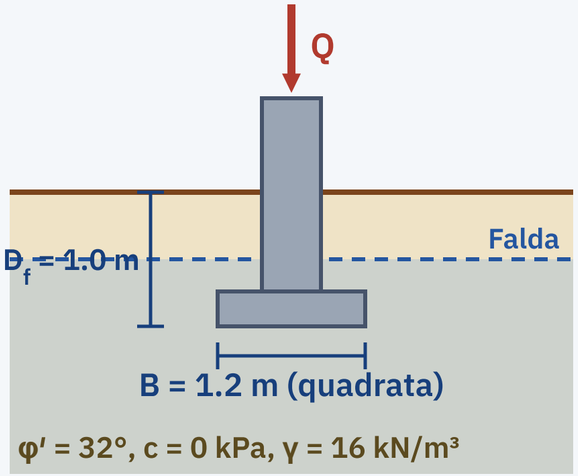
ESEMPIO

Dati

Fondazione	**quadrata, B = L = 1.2 m, profondità del piano di posa D_f = 1.0 m**
Terreno	**sabbia:** $\varphi' = 32°,\ c = 0$
Peso dell'unità di volume	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(sopra),** $\gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(sotto la falda freatica)**
Carico	**verticale, centrato**

RICHIESTO

Determinare i valori di **N_c, N_q, N_γ** insieme a **F_{cs}, F_{qs}, $F_{\gamma s}$** e **F_{qd}, F_{cd}**.



Soluzione

SOLUZIONE

1 Fattori di capacità portante (φ′ = 32°, tan 32° = 0.6249)

$$N_q = e^{\pi \tan 32^\circ} \tan^2(61^\circ) = 23.18 \qquad N_c = \frac{23.18 - 1}{0.6249} = 35.49$$

$$N_\gamma = 2(23.18 + 1)(0.6249) = \mathbf{30.21}$$

2 Fattori di forma (De Beer; B/L = 1)

$$F_{cs} = 1 + \frac{23.18}{35.49} = \mathbf{1.653} \qquad F_{qs} = 1 + \tan 32^\circ = \mathbf{1.625} \qquad F_{\gamma s} = 1 - 0.4 = \mathbf{0.600}$$

3 Fattori di profondità (Hansen; D_f/B = 1.0/1.2 = 0.833 ≤ 1)

$$F_{qd} = 1 + 2(0.6249)(0.2210)(0.833) = \mathbf{1.230} \qquad F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \varphi} = \mathbf{1.241}$$

Uguali ai coefficienti della presentazione di Meyerhof: Vesic non li ha modificati.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Esponente che tiene conto della forma della fondazione e della direzione del carico

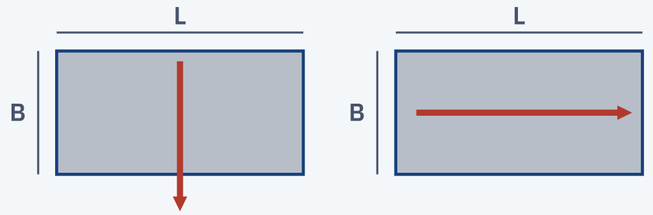
TEORIA

Nei fattori di inclinazione del carico di Meyerhof l'esponente è costante (2), e anche in quelli di Hansen (5). Quelli di Vesic dipendono dal **rapporto B/L** della fondazione e da **quale lato** è **parallelo** al carico orizzontale:

$$m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L} \quad (h \parallel B) \qquad m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B} \quad (h \parallel L)$$

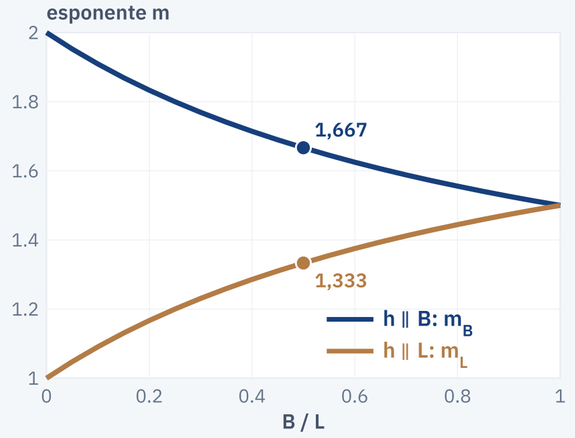
Fondazione continua (B/L → 0): **m_B = 2**, **m_L = 1**. Nella fondazione quadrata le due direzioni sono uguali: m = 1.5.

Quando la stessa fondazione rettangolare è caricata in due direzioni, m è diverso: **per un carico parallelo al lato corto l'esponente è maggiore** e i coefficienti diminuiscono più rapidamente. Nessuno degli altri metodi di questa sezione opera questa distinzione.



carico parallelo a B
m = m_B = 1,667

carico parallelo a L
m = m_L = 1,333



Traccia

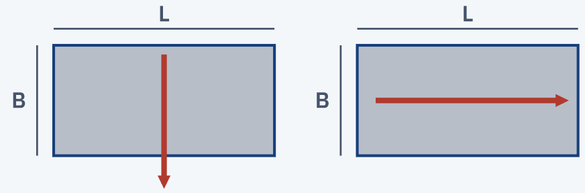
ESEMPIO

Dati

Fondazioni	**(a) quadrata 1.2 × 1.2 m · (b) continua · (c) rettangolare 1.2 × 2.4 m (B/L = 0.5)**
Carico	**componente orizzontale parallela a B e parallela a L**

RICHIESTO

Determinare il valore di **m** per ciascuna fondazione e per ciascuna direzione.



Soluzione

SOLUZIONE

1 (a) Quadrata (B/L = 1) e (b) continua (B/L → 0)

$$(\text{a}):\ m = \frac{2+1}{1+1} = \mathbf{1.500}\ \ (\text{in due direzioni})$$

$$(\text{b}):\ m_B = \frac{2+0}{1+0} = \mathbf{2.000}, \quad m_L = \mathbf{1.000}$$

2 (c) Rettangolo 1.2 × 2.4 m (B/L = 0.5; L/B = 2)

$$m_B = \frac{2+0.5}{1+0.5} = \mathbf{1.667} \qquad m_L = \frac{2+2}{1+2} = \mathbf{1.333}$$

Per la stessa fondazione rettangolare, se il carico è parallelo al lato corto m = 1.667, se è parallelo al lato lungo 1.333. Se il carico è diretto secondo il lato corto, il fattore di inclinazione $(1 - x)^m$ diminuisce più rapidamente: questa direzione è **più sfavorevole**.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Vesic: $(1 - h/(v + c \cot \varphi))^m$

TEORIA

h = H/A e v = V/A, nella stessa forma di Hansen, sono le pressioni **della stessa condizione di carico** (v = q_{app}; q_{app} è richiesto quando h > 0):

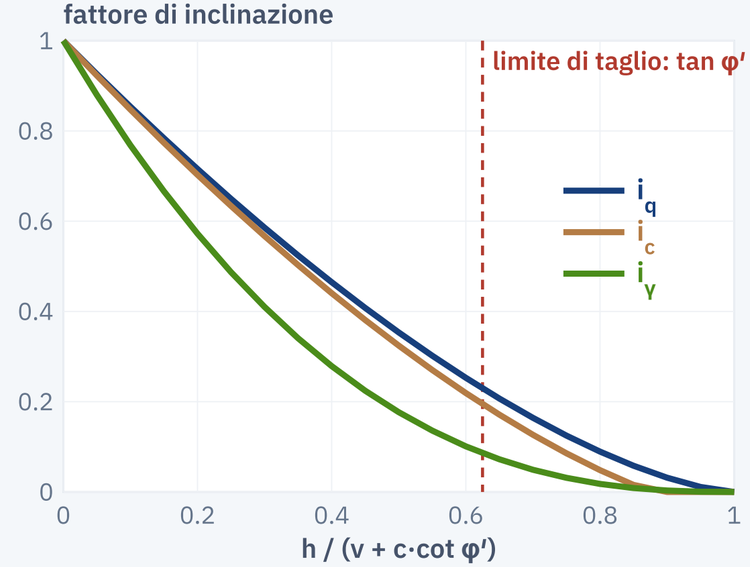
$$i_q = \left(1 - \frac{h}{v + c\cot\varphi}\right)^m \qquad i_\gamma = \left(1 - \frac{h}{v + c\cot\varphi}\right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \; (\geq 0)$$

$$\varphi = 0: \quad i_c = 1 - \frac{m\,h}{c\,N_c}, \qquad i_q = i_\gamma = 1$$

h > v tan φ + c: la base scorre; il modulo segnala un'avvertenza (lo scorrimento è verificato anche separatamente). **h ≥ v + c cot φ** (per φ = 0, **h ≥ c**): il modulo si arresta.

i_C non diventa negativo, ma viene mantenuto a zero. Nel grafico il limite di scorrimento è la retta h/(v + c cot φ) = tan φ.



Traccia

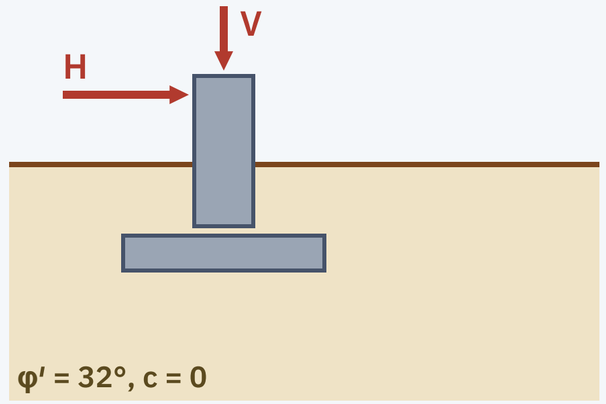
ESEMPIO

Dati

Fondazione, terreno	**quadrata 1.2 × 1.2 m,** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$ **(modello del modulo);** $N_q = 23.18$
Condizione di carico	$v = q_{apply} = 150\ \mathrm{kPa},\ h = 30\ \mathrm{kPa}$ **(ek: 60, 90, 120)**
Direzione del carico	**fondazione quadrata: m = 1.5**

RICHIESTO

Determinare i coefficienti $\mathbf{i_q}$, $\mathbf{i_c}$, $\mathbf{i_\gamma}$ e verificare il limite di scorrimento.



Soluzione (1/2)

SOLUZIONE

1 Rapporto (c = 0: v + c cot φ = v = 150 kPa)

$$x = \frac{h}{v + c\cot\varphi} = \frac{30}{150} = \mathbf{0.200} \qquad m = 1.5$$

2 Coefficienti

$$i_q = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716} \qquad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} = 0.716 - \frac{0.284}{22.18} = \mathbf{0.703}$$

3 Contorno di scorrimento

$$v\tan\varphi + c = 150(0.6249) = \mathbf{93.7}\ \text{kPa} \geq h = 30 \ \Rightarrow\ \text{senza scorrimento}$$

$$(h \geq v = 150 \text{ si ha equilibrio se})$$

Soluzione (2/2)

SOLUZIONE

h (kPa)	h/(v + c cot φ)	i_c	i_q	i_γ	verifica allo scorrimento
0	0.00	1.000	1.000	1.000	verificato
30	0.20	0.703	0.716	0.572	verificato
60	0.40	0.441	0.465	0.279	verificato
90	0.60	0.219	0.253	0.101	verificato
120	0.80	0.048	0.089	0.018	**avvertenza: h > 93.7**

h = 30 kPa (20% di v) riduce il termine q del **28%** e il termine di peso proprio del **43%**. Poiché l'esponente è m + 1, il **termine di peso proprio è sempre il più influenzato**. Se c = 5 kPa, si avrebbe v + c cot φ = 158.0 kPa e i_q = 0.729.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

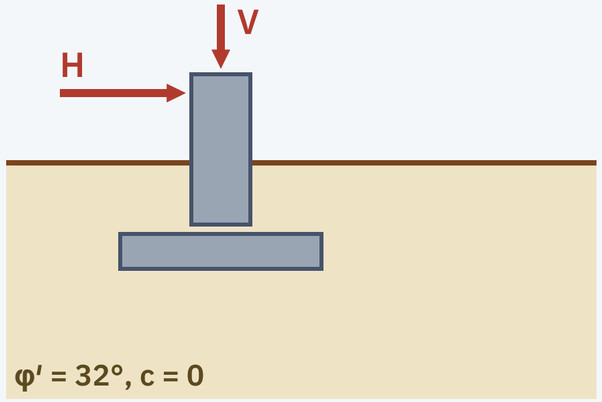
ESEMPIO

Dati

Fondazione, terreno	**quadrata 1.2 m,** $\varphi' = 32°,\ c = 0$
Condizione di carico	$v = 150\ \mathrm{kPa},\ h = 30\ \mathrm{kPa}$**: rispetto alla verticale** $\beta = \tan^{-1}(30/150) = 11.31°$

RICHIESTO

Determinare i valori di i_q e i_γ con i metodi di Meyerhof, Hansen e Vesic e confrontarli.



Soluzione

SOLUZIONE

1 Meyerhof (con angolo β), Hansen (x = h/v = 0.2) e Vesic (m = 1.5)

$$\text{Meyerhof}: F_{;qi} = \left(1 - \frac{11.31}{90}\right)^2 = \mathbf{0.764}, \quad F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{11.31}{32}\right)^2 = \mathbf{0.418}$$

$$\text{Hansen}: i_{;q} = (1 - 0.5x)^5 = \mathbf{0.590}, \quad i_\gamma = (1 - 0.7x)^5 = \mathbf{0.470}$$

$$\text{Vesic}: i_{;q} = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716}, \quad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572}$$

	i_q	i_γ
Meyerhof	0.764	0.418
Hansen	0.590	0.470
Vesic	**0.716**	**0.572**

Ogni coefficiente deve essere impiegato insieme ai propri N_γ e fattori di forma. Il valore i_q di Vesic è prossimo a quello di Meyerhof, mentre i_γ è il più alto dei tre.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

I coefficienti propri di Vesic

TEORIA

Vesic (1975) propose coefficienti propri anche per l'inclinazione del piano di posa e l'inclinazione del piano di campagna. Per φ > 0 il coefficiente di coesione è derivato dal coefficiente di sovraccarico (η e ω nell'esponente in radianti):

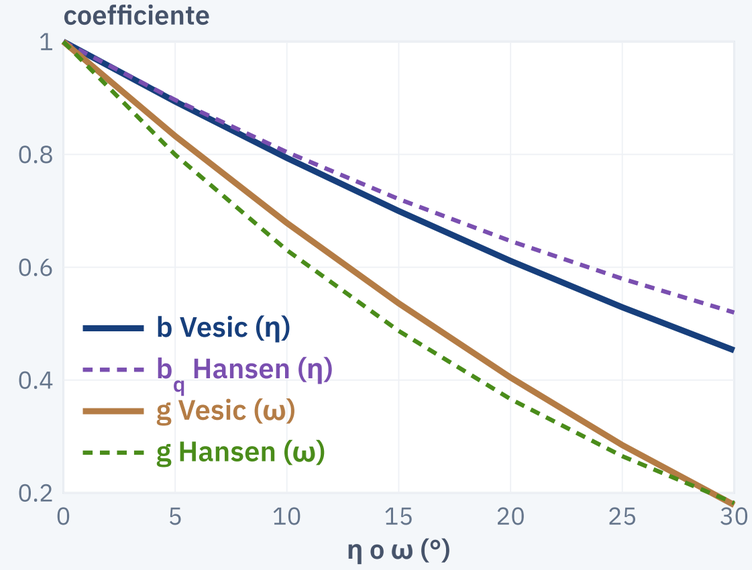
$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \tan\varphi)^2 \qquad g_q = g_\gamma = (1 - \tan\omega)^2$$

$$\varphi > 0: \quad b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_q - 1} \qquad g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_q - 1}$$

$$\varphi = 0: \quad b_c = 1 - \frac{2\eta}{\pi + 2} \quad g_c = 1 - \frac{2\omega}{\pi + 2} \quad b_q = b_\gamma = 1$$

I coefficienti b_q, b_γ di Hansen sono esponenziali ($e^{-2\eta \tan\varphi}$) e $g_q = (1 - 0.5 \tan\omega)^5$; per piccoli angoli sono vicini, mentre al crescere di ω divergono (figura).

Se ω > φ il pendio non è in equilibrio da solo: il modulo si arresta. η e ω si inseriscono al massimo pari a 45° ($(1 - \tan\omega)^2$ vi si annulla).



Traccia

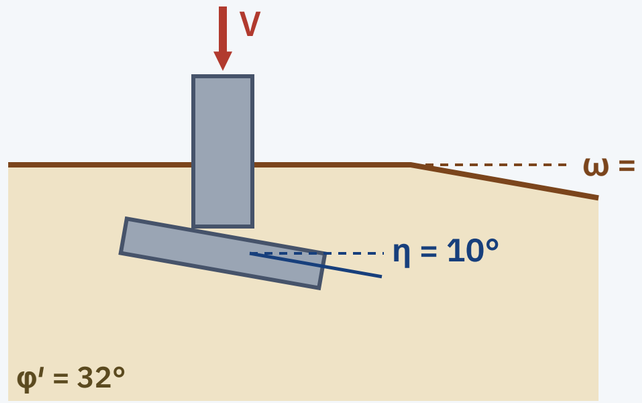
ESEMPIO

Dati

Terreno	$\varphi' = 32^\circ,\ \tan\varphi = 0.6249,\ N_q = 23.18$
Inclinazione del piano di posa	**η = 10° (0.1745 rad)**
Inclinazione del piano di campagna	**ω = 10°**
Confronto	**Coefficienti di Hansen**

RICHIESTO

Trovare i valori b_c, b_q, b_γ e g_c, g_q, g_γ di Vesic; confrontarli con quelli di Hansen; scrivere le forme per φ = 0.



Soluzione (1/2)

SOLUZIONE

1 Inclinazione del piano di posa η = 10° (Vesic)

$$b_q = b_\gamma = (1 - 0.1745 \cdot 0.6249)^2 = \mathbf{0.7938} \qquad b_c = 0.7938 - \frac{1 - 0.7938}{23.18 - 1} = \mathbf{0.7845}$$

2 Inclinazione del piano di campagna ω = 10° (tan 10° = 0.1763)

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.1763)^2 = \mathbf{0.6784} \qquad g_c = 0.6784 - \frac{1 - 0.6784}{23.18 - 1} = \mathbf{0.6639}$$

3 Forme per φ = 0 (per 10°)

$$b_c = 1 - \frac{2(0.1745)}{\pi + 2} = \mathbf{0.932} \qquad g_c = 1 - \frac{2(0.1745)}{\pi + 2} = \mathbf{0.932} \qquad b_q = b_\gamma = 1$$

Soluzione (2/2)

SOLUZIONE

	b_c	b_q	b_γ	g_c	$g_q = g_\gamma$
Vesic	0.784	0.794	0.794	0.664	0.678
Hansen	0.932	0.804	0.745	0.932	0.630

b_q e g_q sono **vicini** nei due metodi (0.794 e 0.804; 0.678 e 0.630), ma **i coefficienti di coesione sono molto diversi**: i valori b_c, g_c di Vesic derivano dal coefficiente di sovraccarico (0.784 e 0.664), quelli di Hansen sono 1 – angolo/147° (0.932). In sabbia con c = 0 questa differenza non influisce sul risultato.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Combinazione dell'equazione e verifica

TEORIA

Sebbene le sei correzioni possano apparire impegnative, **nel caso ordinario sono tutte pari a 1**: con i valori predefiniti del modulo (h = 0, η = 0, ω = 0) si ha i = b = g = 1 e l'equazione coincide con l'equazione generale di Meyerhof. q_u è la pressione verticale al collasso; il modulo tiene distinti il carico lordo e quello netto:

$$q_{u,net} = q_u - q \qquad q_{all,g} = \frac{q_u}{FS} \qquad q_{all,n} = \frac{q_{u,net}}{FS}$$

La pressione applicata $q_{applicata}$ è la **pressione lorda verticale alla base** per lo stesso caso di carico (V/A). La fondazione risulta accettabile alle seguenti condizioni:

$$q_{apply} \leq q_{all,g} \qquad FS_{\text{effettivo}} = \frac{q_u}{q_{apply}} \qquad q_{apply} - q \leq q_{all,n}$$

Carico verticale ammissibile $Q_{all} = q_{all,g} \cdot A$. Per h > 0 si deve inserire q_{appl}.

QUANDO IL COEFFICIENTE È PARI A 1?

Coefficiente	Caso in cui è 1
F_s	fondazione continua (B/L = 0)
F_d	D_f = 0 (base in superficie)
i	h = 0 (carico verticale)
b	η = 0 (base liscia)
g	ω = 0 (piano di campagna orizzontale)

Coefficienti invariati; q e γ variano

TEORIA

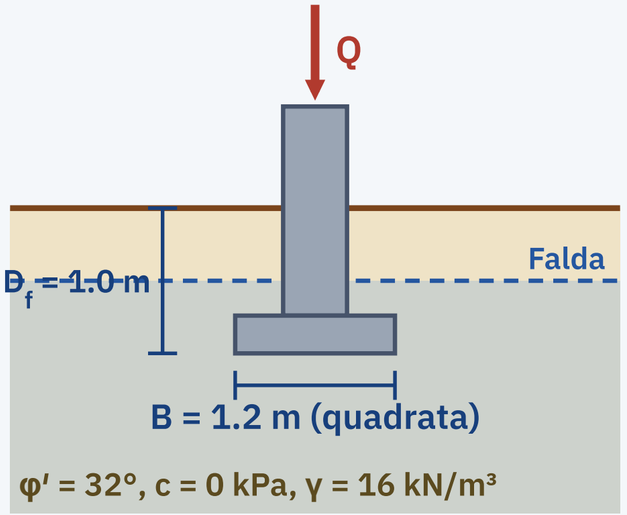
La falda freatica è trattata con gli **stessi due casi** degli altri moduli di questa sezione. Sotto la falda freatica il peso dell'unità di volume efficace è $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ ($\gamma_w = 9.81$). D_w è la profondità della falda freatica dalla superficie:

$$\text{I } (D_w \le D_f):\ q = \gamma D_w + \gamma'(D_f - D_w),\ \ \gamma \to \gamma' \text{ (terzo termine)}$$

$$\text{III } (D_f < D_w \le D_f + B):\ q = \gamma D_f,\ \ \bar{\gamma} = \frac{1}{B}\left[\gamma D + \gamma'(B - D)\right],\ D = D_w - D_f$$

Per $D_w = D_f$ si ha $q = \gamma D_f$ e nel terzo termine si utilizza γ'.

L'acqua a profondità maggiore di B sotto la base è **inefficace**. L'acqua interviene solo tramite **q e γ**; F, i, b, g restano invariati.



Traccia

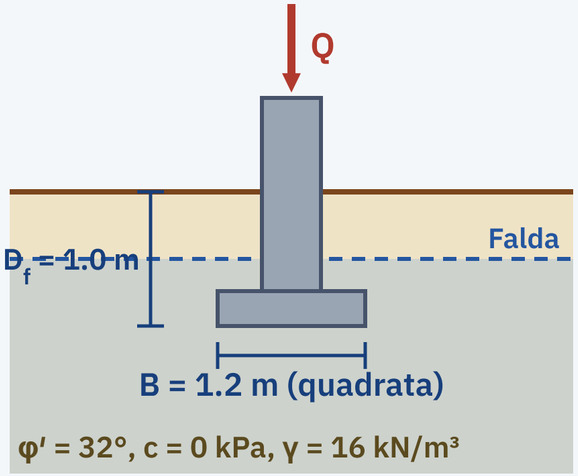
ESEMPIO

Dati

Fondazione	**quadrata, B = L = 1.2 m, profondità del piano di posa D_f = 1.0 m**
Terreno	**sabbia:** $\varphi' = 32°,\ c = 0$
Peso dell'unità di volume	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(sopra),** $\gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(sotto la falda freatica)**
Acqua sotterranea	**D_W = 0.5 m (caso I)**
Carico	**verticale, centrato**
Sicurezza	**FS = 3**

RICHIESTO

q_u, q_{all} lorda e netta e il carico ammissibile **Q_{all}**; poi q_u per c = 5 kPa.



Soluzione (1/2)

SOLUZIONE

1 Coefficienti (Esempio 1: φ′ = 32°; B/L = 1; D_f/B = 0.833; h = η = ω = 0)

$$N_q = 23.18,\ N_\gamma = 30.21 \qquad F_{qs} = 1.625,\ F_{\gamma s} = 0.6,\ F_{qd} = 1.230 \qquad i = b = g = 1$$

2 Caso I: q = 16(0.5) + (19.5 − 9.81)(0.5); γ′ = 9.69 kN/m³ (nel terzo termine)

$$q = \mathbf{12.845}\ \mathrm{kPa} \qquad \gamma' = \mathbf{9.69}\ \mathrm{kN/m^3}$$

Soluzione (2/2)

SOLUZIONE

3 Capacità portante (c = 0: termine di coesione assente)

$$q_u = (12.845)(23.18)(1.625)(1.230) + \tfrac{1}{2}(9.69)(1.2)(30.21)(0.6)$$
$$= 595.1 + 105.4 = \mathbf{700.46}\ \text{kPa}$$

4 Pressione e carico ammissibili (A = 1.2² = 1.44 m²)

$$q_{all,g} = \frac{700.46}{3} = \mathbf{233.49}\ \text{kPa} \qquad q_{all,n} = \frac{700.46 - 12.845}{3} = 229.20\ \text{kPa}$$

$$Q_{all} = 233.49(1.44) = \mathbf{336.2}\ \text{kN}$$

Con gli stessi dati di input (β = 0) si ottiene q_u = **700.46 kPa** mediante l'equazione generale di Meyerhof: le due equazioni sono **esattamente identiche**. Se c = 5 kPa, il termine di coesione aggiungerebbe 363.9 kPa e si avrebbe q_u = 1,064.3 kPa.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

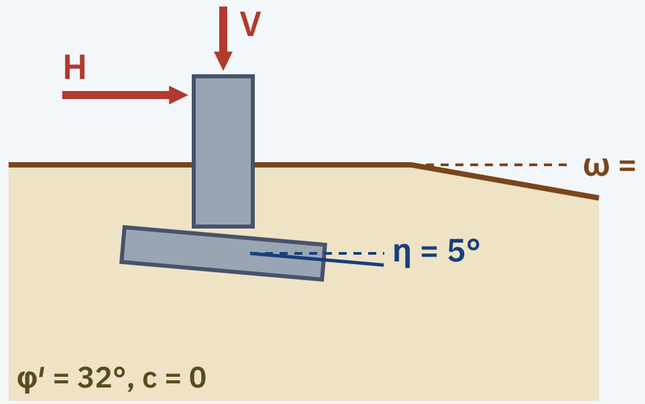
ESEMPIO

Dati

Fondazione	**quadrata, B = L = 1.2 m, profondità del piano di posa D_f = 1.0 m**
Terreno	**sabbia:** $\varphi' = 32°,\ c = 0$
Peso dell'unità di volume	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(sopra),** $\gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(sotto la falda freatica)**
Acqua sotterranea	**D_w = 0.5 m**
Condizione di carico	$v = q_{apply} = 90\ \mathrm{kPa},\ h = 18\ \mathrm{kPa}$ **(h ∥ B)**
Base, terreno	**η = 5°, ω = 10°**
Sicurezza	**FS = 3**

RICHIESTO

Determinare i valori di **q_u** e **q_{all}**; verificare se la fondazione soddisfa la verifica per q_{app} = 90 kPa e controllare lo scorrimento.



Soluzione (1/3)

SOLUZIONE

1 Coefficienti di pendio (x = h/v = 18/90 = 0.2; m = 1.5)

$$i_q = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716} \qquad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572} \qquad i_c = 0.703$$

2 Fattori di inclinazione del piano di posa e del piano di campagna (η = 5° = 0.0873 rad; ω = 10°)

$$b_q = b_\gamma = (1 - 0.0873 \cdot 0.6249)^2 = \mathbf{0.894} \qquad b_c = 0.889$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - \tan 10^\circ)^2 = \mathbf{0.678} \qquad g_c = 0.664$$

Soluzione (2/3)

SOLUZIONE

3 Tre termini (c = 0; coefficienti F come nell'Esempio 6)

$$q\text{ termine} = (12.845)(23.18)(1.625)(1.230)(0.716)(0.894)(0.678) = 258.2$$

$$\gamma\text{ termine} = \tfrac{1}{2}(9.69)(1.2)(30.21)(0.6)(0.572)(0.894)(0.678) = 36.6$$

4 Capacità portante e pressione ammissibile

$$q_u = 258.2 + 36.6 = \mathbf{294.8}\ \text{kPa} \qquad q_{all,g} = \frac{294.8}{3} = \mathbf{98.3}\ \text{kPa}$$

Soluzione (3/3)

SOLUZIONE

5 Verifica (q_{appl} = 90 kPa)

$$q_{apply} = 90 \leq q_{all,g} = 98.3 \;\Rightarrow\; \textbf{valido}$$

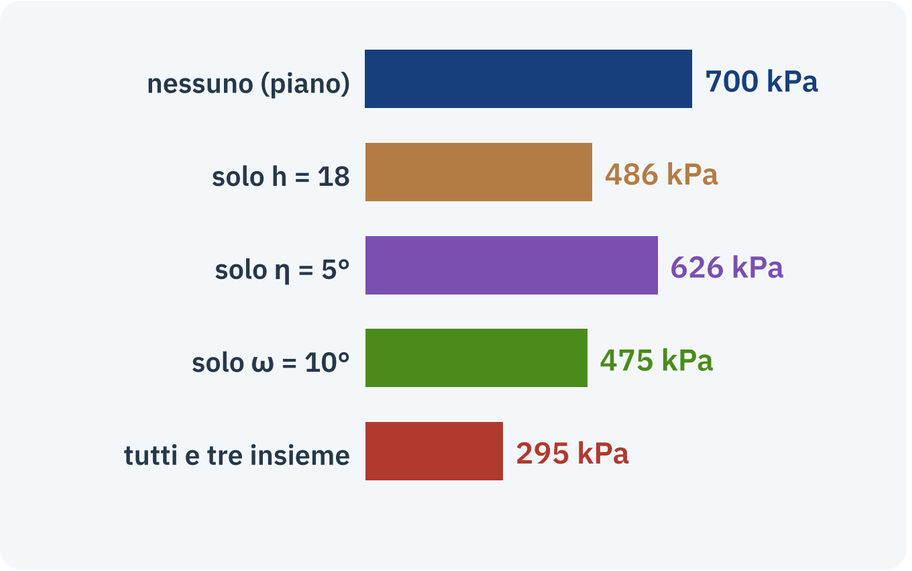
$$FS_{\text{effettivo}} = \frac{294.8}{90} = \mathbf{3.28} \geq 3$$

$$q_{apply} - q = 77.2 \leq q_{all,n} = 94.0 \;\Rightarrow\; \textbf{valido}$$

6 Contorno di scorrimento

$$h = 18 \leq v \tan\varphi = 56.2\ \text{kPa} \;\Rightarrow\; \text{senza scorrimento}$$

Il q_u di 700 kPa del modello con piano di campagna orizzontale scende a **295 kPa** (58%) in questa condizione di carico. Singolarmente: inclinazione del piano di campagna −32%, carico orizzontale −31%, inclinazione del piano di posa −11%. La fondazione è verificata in tutte e tre le condizioni (FS = 3.28).



Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

φ = 0: le forme stesse dei coefficienti di coesione

TEORIA

Per φ = 0 si ha $N_c = 5.14$, $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$; il termine del peso proprio si annulla e il termine del sovraccarico diventa solo q g_q. In questo modulo il termine di coesione resta **moltiplicativo** (a differenza della forma additiva di Hansen):

$$q_u = c\,N_c\,F_{cs}F_{cd}\,i_c\,b_c\,g_c + q\,g_q$$

Le forme con φ = 0 dei coefficienti di coesione sono riportate nella tabella: per l'inclinazione, **$i_c = 1 - m\,h/(c\,N_c)$**; per l'inclinazione del piano di posa e del piano di campagna, **1 − 2·angolo/(π + 2)** (angolo in radianti).

Se **h ≥ c** la base scorre e il modulo si interrompe. Per φ = 0, $F_{cs} = 1 + (B/L)/5.14$ ($N_q/N_c = 1/5.14$) e $F_{cd} = 1 + 0.4\,k$.

CASI φ = 0

Coefficiente	Valore
N_c	5.14
F_{cs}	$1 + (B/L)/5.14$
F_{cd}	$1 + 0.4\,k$
i_c	$1 - m\,h/(c\,N_c)$
b_c	$1 - 2\eta/(\pi + 2)$
g_c	$1 - 2\omega/(\pi + 2)$
g_q	$(1 - \tan\omega)^2$

Traccia

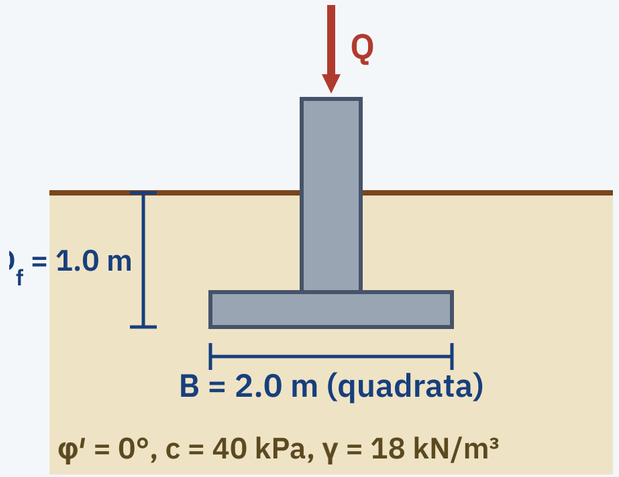
ESEMPIO

Dati

Fondazione	**quadrata B = L = 2 m, D_f = 1 m**
Terreno	**argilla:** $\varphi = 0,\ c_u = 40\ \mathrm{kPa},\ \gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3}$**; assenza di falda freatica**
Casi	**(a) carico verticale · (b)** $v = 100,\ h = 10\ \mathrm{kPa}$ **· (c)** $h = 10$ **e** $\eta = \omega = 10^\circ$

RICHIESTO

Determinare il valore di q_u per ciascun caso.



Soluzione (1/2)

SOLUZIONE

1 (a) Carico verticale: F_{cs} = 1 + 1/5.14; F_{cd} = 1 + 0.4(0.5); q = 18 kPa

$$q_u = 40(5.14)(1.195)(1.200) + 18 = 294.72 + 18 = \mathbf{312.72}\ \text{kPa}$$

2 (b) h = 10 kPa, c = 40 (m = 1.5)

$$i_c = 1 - \frac{1.5(10)}{40(5.14)} = \mathbf{0.927} \ \Rightarrow\ q_u = 273.22 + 18 = \mathbf{291.22}\ \text{kPa}$$

Soluzione (2/2)

SOLUZIONE

3 (c) h = 10, η = ω = 10°: $b_c = g_c = 1 - 2(0.1745)/(\pi + 2) = 0.932$; $g_q = (1 - \tan 10°)^2$

$$q_u = 40(5.14)(1.195)(1.200)(0.927)(0.932)(0.932) + 18(0.678) = 237.4 + 12.2 = \mathbf{249.6}\ \text{kPa}$$

Condizione	$c\,N_c F_{cs} F_{cd} \cdot (i\ b\ g)$	$q\,g_q$	q_u (kPa)
(a) verticale	294.7	18.0	**312.7**
(b) h = 10	273.2	18.0	**291.2**
(c) h, η, ω	237.4	12.2	**249.6**

Un carico di soli h = 10 kPa riduce la capacità portante del 7%, e insieme a h l'inclinazione del piano di posa e del piano di campagna la riducono del 20%. La forma additiva di Hansen fornisce 305.84 kPa per lo stesso caso verticale (presentazione di Hansen): i due metodi concordano entro il 2%.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

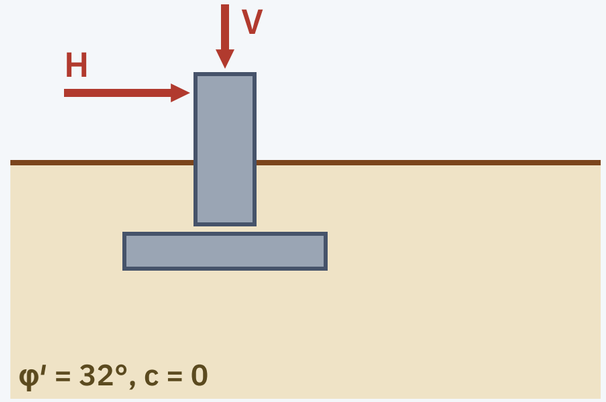
ESEMPIO

Dati

Fondazione	**quadrata, B = L = 1.2 m, profondità del piano di posa D_f = 1.0 m**
Terreno	**sabbia:** $\varphi' = 32°,\ c = 0$
Peso dell'unità di volume	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(sopra),** $\gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(sotto la falda freatica)**
Acqua sotterranea	**D_w = 0.5 m**
Condizione di carico	$v = 150\ \mathrm{kPa},\ h = 30\ \mathrm{kPa}$**;** $\beta = 11.31°$ **per Meyerhof**

RICHIESTO

Confrontare termine per termine i valori di q_u delle due equazioni per il carico verticale e per questo carico inclinato.



Soluzione (1/2)

SOLUZIONE

Carico verticale	Vesic	Meyerhof
Termine q	595.1	595.1
Termine γ	105.4	105.4
q_u (kPa)	**700.46**	**700.46**

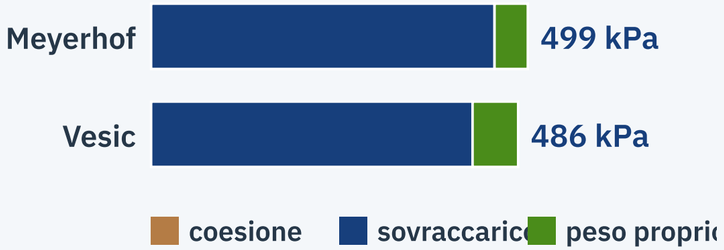
In assenza di inclinazione del carico, del piano di posa e del piano di campagna, l'equazione di Vesic è **esattamente identica** all'equazione generale di Meyerhof (700.46 kPa): la divergenza di Vesic si manifesta solo nei casi inclinati. Questo è il percorso di verifica interno del modulo.

Soluzione (2/2)

SOLUZIONE

Carico inclinato	Vesic (m = 1.5)	Meyerhof (β = 11.31°)
i_q / F_{qi}	0.716	0.764
i_γ / $F_{\gamma i}$	0.572	0.418
Termine q	425.8	454.9
Termine γ	60.3	44.1
q_u (kPa)	**486.1**	**499.0**

Con carico inclinato la differenza è piccola: **2.6%** (Vesic è inferiore). Il fattore $F_{\gamma i}$ di Meyerhof riduce di più e il suo F_{qi} di meno; poiché il termine q è dominante, i risultati sono vicini.



Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Sintesi

Punti chiave

L'**equazione di Vesic** ha la stessa struttura dell'equazione di Hansen; assume così come sono i coefficienti di **forma di De Beer** e di **profondità di Hansen**, e $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$

Il suo contributo: l'esponente di inclinazione m e i coefficienti di inclinazione del piano di posa b e del piano di campagna g

Inclinazione: $i_q = (1 - h/(v + c\cot\varphi))^m$, $i_\gamma = (\ldots)^{m+1}$; $m = (2 + B/L)/(1 + B/L)$ ($h \parallel B$) oppure $(2 + L/B)/(1 + L/B)$ ($h \parallel L$); per una fondazione continua $m_B = 2$, $m_L = 1$

Inclinazione del piano di posa $b_q = b_\gamma = (1 - \eta\tan\varphi)^2$; **inclinazione del piano di campagna** $g_q = g_\gamma = (1 - \tan\omega)^2$; per $\varphi > 0$, b_c, g_c dal fattore di sovraccarico, per $\varphi = 0$, $1 - 2\cdot\text{angolo}/(\pi + 2)$

Limiti: $h > v\tan\varphi + c$ avvertenza di scorrimento; $h \geq v + c\cot\varphi$ (per $\varphi = 0$, $h \geq c$) quiete; $\omega > \varphi$ quiete

Con i = b = g = 1 l'equazione è **l'equazione generale di Meyerhof**; la **falda freatica** modifica solo q e γ

Verifica: $q_{app} \leq q_{amm,g}$, $FS_{effettivo}$ e netta; i coefficienti di ciascun metodo si utilizzano insieme alla propria N_γ

Bibliografia

L'equazione completa della capacità portante di Vesic — con l'esponente di inclinazione dipendente da B/L e i fattori specifici per il piano di posa inclinato — segue la pubblicazione di Vesic, A.S., "Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 1973, come riportato coerentemente nelle principali opere di riferimento geotecnico (accanto alla formulazione di Hansen — si veda il modulo Hansen in questa sezione). La forma chiusa per Nγ utilizzata nell'intera sezione è quella di Vesic, come illustrato in Das, B.M., Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed., Cengage Learning, 2018 (Capitolo 16); i fattori di profondità sono quelli di Hansen, come riportati in Das, B.M., Principles of Foundation Engineering, 8th ed., Cengage Learning, 2016 (Tabella 4.3). Nel testo di questa pagina "la fonte" si riferisce al primo di questi due volumi e "la seconda fonte" al secondo.

NOTA

Tutti gli esempi numerici sono stati prodotti con la libreria di calcolo del modulo stesso; il modulo restituisce gli stessi valori.

GeoTerva

Calcoli geotecnici online

Dalla teoria alla pratica

Calcolare passo per passo in GeoTerva la fondazione dell'esempio di questa lezione: il modulo si apre con questo modello.

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