NUMERO: 2242A

ANNO: 2017

A P P U N T I

STUDENTE: Faraci Alessio

MATERIA: Corso di Fondazioni + Esercitazioni - Prof. Costanzo

FONDAZIONI

Alessio Faraci
237719

POLITECNICO
DI TORINO

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 3 di 94

CORSO DI FONDAZIONI

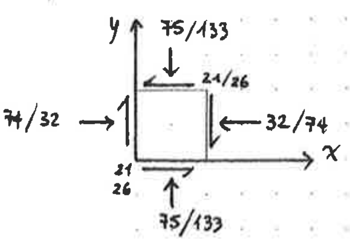
A.A. 2016/2017

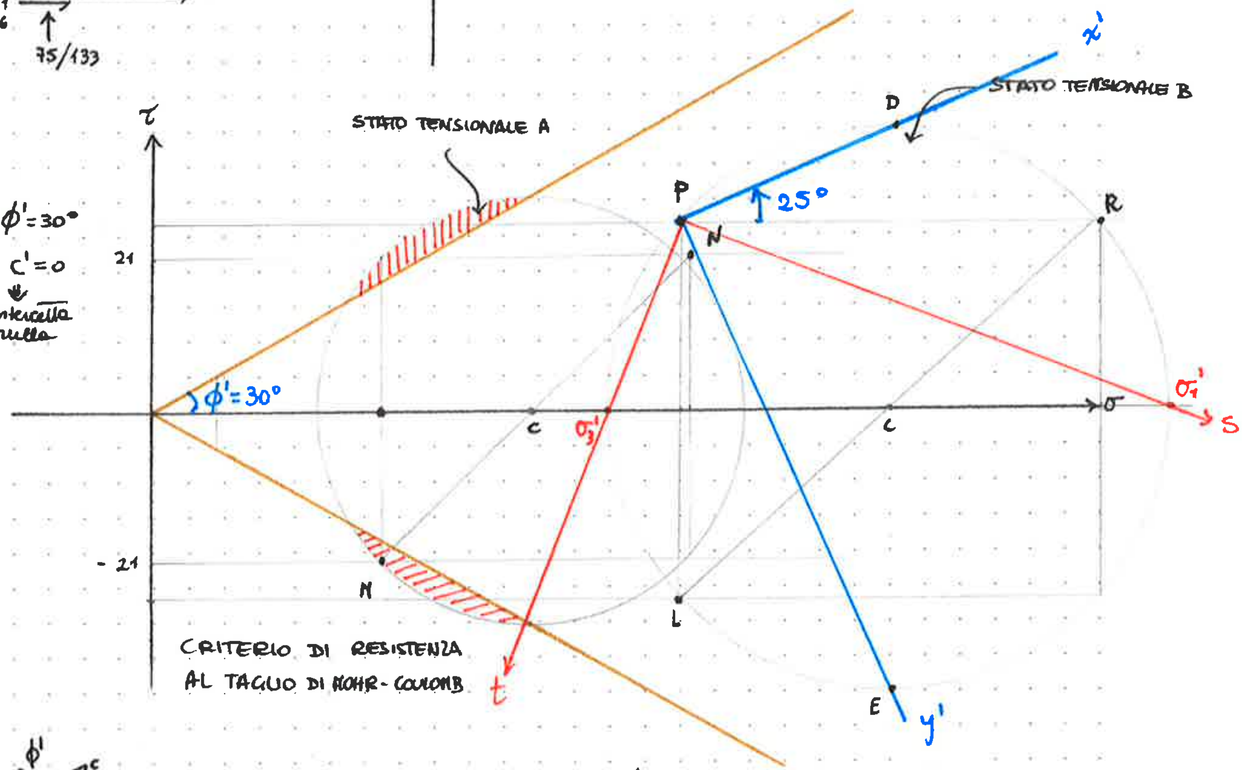
Prof. Daniele Costanzo

QUADERNO DELLE ESERCITAZIONI

Studente: Alessio Faraci
Matricola: 237719

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 5 di 94



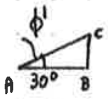


$\phi' = 30°$

$c' = 0$

⇓

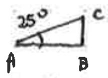
intercetta nulla



Se $BC = 0.5$ mm $\Rightarrow$ $AB = BC \cdot \cot g\, 30° = 0{,}87$ mm

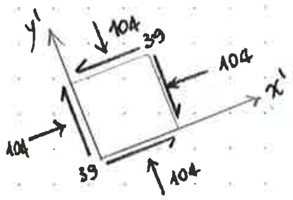
I valori di $[\sigma'_B]$ sono ammissibili (compatibile)

I valori di $[\sigma'_A]$ non sono ammissibili (non compatibile)



se $BC = 0.5$ mm $\Rightarrow$ $AB = BC \cdot \cot g\, 25° = 1{,}07$ mm

Graficamente si ricava $D\,(\underbrace{104}_{\sigma_{y'}},\ \underbrace{39}_{\tau_{y'x'}})$ $E\,(\underbrace{104}_{\sigma_{x'}},\ \underbrace{-39}_{\tau_{x'y'}})$



$$[\sigma'_B] = \begin{bmatrix} \sigma_{x'} & \tau_{x'y'} \\ \tau_{y'x'} & \sigma'_{y} \end{bmatrix}_B = \begin{bmatrix} 104 & 39 \\ 39 & 104 \end{bmatrix}_B \text{ kPa}$$

(s,t) piani principali $\rightarrow$ σ_1 e σ_3 tensioni principali

$\sigma_1 = 143$ kPa $\quad \sigma_3 = 64$ kPa

ESERCIZIO A2 (b): Tensioni geostatiche in un terreno stratificato in assenza di falda

PC

Ⓐ 4m $\phi'_A = 28°$, $\gamma_A = 18\ kN/m^3$, NC • A

Ⓑ 5m $\phi'_B = 28°$, $\gamma_B = 21\ kN/m^3$, NC • B

Ⓒ 1m $\phi'_c = 32°$ • C, $\gamma_c = 20\ kN/m^3$, OCR = 5

Calcolare e disegnare gli andamenti di σ'_{vo} e σ'_{ho}

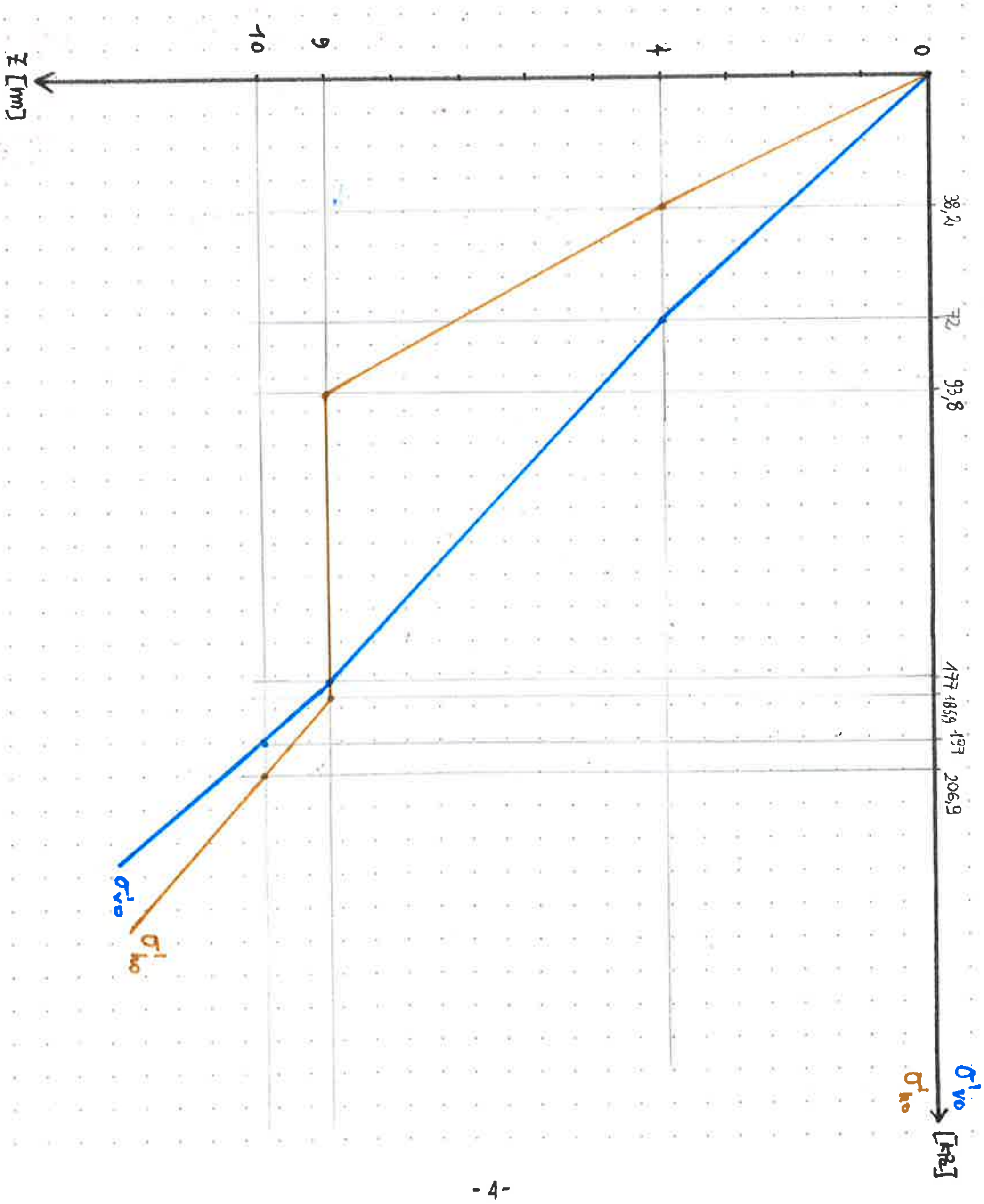
$K_{0,NC} = 1 - \text{sen}\,\phi'$ — Ⓐ 0.53, Ⓑ 0.53, Ⓒ 0.47

$K_{0,OC} = K_{0,NC} \cdot OCR^{0.5} \rightarrow 1{,}05 \leftarrow$ Ⓒ

PUNTO	σ'_{vo}	σ'_{ho}
A	72	38,2
B	177	(↑) 93,8 (↓) 185,9
C	197	206,9

$\sigma'_{vo} = \gamma \cdot z$ [kPa]

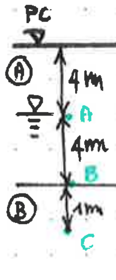
$\sigma'_{ho} = K_0 \cdot \sigma'_{vo}$ [kPa]



© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 9 di 94

▶ ESERCIZIO A3(b): Tensioni geostatiche in terreno stratificato con falda

Disegnare i grafici delle tensioni e della pressione relativa dell'H_2O



$\gamma_A = 19\ kN/m^3$
$\gamma_w \cong 10\ kN/m^3$
$\phi'_A = 30°$

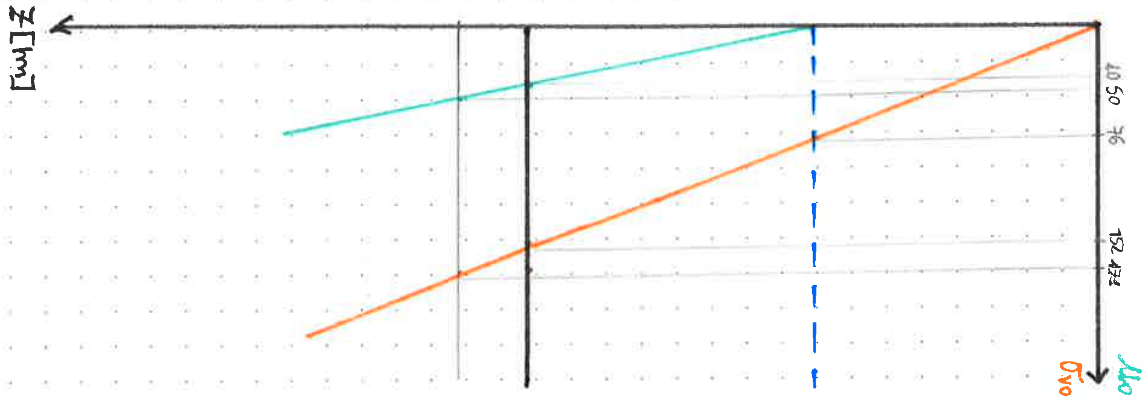
$\gamma_B = 19\ kN/m^3$
$\phi'_B = 30°$
$OCR = 6$

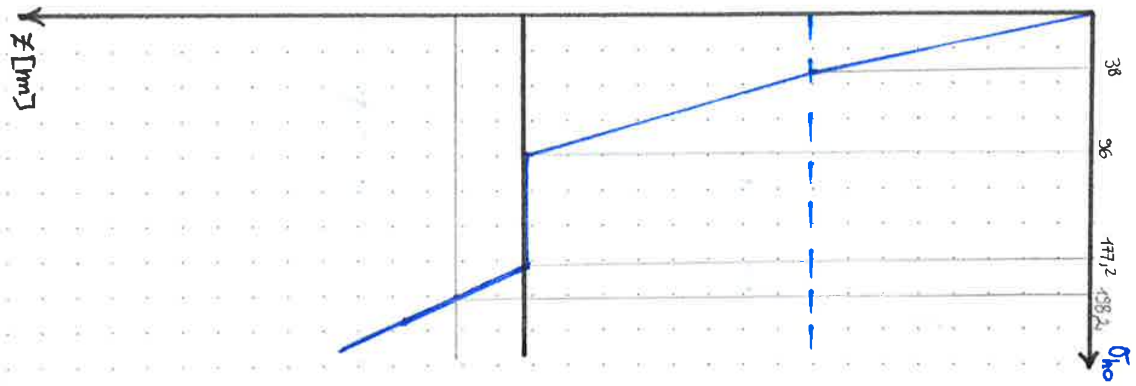
PUNTO	σ_{v0}	u_0	σ'_{v0}	K_0	σ'_{h0}	σ_{h0}
A	76	0	76	38	0.5	38
B	152	40	112	56 – 137,2	0.5 – 1,22	96 – 177,2
C	171	50	121	148,2	1,22	198,2

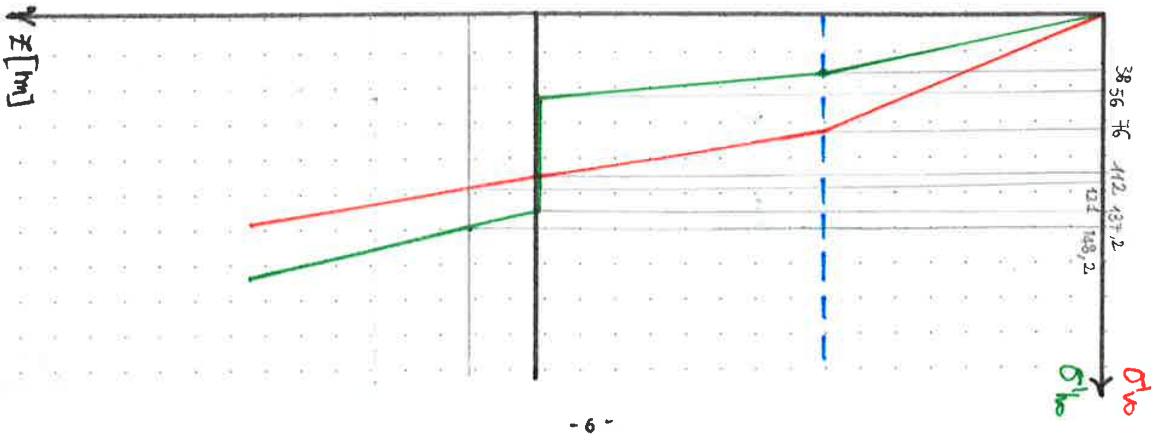
$\sigma_{v0} = \gamma \cdot z$ $\quad u_0 = \gamma_w \cdot z_w$ $\quad K_0 \begin{cases} NC = 1 - \sin\phi' \\ OC = K_{0,NC}\, OCR^{0.5} \end{cases}$

$\sigma'_{h0} = K_0\, \sigma_{v0}$ $\quad \sigma_{h0} = \sigma'_{h0} + u_0$

$\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_0$



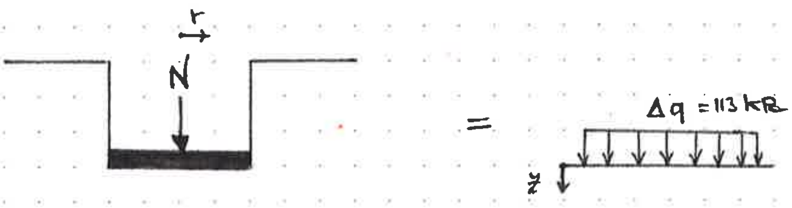




$$q_{ES} = \frac{N_{ES}}{A_f} = \frac{30\,000 \text{ kN}}{\pi\,(7.5)^2 \text{ m}^2} = 170 \text{ kPa}$$

$$\Delta q = q_{ES} - q_0 = 170 - 57 = 113 \text{ kPa}$$

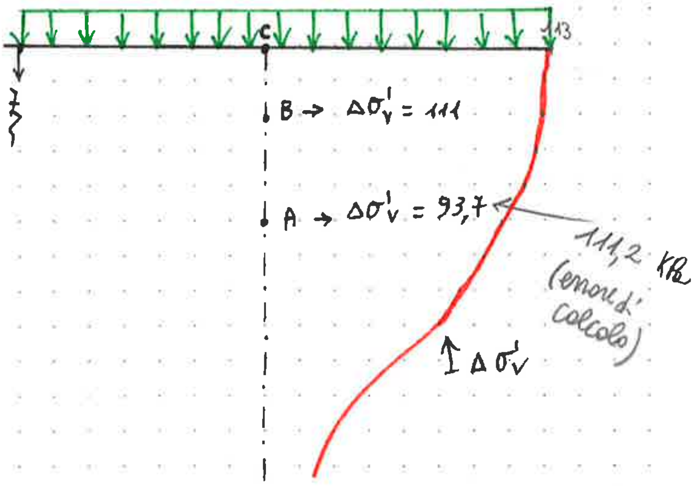
↑ carico netto in eccedenza alla tensione che già esisteva



Per calcolare $\Delta\sigma_A$ (variazione di tensione dovuta al carico) utilizziamo l'equazione di Boussinesq:

$$\Delta\sigma'_{v\,(r=0)} = \Delta q \left\{ 1 - \left[\left(\frac{r}{z} \right)^2 + 1 \right]^{-\frac{3}{2}} \right\}$$

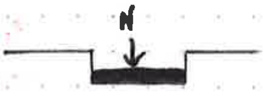
QUOTA z	$\Delta\sigma'_v$
1	112,4
2	111
3	107,2
4	101,2
5	93,7
6	85,5
7	77,1

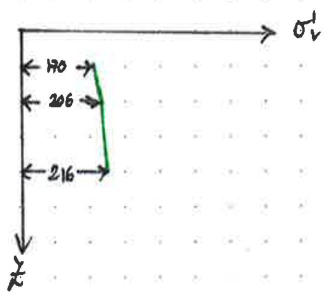


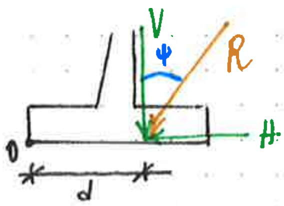
Quindi la tensione verticale efficace è data da:

$$\sigma'_v = \sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v \quad \text{(per ogni punto)}$$

PUNTO	QUOTA z	σ'_v
D	-	0
C	0	170
	1	
B	2	206
	3	
	4	
A	5	216
	6	
	7	







$$V = W_{TOT} + P_{AV}$$
$$H = P_{AH}$$

$$M_{stab} = W_{TOT} \cdot b'_0 + P_{AV} \cdot b''_0 = 887 + 46{,}3 \cdot 4 = 1072{,}2 \ \frac{kN\,m}{m}$$

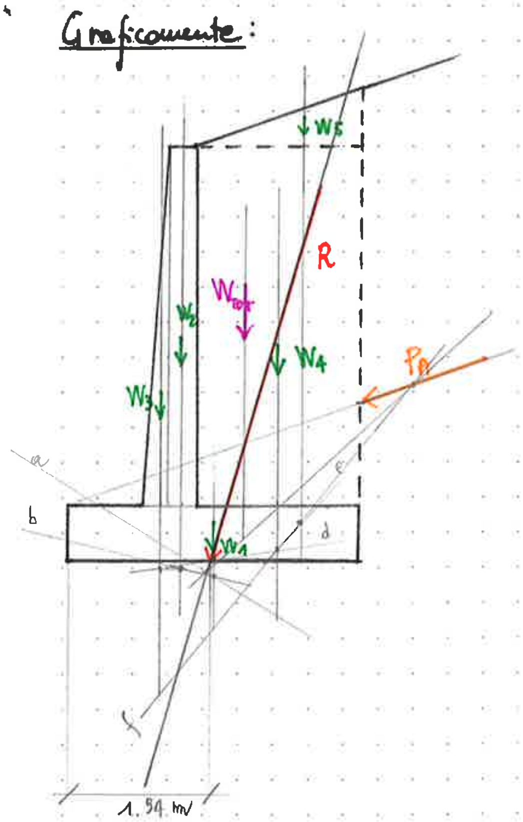
$$M_{rib} = P_{AH} \cdot b'''_0 = 127{,}2 \cdot 2{,}2 = 280 \ \frac{kN/m}{m}$$

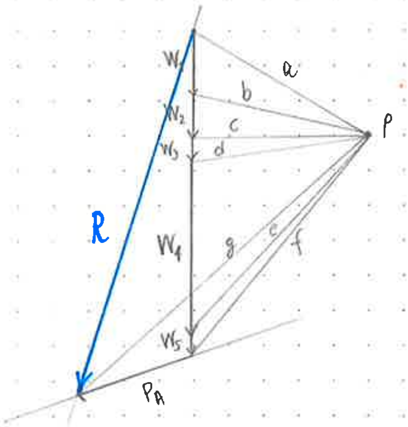
$$M_0 = M_{stab} - M_{rib} = 792{,}4 \ \frac{kN/m}{m}$$

$$d = \frac{M_0}{V} = \frac{792{,}4}{362{,}6 + 46{,}3} = 1{,}94 \ m$$

$$\psi = \mathrm{arctg} \ \frac{H}{V} = 17{,}3^\circ$$

Graficamente:





(2b) per $\phi' = 34°$

	N_γ	N_q
$\phi' = 34°$	41,06	29,44

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + q N_q = 1231,8 + 588,8 = 1820,6 \ \frac{kN}{m^2}$$

$$N_{lim} = q_{lim} \cdot A_b = 1820,6 \ \frac{kN}{\cancel{m^2}} \cdot 3 \ \frac{\cancel{m^2}}{m} = 5461,8 \ \frac{kN}{m}$$

$$FS = \frac{N_{lim}}{N_{ES}} = 3$$ **VERIFICA OK**

Analisi dei risultati ottenuti:

(1) Il termine dovuto al sovraccarico porta ad un incremento di 755 kPa per la q_{lim}, ovvero

$$\frac{755}{1689,3} \cong 45\%$$

(2a) Se non ci fosse stato il sovraccarico q

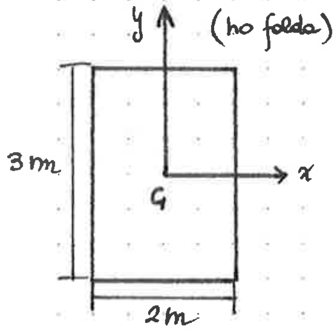
$FS = 2,8 < 3 \rightarrow$ VERIFICA NON SODDISFATTA
(ma posso accettare perché la condizione di rottura corrisponde a FS=1, dunque mi trovo 2,8 volte sopra tale condizione)

(2b) Se $\phi' = 34°$ il sovraccarico incide maggiormente:

$$\frac{588,8}{1231,8} \cong 48\%$$

Se non ci fosse $q \Rightarrow FS = 2 \rightarrow$ VERIFICA NON SODDISFATTA

ESERCIZIO 3: Fondazione a plinto su terreno incoerente



Valutare il FS nei confronti della capacità portante del plinto rettangolare per un carico di esercizio avente componenti (riferito a G) pari:

$$\begin{cases} N = 608 \text{ kN} \\ H_y = 44 \text{ kN} \\ M_x = 91 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_y = 426 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{cases}$$

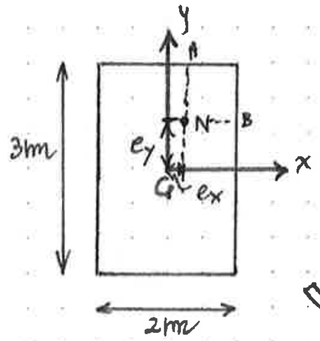
Il terreno è incoerente e caratterizzato dai seguenti parametri: $\begin{cases} \gamma_t = 19 \text{ kN/m}^3 \\ \phi' = 32^\circ \\ c' = 0 \end{cases}$

E per effetto del rinterro in fondazione si considera la presenza di un sovraccarico ai lati della fondazione di $q' = 10$ kPa

CONVENZIONE PER I MOMENTI: $\begin{cases} M_x = N \cdot e_x \\ M_y = N \cdot e_y \end{cases}$

$$M_x = N \cdot e_x \Rightarrow e_x = \frac{M_x}{N} = \frac{91}{608} = 0,15 \text{ m}$$

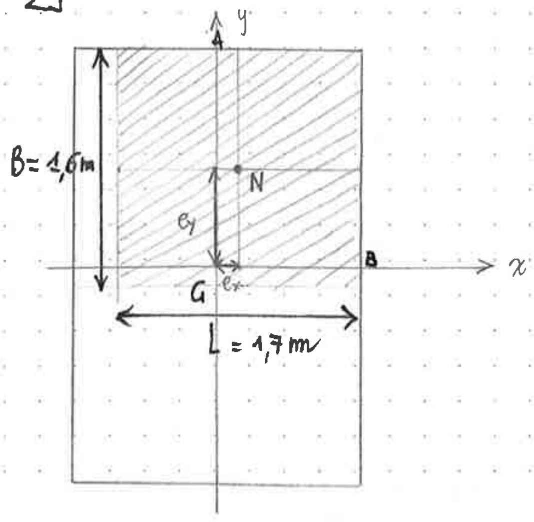
$$M_y = N \cdot e_y \Rightarrow e_y = \frac{M_y}{N} = \frac{426}{608} = 0,7 \text{ m}$$



$$NA = \frac{3}{2} - e_y = 0,8 \text{ m} \cdot 2 = 1,6 \text{ m} = B$$

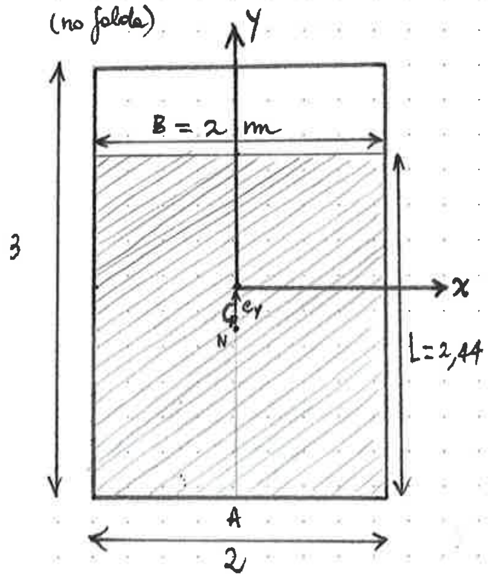
$$NB = \frac{2}{2} - e_x = 0,85 \text{ m} \cdot 2 = 1,7 \text{ m} = L$$

in scala:



▶ ESERCIZIO B4: Fondazione a plinto su terreno incoerente

(no falda)



Valutare il FS nei confronti della capacità portante del plinto rettangolare per un carico di esercizio avente componenti (riferite a G) pari a:

$N = 1100$ kN

$H_x = 60$ kN $\quad H_y = -80$ kN

$M_x = 0$ kN·m $\quad M_y = -310$ kN m

Il terreno è incoerente e caratterizzato dai seguenti parametri:

$\gamma_t = 18$ kN/m³ $\quad \phi' = 34°$ $\quad c' = 0$

Si consideri un sovraccarico $q = 10$ kPa

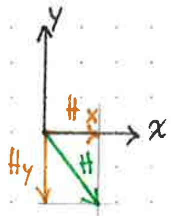
$M_x = N \cdot e_x \Rightarrow e_x = \dfrac{M_x}{N} = 0$

$M_y = N \cdot e_y \Rightarrow e_y = \dfrac{M_y}{N} = -\dfrac{310}{1100} = -0{,}28$ m

$NA = \dfrac{3}{2} - e_y = 1{,}5 - 0{,}28 = 1{,}22$ m $\Rightarrow 1.22 \cdot 2 = 2{,}44$ m $= L$

$B = 2$ m

Composizione componente orizzontale:



Modulo di H:

$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2} = 100$ kN

$q_{lim} = \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma i_\gamma + q N_q s_q i_q$

	N_γ	N_q
$\phi' = 34°$	41,06	29,44

$s_\gamma = s_q = 1 + 0{,}1 \dfrac{1+\operatorname{sen}\phi'}{1-\operatorname{sen}\phi'} \dfrac{B}{L} = 1{,}3$

$m = \dfrac{2 + B/L}{1 + B/L} = 1{,}55$

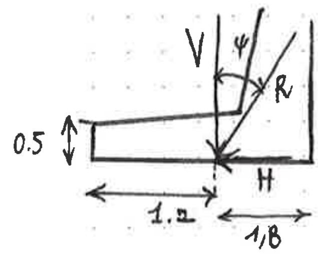
Per calcolare la distanza di R dal piede si fa un equilibrio di momenti:

$$M_{0,rib} = P_{AH} \cdot 1{,}8 = 351 \ kNm/m$$

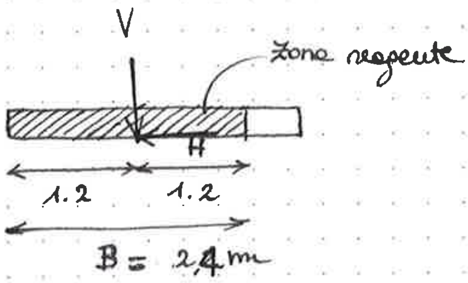
$$M_{0,stab} = W \cdot (3 - 1{,}2) + P_{AV} \cdot 3 = 954 \ kNm/m$$

$$M_0 = M_{,stab} - M_{rib} = 603 \ kNm/m$$

$$d = \frac{M_0}{V} = \frac{603}{500} = 1{,}2 \ m$$



⇒



$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma i_\gamma + q N_q i_q$$

$\phi' = 36°$ $\quad N_\gamma$ 56,31 $\quad N_q$ 37,75 $\quad q = 20 \cdot 0.5 = 10 \ \frac{kN}{m^2}$

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 2{,}4 \cdot 56{,}31 + \underbrace{20 \cdot 0{,}5}_{q} \cdot 37{,}75 = 1238{,}82 + 377{,}5 = 1616{,}32 \ \frac{kN}{m^2}$$

$$N_{lim} = q_{lim} \cdot A_b = 1616{,}32 \ \frac{kN}{m^2} \cdot 2{,}2 \ \frac{m^2}{m} = 3555{,}9 \ \frac{kN}{m}$$

$$FS = \frac{N_{lim}}{N_{ES}} = \frac{3555{,}9}{500} =$$

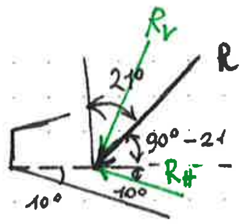
$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \cdot i_\gamma + q N_q i_q$$

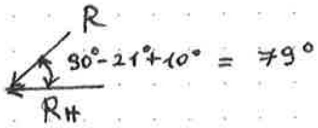
$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{N}\right)^{m+1} = \left(1 - \frac{195}{500}\right)^3 = 0{,}23$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{N}\right)^{m} = \left(1 - \frac{195}{500}\right)^2 = 0{,}37$$

N.B. $\quad m = \dfrac{2 + B/L}{1 + B/L} = 2$

$L \to \infty$ per fondazioni nastriformi $\Rightarrow \dfrac{B}{L} = 0$

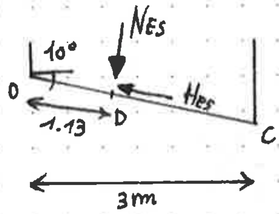




Dunque $R_H = R \cos 79° = 102,41$ kN/m
$R_V = R \operatorname{sen} 79° = 526,84$ kN/m

(1) Verifica di capacità portante

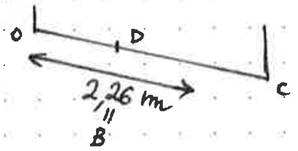
$$FS = \frac{N_{LIM}}{N_{ES}} = \frac{q_{lim} \cdot A_b}{N_{ES}}$$



$OC = 3 / \cos 10° = 3,05$ m

$DC = OC - OD = 1,92$ m

Dunque la sezione reagente è →



$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma i_\gamma b_\gamma + q N_q i_q b_q$$

$\phi' = 36°$ $\quad N_\gamma = 56,31 \quad N_q = 37,75$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{N}\right)^{m+1} = \left(1 - \frac{102,41}{526,84}\right)^3 = 0,52$$
con $m = 2$

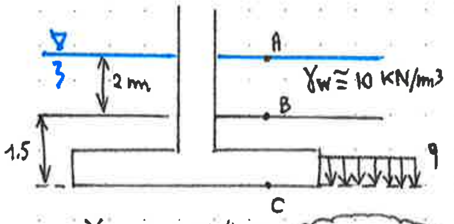
$$i_q = \left(1 - \frac{H}{N}\right)^{m} = \left(1 - \frac{102,41}{526,84}\right)^2 = 0,65$$

$$b_\gamma = b_q = (1 - \alpha \tan \phi')^2 = (1 - 0,175 \tan 36°)^2 = 0,76$$
α in rad

$$90° : \frac{\pi}{2} = 10° : x \rightarrow x = \alpha^{rad} = 0,175$$

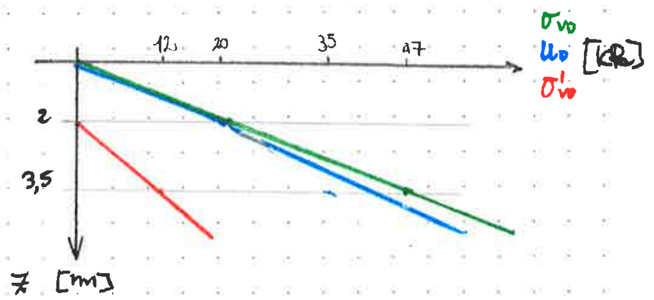
$$q_{lim} = \underbrace{\frac{1}{2}\, 20 \cdot 2,26 \cdot 56,31 \cdot 0,52 \cdot 0,76}_{502,93} + \underbrace{0.5 \cdot 20 \cdot 37,75 \cdot 0,65 \cdot 0,76}_{186,5} = 689,42 \ \frac{kN}{m^2}$$

▶ **ESEMPIO 36:** Verifica di Capacità portante di una fondazione in alveo



$\gamma = 18$ kN/m³
$\phi' = 32°$
$c' = 0$

Sabbia fine limosa



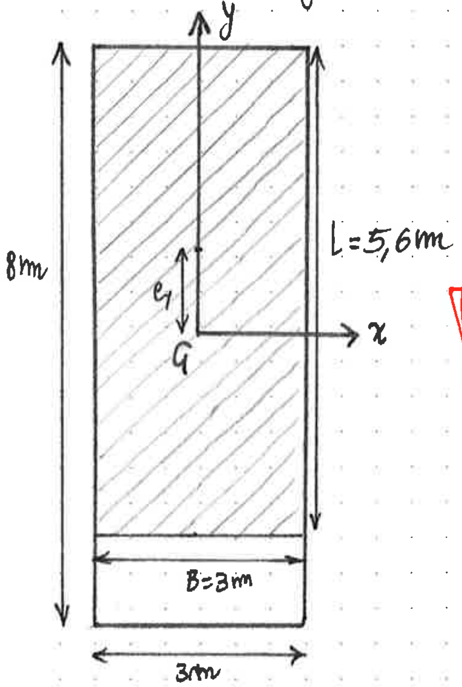
il sovraccarico coincide con la tensione geostatica alla profondità 3.5 m

$q' = \sigma'_{vo,c}$ $\sigma_{vo} = \gamma \cdot z$ $u_o = \gamma_w \cdot z_w$ $\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - u_o$

PUNTO	σ_{vo}	u_o	σ'_{vo}
A	0	0	0
B	20	20	0
C	47	35	12

ϕ'	N_γ	N_q
32°	30,22	23,18

Le componenti (riferite al baricentro G) del carico totale in esercizio agente sul piano di fondazione valgono

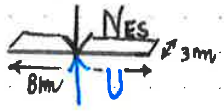


$N = 2870$ kN

$H_x = 0$ $H_y = 487$ kN

$M_x = 0$ $M_y = 2436$ kNm

! Il carico totale agente in fondazione deve essere alleggerito della sottospinta U (da parte dell'acqua) agente in G



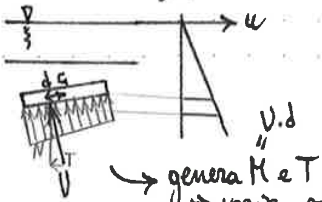
$U = u_{o,c} \cdot A = 35 \cdot 8 \cdot 3 = 840$ kN

Dunque $\underbrace{N'_{ES}}_{netto} = N_{ES} - U = 2870 - 840 = 2030$ kN

in questo caso $M_y = M_y'$ perché U è normale al piano di posa e passa per il baricentro G

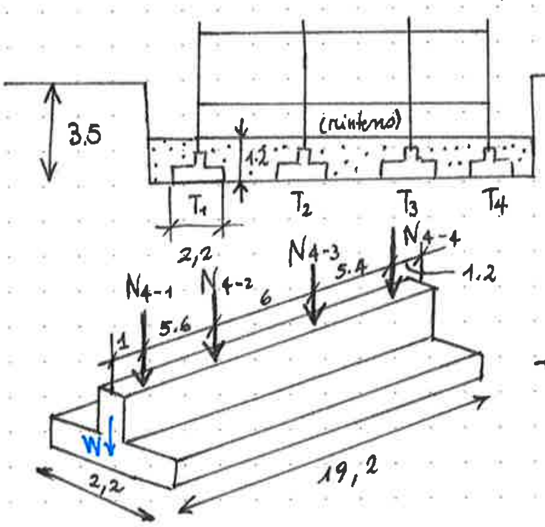
(U non modifica pertanto né H_y perché non ha componenti tangenziali né M_y perché baricentrico)

Se invece:



→ genera M e T
⇒ varia M eff !

▶ **ESERCIZIO B7** : Trave di fondazione su argilla tenera



Argilla moderatamente OC
$\gamma = 19 \ kN/m^3$
$C_u = S_u = 35 \ kPa$
$\phi' = 27°$, $c' = 0$
non c'è falda

Trave n° 4

Valutare per la trave n° 4 il coefficiente di sicurezza nei confronti della capacità portante a breve e a lungo termine, sapendo che i carichi in esercizio nei pilastri valgono:

→ $N_{4-1} = 457 \ kN$ $\quad N_{4-2} = 586 \ kN$ $\quad N_{4-3} = 564 \ kN$ $\quad N_{4-4} = 429 \ kN$

mentre il peso proprio della fondazione vale $W_F = 580 \ kN$

(1) CONDIZIONI non drenate (analisi a breve termine)

$$N_{ES} = \frac{N_{4-1} + N_{4-2} + N_{4-3} + N_{4-4} + W_F}{L} = \frac{2616}{19,2} = 136,3 \ \frac{kN}{m}$$

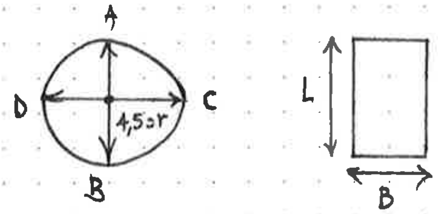
$$N_{lim} = q_{lim} \cdot B = 2,2 \ q_{lim} = 445,94 \ \frac{kN}{m}$$

$$q_{lim} = S_u \cdot N_c + q = 35 \cdot 5,14 + 19 \cdot 1,2 = 202,7 \ \frac{kN}{m^2}$$

$$FS = \frac{N_{lim}}{N_{ES}} = \frac{445,94}{136,3} = 3,27 > 3$$ **VERIFICA SODDISFATTA**

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 29 di 94

Per prima cosa mi riconduco ad una fondazione rettangolare equivalente (visto che siamo in presenza di una piastra)

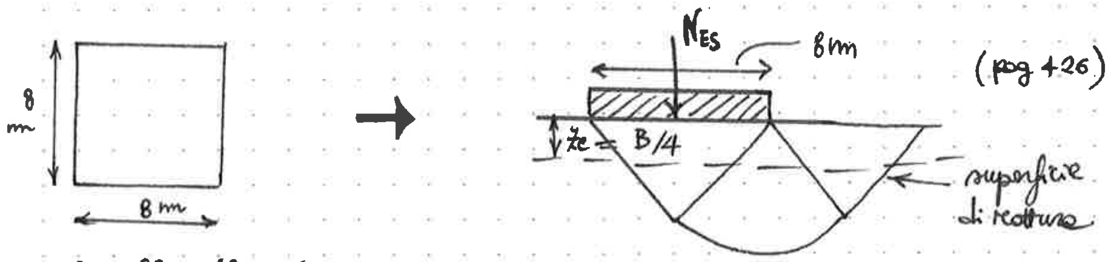


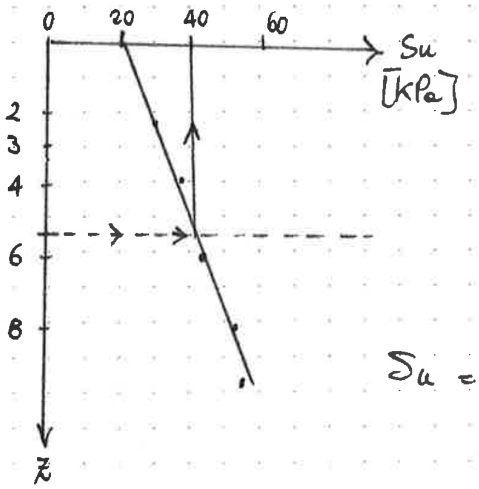
(1) Area circolare = Area rettangolo

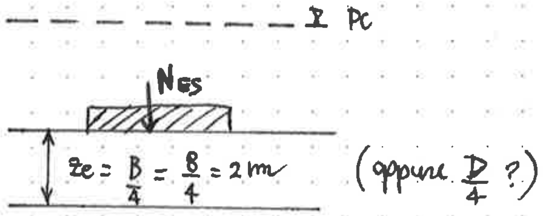
(2) $\frac{B}{L} = \frac{DC}{AB}$ (solo se presente eccentricità) altrimenti $\frac{B}{L} = \frac{1}{1} = 1$

dunque si ha una fondazione quadrata

$B = L \rightarrow r^2 \cdot \pi = B^2 \rightarrow B = \sqrt{\pi} \cdot r = 7,97 \cong 8\ m$







$S_u = 40\ kPa$

$q_{lim} = C_u \cdot N_c \cdot S_c^\circ = 40 \cdot 5,14 \cdot 1,2 = 246,72\ kPa$

$S_c^\circ = 1 + 0,2\ \frac{B}{L} = 1 + 0,2 \cdot \frac{8}{8} = 1,2$

$N_{lim} = q_{lim} \cdot A_b = 246,72 \cdot 8^2 \cong 15790\ kN$

$N_{ES} = 510\ t \longrightarrow FS = \frac{N_{lim}}{N_{ES}} = 3,1$ **Verificato**

$1t = 1000\ kg \rightarrow 5100\ kN$

$P = m \cdot g$

$N = kg \cdot 10 \cdot 10^3 = 10^4\ kg$

$kN = 10\ kg \cdot 510$

DA1 - C2

A2 + M2 + R2

(A₂) $E_d = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1}$
$= 1 \cdot 440 + 1{,}3 \cdot 205 = 706{,}5 \text{ kN/m}$

(M₂) $\gamma_M = 1{,}25$ $\quad \tan \phi'_d = \frac{\tan \phi'_k}{\gamma_M} = \frac{\tan 36°}{1{,}25} = 0.58 \rightarrow \phi'_d = 30{,}2°$

per $\phi'_d \Rightarrow \begin{cases} N_\gamma = 22{,}4 \\ N_q = 78{,}4 \end{cases}$ $\quad q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + q N_q = 800 \text{ kPa}$

$N_{lim} = q_{lim} \cdot B = 1200 \text{ kN/m}$

(R₂) $R_d = \frac{N_{lim}}{\gamma_R} = \frac{1200}{1{,}8} = 666{,}7 \text{ kN/m}$

$E_d < R_d \Rightarrow 706{,}5 > 666{,}7 \Rightarrow$ **NON VERIFICATO**

DA 2 (da preferire

$\begin{cases} \gamma_{G1} = 1 / 1{,}3 \\ \gamma_{G2} = \gamma_{Qi} = 0 / 1{,}5 \end{cases}$ $\quad \begin{cases} \gamma_M = 1 \\ \gamma_R = 2{,}3 \end{cases} \rightarrow$

OSSERVAZIONE: non altero i parametri del terreno (dotati di un significato fisico) → se $\gamma_M > 1$ → perdo il significato fisico

$N_d = \gamma_{G1} \cdot N_{KG1} + (\gamma_G N_{KG2} + \gamma_Q \cdot N_Q) = 1{,}3 \cdot 440 + 1{,}5 \cdot 205 = 880 \text{ kN/m} = E_d$

$\phi'_d = \phi'_k = 36°$

$q_{lim} = 1781 \text{ kPa}$

$Q_{lim,d} = \frac{q_{lim} \cdot B}{\gamma_R} = \frac{1781 \cdot 1{,}5}{2{,}3} = 1161 \text{ kN/m} = R_d$

$E_d < R_d$ **VERIFICATO**

Confronto con FS globale = 3

DA 2 $\gamma_M = 1$, $\gamma_R = 2{,}3$ $\Downarrow$ $\phi'_d = \phi'_k$

$\begin{cases} G_1 \Rightarrow 68\% \\ G_2; Q_i = 32\% \end{cases}$

(A1) $\begin{cases} \gamma_{G1} = 1 / 1.3 \\ \gamma_{G2} = \gamma_Q = 0 / 1.5 \end{cases} \Rightarrow \gamma_F = 0.68 \cdot 1{,}3 + 0{,}32 \cdot 1{,}5 = 1{,}36$

$F_S = \gamma_F \cdot \gamma_R = 2{,}3 \cdot 1{,}36 = 3{,}13$

(2) Nella mezzeria di ogni strato si calcola:

(a) $\sigma_{v0} = \gamma \cdot z$

(b) $u_0 = \gamma_w \cdot z_w$

(c) $\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_0$

(d) $\sigma'_p = \sigma'_{v0} \cdot OCR$

(3) Si calcola il carico netto (al netto della tensione geostatica agente sul piano della fondazione).

Impronta circolare → carico. $N = 17520$ kN

$$q = \frac{N}{A} = \frac{17520}{\pi\, 6^2} = 155 \ \frac{kN}{m^2} \ (kPa)$$

$$q_N = q - \sigma'_{v0,L} = q - \gamma \cdot z_L = 155 - 18 \cdot 2{,}5 = 110 \ kPa$$

(4) Per ogni punto si calcola l'incremento della tensione

$$\Delta\sigma_z\,(r=0) = q_N \left\{ 1 - \left[\left(\frac{a}{z}\right)^2 + 1 \right]^{-\frac{3}{2}} \right\}$$

e la $\sigma'_f = \sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v$

(5) S_e

$\sigma'_f < \sigma'_p$ (tratto elastico $_{OC}$)

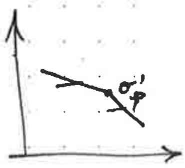
$$S_{RR,i} = \underset{0.8}{\Delta H} \cdot RR \log \frac{\sigma'_f}{\sigma'_{v0}}$$

$$S_{CR,i} = [-]$$

$\sigma'_f > \sigma'_p$ (tratto plastico $_{NC}$)

$$S_{RR,i} = \Delta H \cdot RR \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}}$$

$$S_{CR,i} = \Delta H \ CR \log \frac{\sigma'_f}{\sigma'_p}$$



(6) $S_{RR} = \sum_i S_{RR,i}$ $\qquad S_{CR} = \sum S_{CR,i}$

$$S_{tot} = S_{RR} + S_{CR}$$

$I_z(max) = 0,5 + 0,1 \left(\frac{\Delta q'}{\sigma'_{vi}}\right)^{0.5}$ ← sbagliato! q

$\sigma'_{v(z\,I_{max} = 1\cdot 25+1.5 = 2,75)} = \gamma \cdot z = 18,5 \cdot 2,75 \cong 50,9$ kPa

Combinazione 1 → $N = \sum N_i = 3492$ kN

Combinazione 2 → $N = \sum N_i = 3210$ kN

Combinazione 3 → $N = \sum N_i = 3693$ kN → condizione peggiore

Peso piastra cls → $G = \gamma_{cls} \cdot V = \gamma_{cls} \cdot 4 \cdot 4 \cdot 0,8 = 307,2$ kN

$$q = \frac{N+G}{A} = \frac{3693+307,2}{4^2} = 250 \text{ kPa}$$

$\Delta q_N = q - \sigma'_{v0(\text{piano di posa})} = q - \gamma \cdot D = 250 - 18,5 \cdot 1,5 = 222,3$ kPa

$E'_i = q_c \cdot 2,5$

$W = C_1 C_2 \Delta q \sum \left(\frac{I_z}{E}\right)_i \Delta z_i$; $\Delta z_i = 1$ m

STRATO	z	z	σ'_v	q_c	$I_{z\,max}$	E'	Σ
a	2	0.5	37	8	0,51	20	5,7
b	3	1.5	55,5	8	0,51	20	5,6
c	4	2.5	74	11	0,51	27,5	4,1
c	5	3.5	92,5	14	0,5	35	3,2
d	6	4.5	111	15	0,5	37,5	3
							21,6 mm

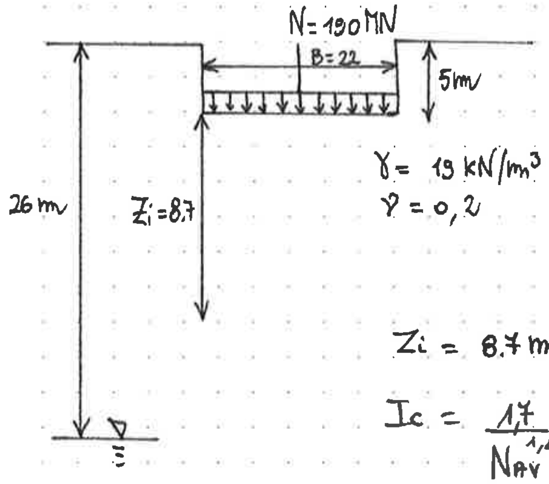
Cedimento iniziale → $C_1 = 1 - 0,5\left(\frac{\sigma'_{v0}}{\Delta q}\right) = 0,93$ (sul piano di posa)

$W = C_1 \Delta q \sum \left(\frac{I_z}{E}\right)_i \Delta z = 20,2$ mm

Cedimento a $t = 30$ anni → $\zeta = 1 + 0,2 \log\left(\frac{t}{0,1}\right) = 1,5$

$W = C_1 C_2 \Delta q \sum \left(\frac{I_z}{E}\right)_i \Delta z = 30$ mm

- METODO BURLAND - BURBIDGE



(osservazione la sabbia è quasi sempre NC)

$\gamma = 19\ kN/m^3$
$\nu = 0{,}2$

$Z_i = 8.7\ m$

$$I_c = \frac{1{,}7}{N_{AV}^{1,4}} = \frac{1{,}7}{27^{1,4}} = 0{,}017$$

$$\sigma'_{v0} = \gamma \cdot D = 19 \cdot 5 = 95\ kPa$$

$$W_i = f_s \left[\left(q' - \frac{2}{3} \sigma'_{v0} \right) B^{0.7} I_c \right]$$

$$f_s = \left[\frac{1{,}25\ L/B}{L/B + 0{,}25} \right]^2 = 1{,}21$$

$$q' = \frac{N}{A_b} = \frac{190 \cdot 10^3\ kN}{22 \cdot 40\ m^2} = 216\ kPa$$

$\sigma'_{v0} = 95\ kPa$

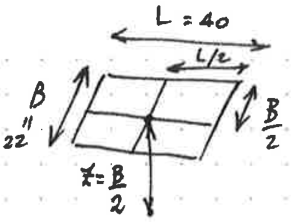
$$W_i = 1{,}21 \left[\left(216 - \frac{2}{3} 95 \right) 22^{0.7} \cdot 0{,}017 \right] \cong 27\ mm$$

al tempo $t = 30$ anni

$$W = f_t \ W_i$$

$f_t = 1{,}5$ per $t = 30$ $\Rightarrow$ $W \cong 41\ mm$

$(\Delta\sigma)$



$m = \frac{B}{2} / z = 1$

$n = \frac{L}{2} / z$

abaco trovo

$f = 0{,}195$

$\Delta\sigma = 4 \cdot f \cdot q_N$

pressione atmosferica = 101,33 kPa

$E'_{0,1} = k_{E,01} \cdot p_a \sqrt{\frac{\sigma'_{vo} + \frac{\Delta\sigma'_{vo}}{2}}{p_a}}$ calcolato per $z = \frac{B}{2}$

$k_E = 600$

Trovo da tabelle I

Calcolato W → $\frac{q_N}{E'_{0,1}} = \frac{1}{125\, I (1-\nu^2)} \left(\frac{W}{B}\right)^{0,3} \Rightarrow W \cong 7\,mm$

in [mm]

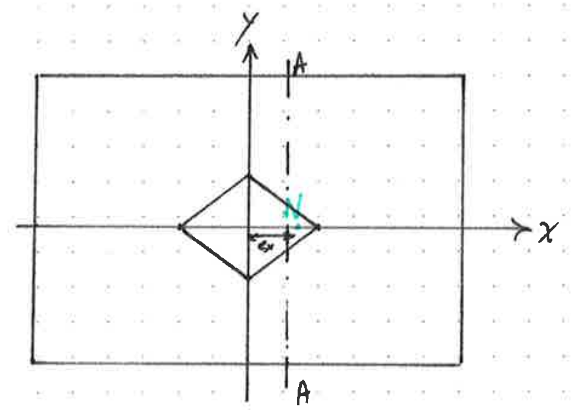
Si calcolano adesso le sollecitazioni corrispondenti alla sezione A-A

$R = V_{A-A} = A_{ABCD}$ (ovvero risultante $r_t(x)$)

$R = V_{A-A} = r_t(x) \cdot d_{AA} = 300 \frac{kN}{m} \cdot 1,2\ m = 360\ kN$

$M_{A-A} = R \cdot x = 360 \cdot \frac{AB}{2} = 216\ kN \cdot m$

CASO 2: $N_d = 900\ kN$ $\quad M_{x,d} = 315\ kN \cdot m$

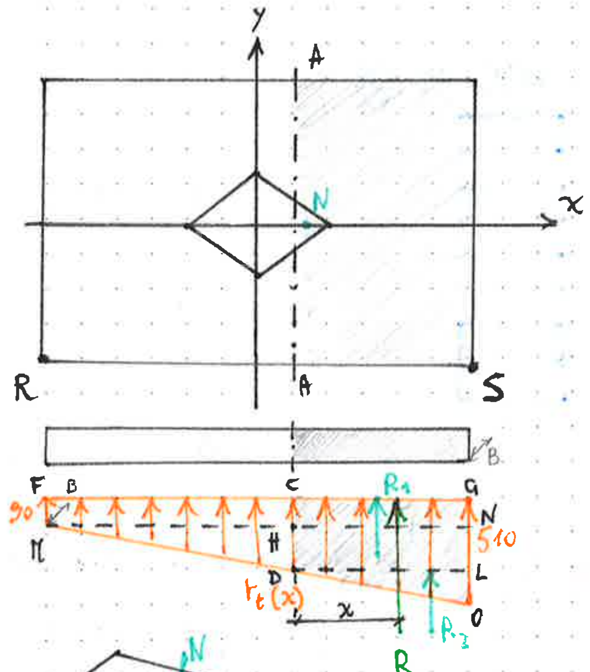


$e_x = \frac{M_{x,d}}{N_d} = 0,35\ m < \frac{L}{6}$

$\Downarrow$

Carico eccentrico e nocciolo centrale di inerzia

↳ SEZIONE INTERAMENTE REAGENTE



$r_t(x) = \frac{N}{L} + \frac{12 N e_x}{L^3} \cdot x$

$\downarrow$

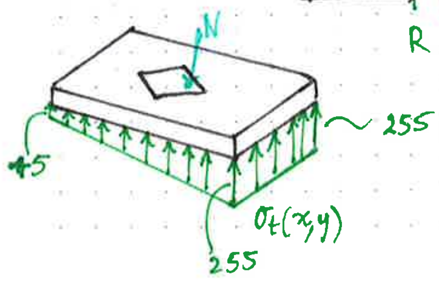
$r_t(x)_{\substack{max \\ min}} = \frac{N}{L} \pm \frac{6 N e_x}{L^2} = \frac{510}{90} \frac{kN}{m}$

$r_t(y) = \frac{N}{B} = 450 \frac{kN}{m}$

Allo spigolo $S^{(+)}$ e $R^{(-)}$

$\sigma_t(x,y) = \frac{N}{BL} \pm \frac{6 N e_x}{BL^2} \pm \cancel{\frac{6 N e_y}{L B^2}} = \frac{255}{45} \frac{kN}{m^2}$

$\downarrow$ si ottiene come



$$\left.\begin{cases} \sigma_t = \frac{r_t(S)}{B} = 255 \\ \sigma_t = \frac{r_t(R)}{B} = 45 \end{cases}\right\} \bar{\sigma}_t = \frac{255+45}{2} = 150 = \frac{r_t(y)}{L}$$

Si calcolano adesso le sollecitazioni:

$R = A_{BCDE} = V_{A-A}$ $\quad AC : CE = AB : BD \rightarrow BD = 375 \frac{kN}{m}$

$R = 675\ kN = V_{A-A}$ $\quad R_1 = 450\ kN \quad R_2 = 225\ kN$

$M_B = M_{A-A} = R_1 \frac{BC}{2} + R_2 \frac{2}{3} BC = 450 \frac{kN}{m}$

CASO 4: $N_d = 720\ kN$ $\quad M_{x,d} = 432\ kNm$

$M_{y,d} = 216\ kNm$

$e_y = \frac{M_{y,d}}{N_d} = 0{,}3\ m$

$e_x = \frac{M_{x,d}}{N_d} = 0{,}6\ m$

N fuori dal nocciolo centrale d'inerzie

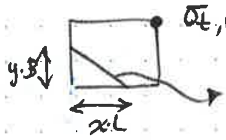
$\Rightarrow$ SEZIONE PARZIALIZZATA con eccentricità in entrambe le direzioni

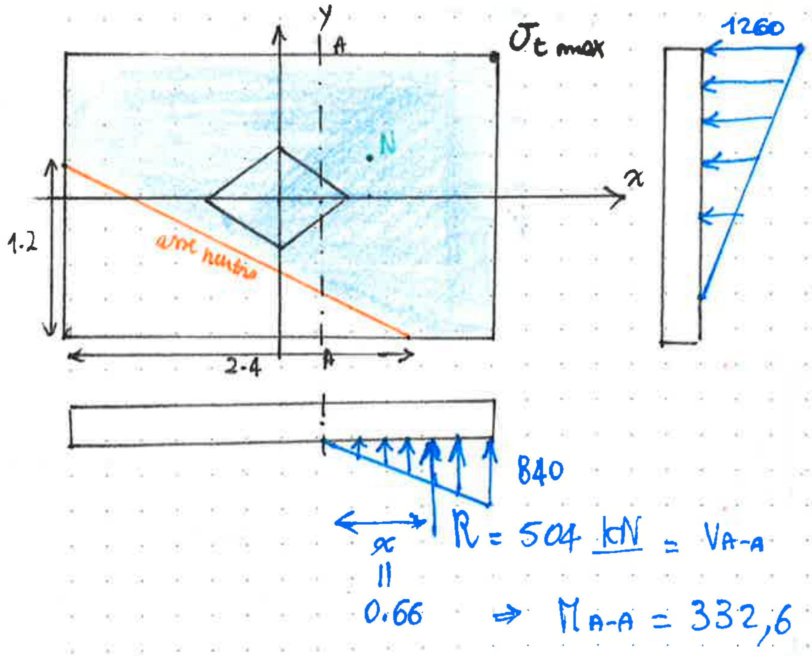
$\downarrow$

uso abaco di Teng

(1) entro con i valori $\begin{cases} \frac{e_x}{L} = \frac{0{,}6}{3} = 0.2 \\ \frac{e_y}{B} = \frac{0{,}3}{2} = 0.15 \end{cases}$ $\rightarrow$ mi trovo nel caso II

(2) trovo $\begin{cases} K = 3.5 \\ x = 0.8 \\ y = 0.6 \end{cases}$ $\quad \sigma_{t,max} = K \frac{N}{B \cdot L} = 420\ kPa$

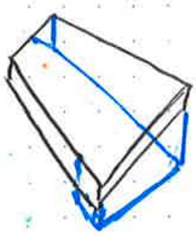




$\sigma_{t\,max} = 420\ kPa$

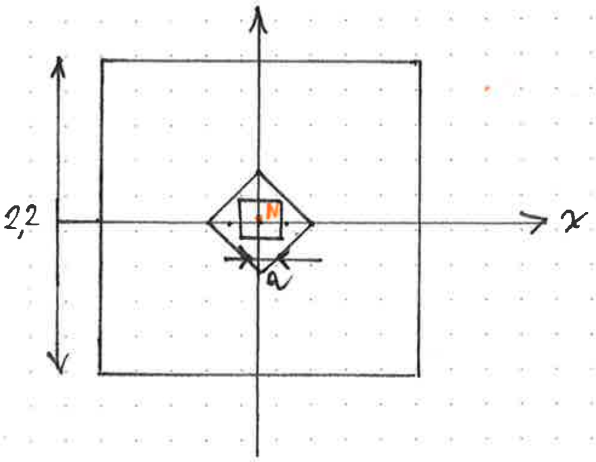
$r_{max}(y) = \sigma_{t\,max} \cdot L = 1260$

$r_{max}(x) = \sigma_{t\,max} \cdot B = 840\ \frac{kN}{m}$



© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 45 di 94

▶ **ESERCIZIO D3**: Dimensionamento strutturale di un plinto quadrato



$N_d = 1250$ kN

$a = 40$ cm

cls = C20/25

Dimensionare il plinto

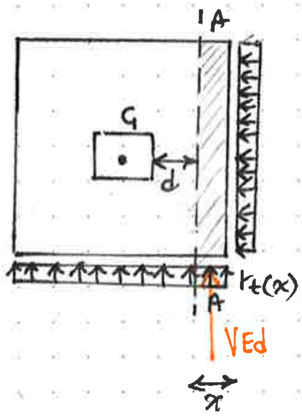
$f_{ck} = 20$ MPa

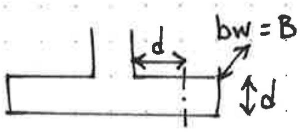
$f_{cd} = 11,8$ MPa

Carico centrato:

(1) calcola la reazione del terreno

$$r_t(x) = r_t(y) = \frac{N}{B} = \frac{1250}{2,2}\,\frac{kN}{m} = 568,2\,\frac{kN}{m} = 568,2\,\frac{N}{mm}$$





$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$V_{Ed} = r_t(x) \cdot x$$

$$x = \frac{2,2}{2} - d - \frac{0,4}{2} = (0,9 - d)$$

$$x = (0,9 - d) \; [m] \Rightarrow x = (900 - d) \; [mm]$$

$$V_{Rd} = v_{min} \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035\, k^{1,5} \sqrt{f_{ck}}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}$$

d in [mm] = incognita

dunque:

$$V_{Rd} = \underbrace{\left\{0,035 \left[1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right]^{1,5} \sqrt{f_{ck}}\right\}}_{} \underbrace{}_{B \cdot d} \geq r_t(x) \cdot x = V_{Ed}$$

$$0,035 \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right]^{1,5} \cdot \sqrt{20} \cdot \underbrace{}_{2200 \cdot d} \geq 568,2 \cdot (900 - d)$$

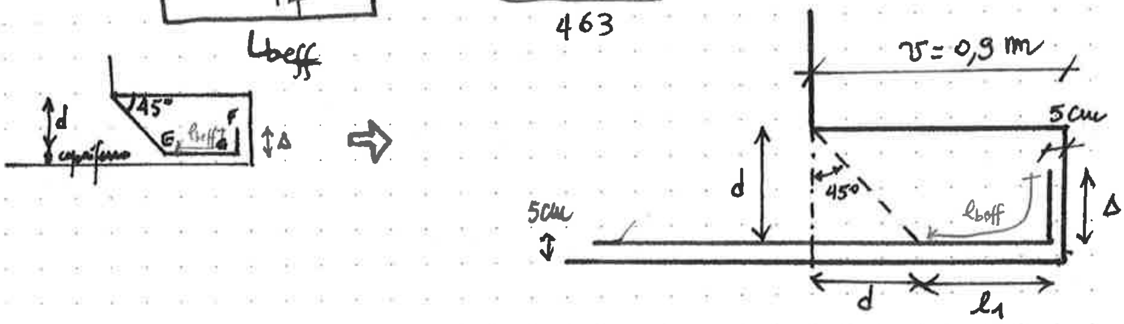
Ancoraggio armatura:

$$l_b = \frac{f_{yd}}{4 f_{bd}} \phi = n \cdot \phi$$ (BARRA DRITTA)

per C20/25 $\Rightarrow n \cong 40$

dunque $l_b = 40 \cdot 12 = 480$ mm

$$\underbrace{l_b^{eff} = l_b \cdot \frac{A_f^{teor}}{A_f^{reale}}}_{L_{b\,eff}} \alpha = \underbrace{480 \cdot \frac{1633{,}4}{1695{,}6}}_{463} 0{,}7 = 323{,}7 \text{ mm} \cong 324 \text{ mm}$$



$l_1 = v - d - c = 900 - 400 - 50 = 450$ mm

$l_1 \geq l_b$? NO $\Rightarrow$ occorre piego

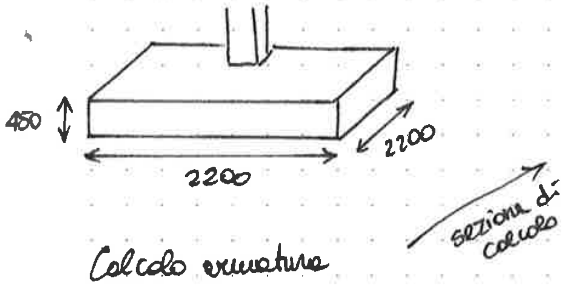
Quanto vale delta δ ?

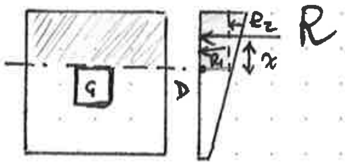
$\Delta = l_b^{eff} - l_1 = 463 - 450 = 13$ mm $\cong$ 2 cm

(Se prolungo $\Delta = 10$ cm $\rightarrow l_b^{eff}$ è OK? SI)

$$V_{Rd} = v_{min} \cdot b_w \cdot d$$
$$= 0{,}035\ k^{1{,}5} \sqrt{f_{ck}} \cdot 2200 \cdot d$$
$$= 0{,}035 \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right)^{1{,}5} \sqrt{20} \cdot 2200\, d$$

d	V_{Rd}	$\geq$ V_{Ed}
100	129 172,3	460 840
200	194 796,3	412 510
300	252 947,5	361 530
500	359 118,5	251 620
400	307 225,1	307 900
450	333 419,8	280 091





Calcolo armature

$$R = 502{,}6\ \frac{kN}{m}$$

$$R_1 = 439{,}3 \cdot 0{,}9 = 395\ kN$$
$$R_2 = \frac{238{,}7 \cdot 0{,}9}{2} = 107\ kN$$

$\rightarrow x \Rightarrow M_D = R_1 \cdot 0{,}45 + R_2 \frac{2}{3} 0{,}9$
$= 250\ kN \cdot m$
$\parallel$
M_d

$$A_s^{teorica} = \frac{M_d}{0{,}9 d f_{yd}}$$
$$= \frac{250\ kN\, m}{0{,}9 \cdot 450\ mm \cdot 391{,}3\ \frac{N}{mm^2}} = \frac{250 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{0{,}9 \cdot 450 \cdot 391{,}3}\ mm^2 = 1578\ mm^2$$

$\phi_{14} \Rightarrow A_s^{teorica} = \pi r^2 n_{barre} \Rightarrow n_{barre} = 11$

$A_s^{reale} = \pi r^2 n_{barre} = 1693\ mm^2$

- Asse y:

$$x = \frac{B}{2} - \frac{a}{2} - d = \frac{2,4}{2} - \frac{0,3}{2} - d = 1,05 - d = 1050 - d \ [mm]$$

$$r_t(y) = 333,4 \ \frac{kN}{m} = \frac{N}{mm}$$

$$V_{Ed} = r_t(y) \cdot x = 333,4 \cdot (1050 - d)$$

Verifica a taglio:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = 0,035 \cdot K^{1,5} \sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd} = 0,035 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right)^{1,5} \cdot \sqrt{25} \cdot 3000 \cdot d$$

d	V_{Rd} $\geq$	V_{Ed}
200	296 984,8	283 390
150	249 075,5	300 060

$\Rightarrow d = 200$

- Asse x:

$$x = \frac{L}{2} - \frac{b}{2} - d = 1,275 - d = (1275 - d) \ [mm] = AB$$

$$r_t(x) = \text{lineare (triangolare)}$$

$$V_{Ed} = A_{ABCD}$$

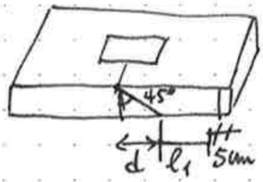
$$FB : BD = FA : AC \rightarrow AC = \frac{BD \cdot FA}{FB} = \frac{576,6 \cdot (a - x)}{a}$$

$$AC = 576,6 - \frac{576,6}{a} x = 576,6 - 0,21\, x$$

$$V_{Ed} = \frac{576,6 + 576,6 - 0,21x}{2} \cdot (1275 - d)$$

$$V_{Ed} = \frac{1153 - 0,21(1275 - d)}{2} (1275 - d) = \frac{885,3 - 0,21d}{2} (1275 - d)$$

$$l_b = \frac{f_{yd}}{4 f_{bd}} \phi \cong n \phi = 36 \cdot 19 = 684 \text{ mm}$$



$l_1 \geq l_b$? $1050 > 684$? si $\Rightarrow$ armatura dritta

$$l_{beff} = l_b \frac{A^{teo}}{A^{real}} \cdot \underset{1}{\overset{\shortparallel}{\alpha}} = 660 \text{ mm}$$

$\downarrow$

prolungo l'armatura fino a l_1.

(9) $R = 1{,}05 \cdot 333{,}4 = 350$ kN

$M_d = R \cdot x = 184$ kNm

$$A^{f\,teo} = \frac{M_d}{0{,}9\, d\, f_{yd}} = 1306 \text{ mm}^2$$ ϕ_{12} n barre = 12

$A^{f\,real} = 1357 \text{ mm}^2$

$l_b \cong n \phi = 36 \cdot 12 = 432$ mm

$l_1 \geq l_b$ OK $\rightarrow$ prolungo armature (solo barre dritte)

d	x	R_1	R_2	V_{Ed}	$\leq$	V_{Rd}
200	2575	472984	644565	1117549		237587
300	2475	218480	637188	855668,8		308476
400	2375	201182	628385	829567,4		374714

$$V_{Rd} = 0{,}035 \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right)^{1,5} \sqrt{25} \cdot b_w \cdot d$$

2400

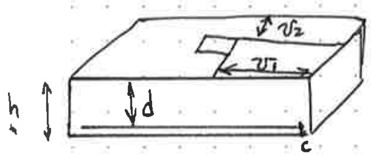
(2300)

d	V_{Ed} $\leq$	V_{Rd}
200	247000	257386
300	209000	>
400	152000	>

$$V_{Ed} = 380 \cdot (850 - d)$$

$$V_{Rd} = 0{,}035 \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right)^{1,5} \cdot \sqrt{25} \cdot 2600\, d$$

$$d = \max(d_1, d_2) = 500 \text{ mm}$$

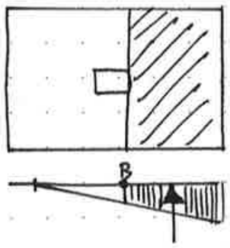


$v_1 = 1{,}1$ m $= 1100$ mm $> 2d \Rightarrow$ Plinto snello

$v_2 = 0{,}85$ m $= 850$ mm $< 2d \Rightarrow$ Plinto tozzo

d = 500 mm
c = 50 mm
h = 550 mm

Armatura plinto snello (in direzione x)



$R = 541{,}6$ kN

$R_1 = 343{,}3 \cdot 1{,}1 = 377{,}63$ kN

$$R_2 = \frac{1{,}100 \cdot 298{,}1}{2} = \frac{327{,}9}{2} = 163{,}96 \text{ kN}$$

$M_d = 377{,}63 \cdot 0{,}55 + 163{,}96 \cdot 0{,}73 = 328$ kNm

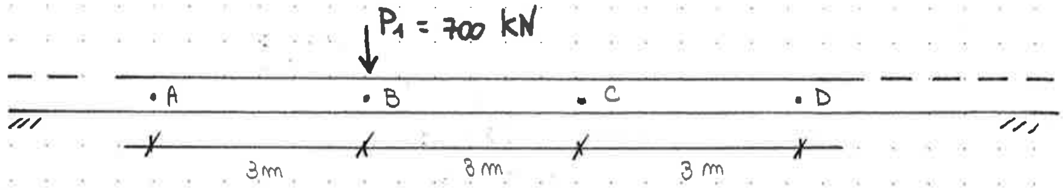
$$A_f^{teo} = \frac{M_d}{0{,}9\, d\, f_{yd}} = \frac{328 \cdot 10^6}{0{,}9\ 500 \cdot 391{,}3} = 1863 \text{ mm}^2$$

$A_f^{teo} = \pi r^2 n_{barre}\ \phi_{14} \Rightarrow n_{barre} = 12$

$A_f^{real} = \pi r^2 n_{barre} = 1848$ mm^2

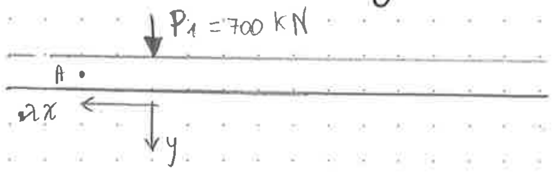
ESERCITAZIONE E

▶ **ESERCIZIO E1:** Trave infinita su suolo alla Winkler



$$\begin{cases} EJ = 1{,}4 \cdot 10^{11} \ \text{kg cm}^2 \\ K = K_1 \cdot B = 220 \ \text{kg/cm}^2 \end{cases}$$

Calcolare il valore del momento flettente e taglio in A, B, C, D e tracciare i relativi diagrammi.



$$\frac{1}{\lambda} = \sqrt[4]{\frac{4EJ}{K}} \rightarrow \frac{1}{\lambda} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 4{,}4 \cdot 10^{11} \ \cancel{\text{kg}} \ \text{cm}^2}{220 \ \cancel{\text{kg}} / \text{cm}^2}} \Rightarrow \frac{1}{\lambda} \cong 300 \ \text{cm} = 3 \ \text{m}$$

$$\lambda = \frac{1}{3} = 0{,}33 \ \text{m}^{-1}$$

Ⓐ $\lambda x = 3 \cdot 0{,}33 = 1 \ [-] \Rightarrow$

$A = 0{,}508$
$B = 0{,}310$
$C = -0{,}111$
$D = 0{,}199$

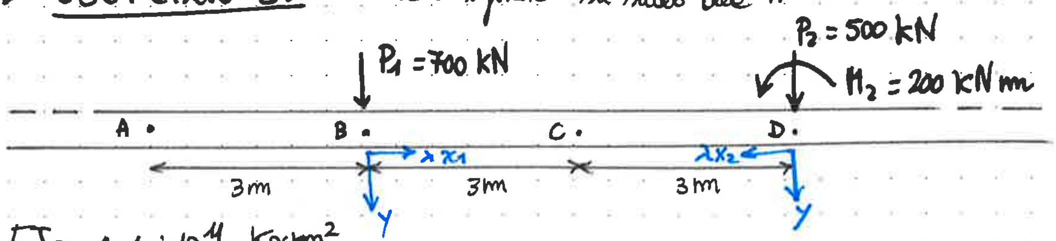
$$M_A = C \cdot \frac{P}{4\lambda} = -0{,}111 \cdot \frac{700 \ \text{kN}}{4 \cdot 0{,}33 \frac{1}{m}} = -58{,}3 \ \text{kN m}$$

$$V_A = + D \ \frac{P}{2} = +0{,}199 \cdot \frac{700}{2} \ \text{kN} = +69{,}65 \ \text{kN}$$

xkè sistema opposto alle formule

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 61 di 94

ESERCIZIO E2: Trave infinita su suolo alla Winkler



$EJ = 4{,}4 \cdot 10^{4}$ Kgcm²

$K = K_1 \cdot B = 220$ kg/cm² $\longrightarrow$ $\frac{1}{\lambda} \cong 3$ m $\qquad \lambda = 0{,}\overline{33}$ m

Calcolare i valori di Momento flettente e Taglio in A B C D e diagrammare

PUNTO	x_1	$\lvert\lambda x_1\rvert$	x_2	$\lvert\lambda x_2\rvert$	A_1	B_1	C_1	D_1	A_2	B_2	C_2	D_2
					$\lvert\lambda x_1\rvert$				$\lvert\lambda x_2\rvert$			
A	-3	1	9	3	0.508	0.310	-0.111	0.199	-0.042	0.007	-0.056	-0.049
B	0	0	6	2	1	0	1	1	0.067	0.123	-0.179	-0.056
C	3	1	3	1	0.508	0.310	-0.111	0.199	0.508	0.310	-0.111	0.199
D	6	2	0	0	0.067	0.123	-0.179	-0.056	1	0	1	1

$$V_A = D_1 \frac{P_1}{2} + D_2 \frac{P_2}{2} + A_2 \frac{M_0}{2} \lambda$$

$69{,}65 \qquad 12{,}25 \qquad 1{,}4$

FORMULA GENERALE:

CARICO PUNTUALE: $V = -\frac{DP}{2}$ (se considero punti a dx del carico) segno opposto se punti a sx

CARICO COPPIA: $V = -A \frac{\lambda}{2} M_0$ (se la coppia è oraria se è antioraria segno opposto)

Sovrapposizione degli effetti

$$V_A = +D_1 \frac{P_1}{2} + D_2 \frac{P_2}{2} + A \frac{\lambda}{2} M_0$$

$$= 0.199 \frac{700}{2} - 0{,}049 \cdot \frac{500}{2} - 0{,}042 \frac{0{,}\overline{33}}{2} \cdot 200 = 56 \text{ kN}$$

$$M_A = C_1 \frac{P_1}{4\lambda} + C_2 \frac{P_2}{4\lambda} + D_2 \frac{M_0}{2} = -84{,}2 \text{ kNm}$$

$-58{,}3 \qquad -21 \qquad -4{,}9$

$M = D \frac{M_0}{2}$ vale se punto a dx e M ↻ ⊕

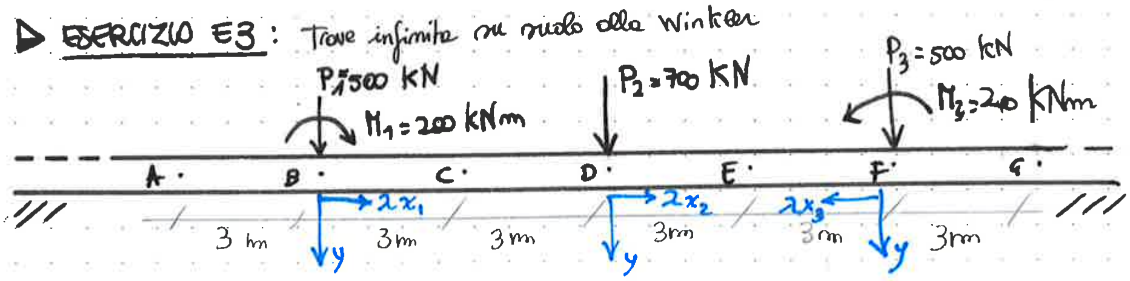
Se punto a dx e M ↺ ⊖

se punto a dx e M ↺ (+)

se punto a sx e M ↻ ⊖

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 63 di 94

▶ **ESERCIZIO E3**: Trave infinita su suolo alla Winkler



Struttura simmetrica caricata simmetricamente ⇒ taglio antisimmetrico, momento simmetrico } studio solo A B C D

$\lambda = 0{,}33\ m^{-1}$

Punto	x_1	$\lvert\lambda x_1\rvert$	x_2	$\lvert\lambda x_2\rvert$	x_3	$\lvert\lambda x_3\rvert$
A	−3	1	−9	3	15	5
B	0	0	−6	2	12	4
C	3	1	−3	1	9	3
D	6	2	0	0	6	2
E	9	3	3	1	3	1
F	12	4	6	2	0	0
G	15	5	9	3	−3	1

$$V_A = D_1 \frac{P_1}{2} - A_1 \frac{\lambda}{2} M_1 + D_2 \frac{P_2}{2} - D_3 \frac{P_3}{2} + A_3 \frac{\lambda}{2} M_3 = 16\ \text{kN}$$

+49,75   −16,9   −17,15   −0,5   −0,16

375   525   375

$$M_A = C_1 \frac{P_1}{4\lambda} + C_2 \frac{P_2}{4\lambda} + C_3 \frac{P_3}{4\lambda} - D_1 \frac{M_1}{2} - D_3 \frac{M_3}{2} = -87{,}2\ \text{kNm}$$

250   −0,056 · 350   −0,33/2 · 200   +0,012 · 250   −0,026 · 0,33/2 · 200

$$V_B^{sx} = +D_1 \frac{P_1}{2} + D_2 \frac{P_2}{2} - A_1 \frac{\lambda}{2} M_1 - D_3 \frac{P_3}{2} + A_3 \frac{\lambda}{2} M_3 = 200\ \text{kN}$$

−250   −19,6   −33   +3   −0,9

$$V_B^{dx} = -D_1 \frac{P_1}{2} + D_2 \frac{P_2}{2} - A_1 \frac{\lambda}{2} M_1 - D_3 \frac{P_3}{2} + A_3 \frac{\lambda}{2} M_3 = -300{,}5\ \text{kN}$$

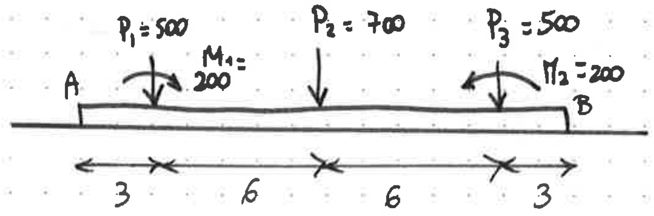
1   375   −913   0,75   100   +1,2

$$M_B^{sx} = C_1 \frac{P_1}{4\lambda} + C_2 \frac{P_2}{4\lambda} + C_3 \frac{P_3}{4\lambda} - D_1 \frac{M_1}{2} - D_3 \frac{M_3}{2} = 182{,}9\ \text{kNm}$$

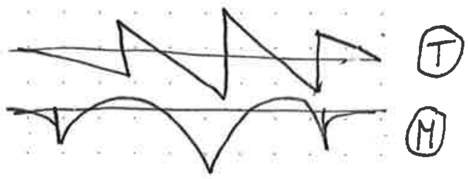
1   −0,179   0,002   1   −0,012

$$M_B^{dx} = C_1 \frac{P_1}{4\lambda} + C_2 \frac{P_2}{4\lambda} + C_3 \frac{P_3}{4\lambda} + D_1 \frac{M_1}{2} - D_3 \frac{M_3}{2} = 382{,}9\ \text{kNm}$$

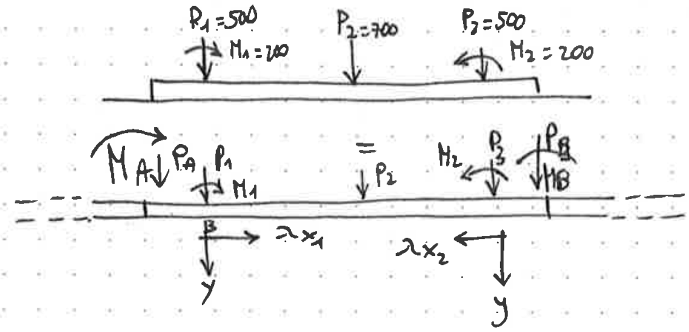
▶ ESERCIZIO E4 : Trave alla Winkler



$\lambda = 0,\overline{33}\ m^{-1}$



- Metodo esatto:

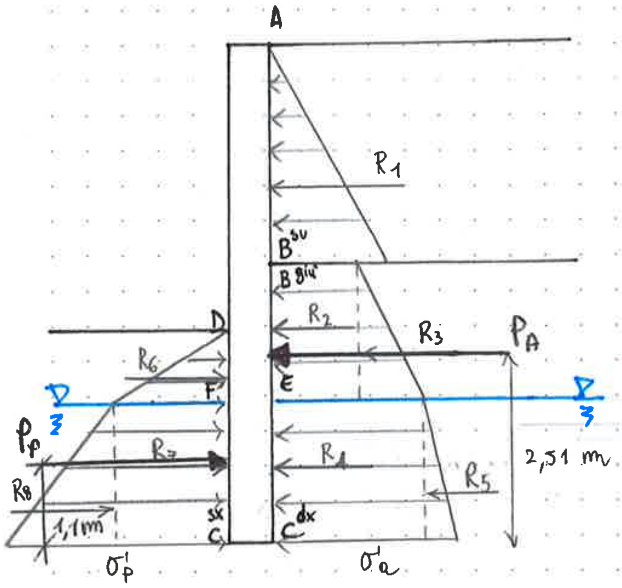


PUNTO	x_1	$\lvert\lambda x_1\rvert$	x_2	$\lvert\lambda x_2\rvert$
A	-3	1	15	5
B	15	5	-3	1

$$\begin{cases} V_A^{sx} = 0 = +\cancel{D_A\frac{P_A}{2}} - D_1\frac{P_1}{2} + D_2\frac{P_2}{2} - \cancel{D_B\frac{P_B}{2}} - D_3\frac{P_3}{2} - A M_A\frac{\lambda}{2} - M_B A\frac{\lambda}{2} - M_1 A\frac{\lambda}{2} + M_2 A\frac{\lambda}{2} = 0 \\ M_A^{sx} = 0 = C_A\frac{P_A}{4\lambda} + C_B\frac{P_B}{4\lambda} + C_1\frac{P_1}{4\lambda} + C_2\frac{P_2}{4\lambda} + C_3\frac{P_3}{4\lambda} - D_1\frac{M_1}{2} - D_3\frac{M_3}{2} = 0 \\ \left.\begin{array}{l} V_B^{dx} = 0 = \\ M_B^{dx} = 0 = \end{array}\right\} \text{uguali per simmetria} \quad \begin{array}{l} P_A = P_B \\ M_A = M_B \end{array} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{P_A}{2}\left(D_A - D_B\right) - D_1\frac{P_1}{2} + D_2\frac{P_2}{2} - D_3\frac{P_3}{2} - \left(A_A\frac{\lambda}{2} + A_B\frac{\lambda}{2}\right)M_A = 0 \\ \frac{P_A}{4\lambda}\left(C_A + C_B\right) + C_1\frac{P_1}{4\lambda} + C_2\frac{P_2}{4\lambda} + C_3\frac{P_3}{4\lambda} - D_1\frac{M_1}{2} - D_3\frac{M_3}{2} - D_A\frac{M_A}{2} - D_B\frac{M_A}{2} = 0 \end{cases}$$

ESERCIZIO F2 : Spinta attiva e resistenza passiva lungo un paramento verticale



PUNTO	σ_{v0}	u_0	σ'_{v0}	K_a	σ'_a
A	0	0	0	0,31	0
B^{su}	51	0	51	0,31	15,8
$B^{giù}$	51	0	51	0,24	12,2
E	89	0	89	0,24	21,4
C^{dx}	127	20	107	0,24	25,7

PUNTO	σ_{v0}	u_0	σ'_{v0}	K_p	σ'_p
D	0	0	0	4,2	0
F	19	0	19	4,2	79,8
C^{sx}	57	20	37	4,2	155,4

$R_1 = 23,7$ kN
$R_2 = 24,4$ kN
$R_3 = 9,2$ kN
$R_4 = 42,8$ kN
$R_5 = 4,3$ kN

$P_A = 104,4$ kN

$$M_C = 4,3 \cdot 0,67 + 42,8 \cdot 1 + 9,2 \cdot 2,67 + 24,4 \cdot 3 + 23,7 \cdot 5 = 262 \text{ kNm}$$

$$d = \frac{M_C}{P_A} = 2,51 \text{ m}$$

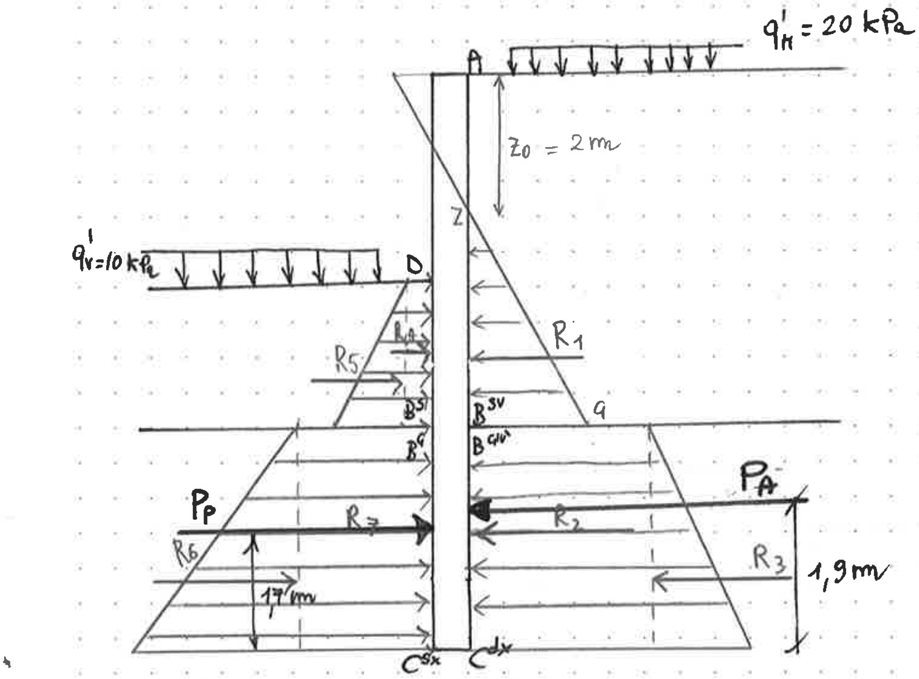
$R_6 = 39,9$ kN
$R_7 = 159,6$ kN
$R_8 = 75,6$ kN

$P_p = 275,1$ kN

$$M_C = 39,9 \cdot 2,34 + 159,6 \cdot 1 + 75,6 \cdot 0,67 = 304 \text{ kNm}$$

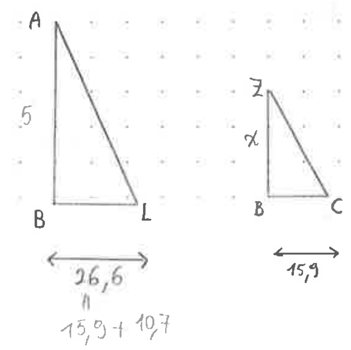
$$d = \frac{M_C}{P_p} = 1,1 \text{ m}$$

ESERCIZIO F4: Spinta attiva e resistenza passiva lungo un paramento verticale



PUNTO	σ_{vo}	K_a	$\sigma_{vo} \cdot K_a$	$q' \cdot K_a$	$\sigma_a = \sigma_{vo} K_a + q' K_a - 2c'\sqrt{K_a}$	16,7
A	0	0,31	0	6,2	−10,7	16,7
B^{sv}	85	0,31	26,4	6,2	15,9	16,7
B^{glo}	85	0,24	20,4	4,8	25,2	—
C^{dx}	142	0,24	34,08	4,8	38,88	—

PUNTO	σ_{vo}	K_p	$\sigma_{vo} K_p$	$q' K_p$	$\sigma_p = \sigma_{vo} K_p + q' K_p$
D	0	3,25	0	32,5	32,5
B^{S}	34	3,25	110,5	32,5	143
B^{G}	34	4,2	142,8	42	184,8
C^{sx}	91	4,2	382,2	42	424,2



$$x : 5 = 15,9 : 26,6$$

$$x = 2,98 \cong 3 \Rightarrow z_0 = 5 - x = 2\,m$$

- Analisi a breve termine (σ_{TOT}) → condizioni non drenate
↓
$K_A = K_P = 1$ poichè $\phi' = 0$

ARGILLA $\sigma_a = \sigma_{vo} - 2S_u + q$
SABBIA $\sigma_a = \sigma'_{vo} \cdot K_a + q' K_a$

PUNTO	σ_{vo}	u_o	σ'_{vo}	K_a	$q' \cdot K_a$	$2S_u$	σ_a
A	0	0	0	1	10	90	−80
F	60	0	60	1	10	90	−20
B^{su}	100	20	80	1	10	90	20
$B^{giù}$	100	20	80	0,26	2,6	—	23,4
C^{dx}	154	50	104	0,26	2,6	—	29,64

PUNTO	σ_{vo}	u_o	σ'_{vo}	K_p	~~$q' \cdot K_p$~~	$2S_u$	σ_p
D	0	0	0	1	~~10~~	90	90
B^{su}	40	20	20	1	~~10~~	90	130
$B^{giù}$	40	20	20	3,85	~~38,5~~	—	77
C^{sx}	94	50	44	3,85	~~38,5~~	—	169,4

ARGILLA $\sigma_p = \sigma_{vo} + 2S_u$
SABBIA $\sigma_p = \sigma'_{vo} \cdot K_p$

$R_1 = 9,7$ kN
$R_3 = 70,2$ kN
$R_2 = 5,1$ kN
$P_A = 85$ kN

M_C: $9,7 \cdot 3,32 + 70,2 \cdot 1,5 + 5,1 \cdot 1 = 107,5$
$d = 1,26$ m

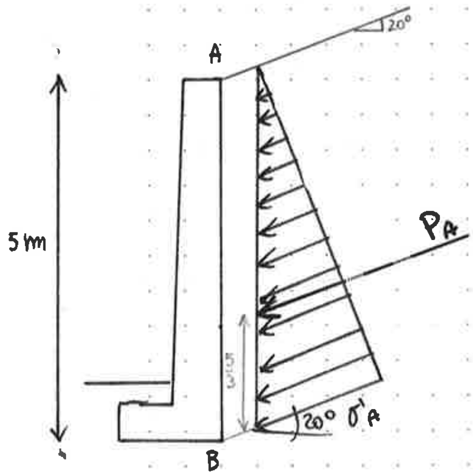
$R_7 = 180$ kN
$R_6 = 40$ kN
$R_5 = 231$ kN
$R_4 = 138,6$ kN
$P_p = 589,6$ kN

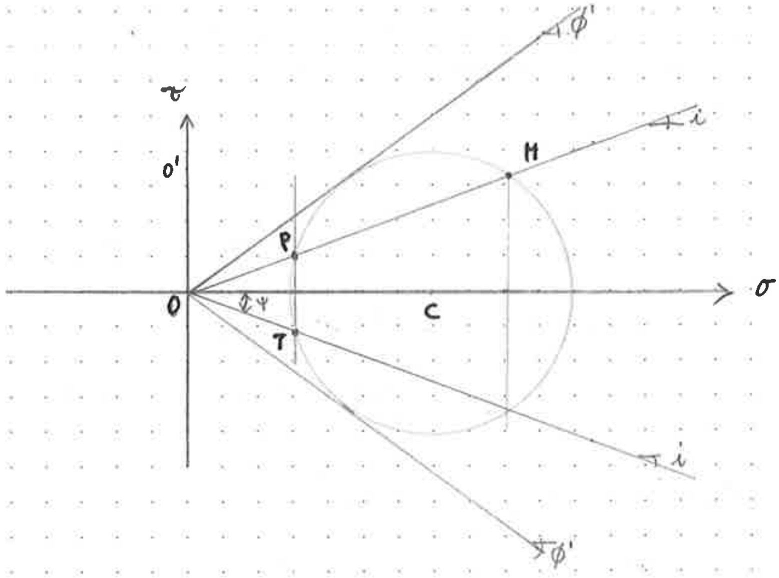
M_C: $180 \cdot 4 + 0,67 \cdot 40 + 1,5 \cdot 231 + 138,6 \cdot 1$
$= 1231,9$
$d = 2,1$ m

▶ ESERCIZIO F6: Calcolo della spinta attiva con Rankine

Calcola e disegna la spinta attiva lungo AB e disegnare P_A (tracciare la potenziale superficie di rottura che delimita il cuneo)

MURO 1



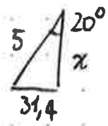


Si individua il punto M $\rightarrow$ $\sigma_M = \gamma \cdot z \cdot \cos^2 i = 20 \cdot 5 \cdot \cos^2 20° = 88{,}3$ kPa

$OT = 1{,}6$ mm

$OT : x = O'M : \sigma_M$

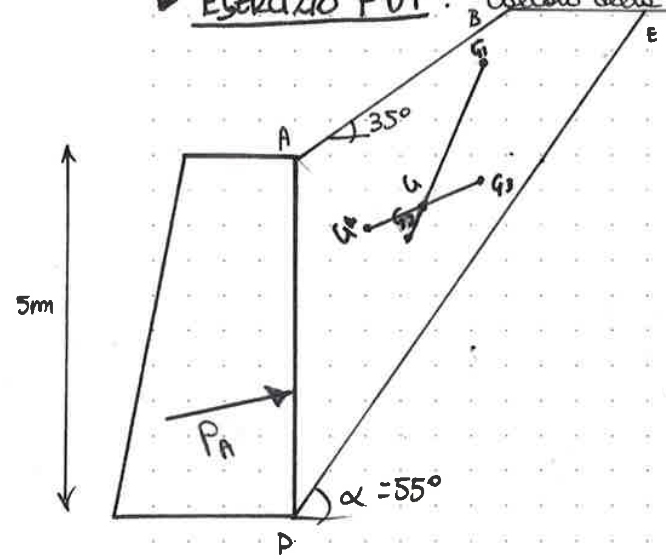
$16 : x = 45 : 88{,}3 \quad \rightarrow x = \sigma'_a = 31{,}4$ kPa la sua inclinazione $\psi \equiv i = 20°$



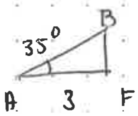
$x = 5 \cdot \cos 20° = 4{,}7$ m

$\Rightarrow P_A = A_{triangolo} = 73{,}8$ kN

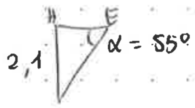
▶ **ESERCIZIO F07**: Calcolo della spinta attiva con Coulomb



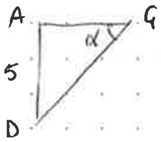
$$W_T = \gamma \cdot W = 18 \cdot A_{ADBE}$$



$BF = 3 \tan 35° = 2,1$



$HE = 1,47$



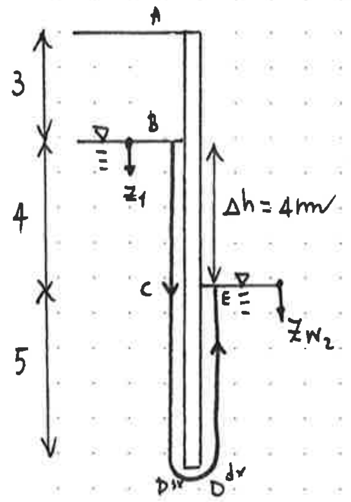
$AG = 5 \cdot \cot g\,\alpha = 3,5$

$FG = 0,5$

$$W = 1,05 + 1,54 + 3,15 + 8,75 = 14,5$$

$$W_T = 18 \cdot 14,5 = 261 \ \frac{kN}{m}$$

▶ ESERCIZIO FB : Calcolo delle pressioni dell'acqua su una paratia



$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{4}{14} \cong 0{,}286$$

$$u = (\gamma_W + i\,\gamma_W)z \rightarrow \uparrow$$

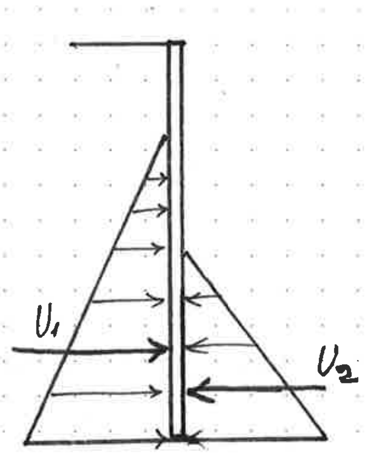
$$u = (\gamma_W - i\,\gamma_W)z \quad \downarrow$$

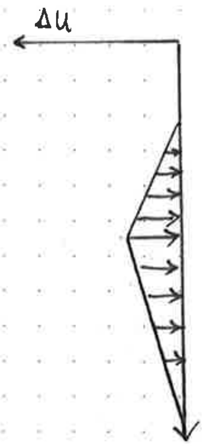
PUNTO	z	u
A	–	–
B	0	0
C	4	28
D_{sx}	9	63

PUNTO	u
E	0
D^{dx}	50

PUNTO	u
B	0
C	28,56
D^{sx}	64,3

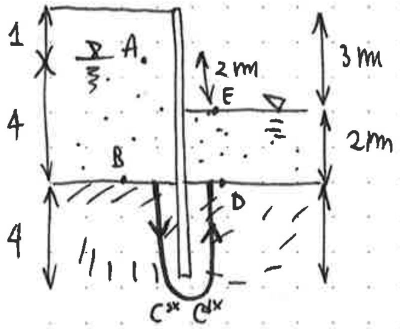
PUNTO	u
E	0
D^{dx}	64,3





$$\left.\begin{array}{l} U_1 = 289{,}35 \\ U_2 = 160{,}75 \end{array}\right\} \quad U = U_1 - U_2 = 137{,}6 \ \frac{kN}{m}$$

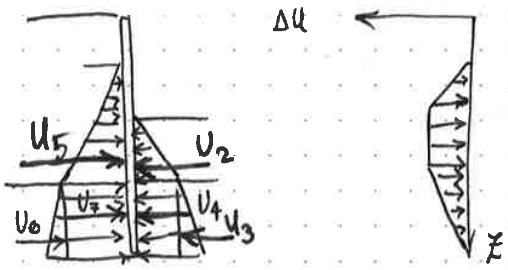
▶ ESERCIZIO F10 : Calcolo delle pressioni dell'acqua su una paratia



$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{2m}{8} = 0.25$$

Punto	u
A	0
B	40
C^{sx}	70

Punto	u
E	0
D	20
C^{dx}	70



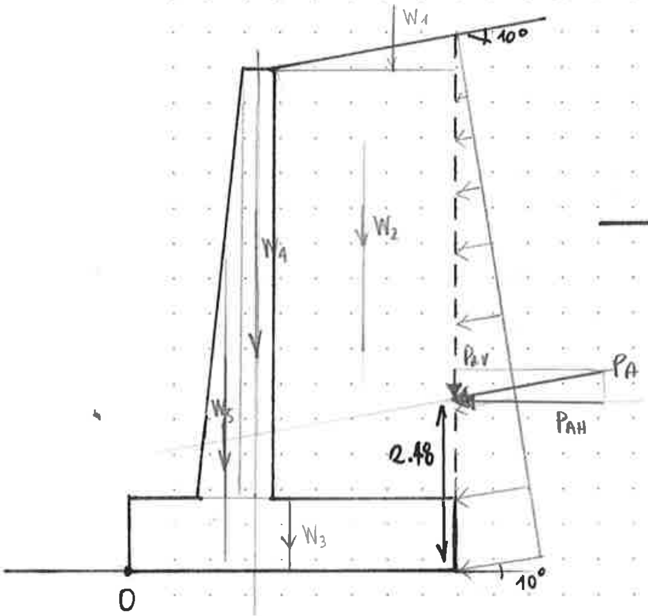
$$\left.\begin{array}{l} U_2 = 20 \\ U_3 = 100 \\ U_4 = 80 \end{array}\right\} U_v = 200\ \frac{kN}{m}$$

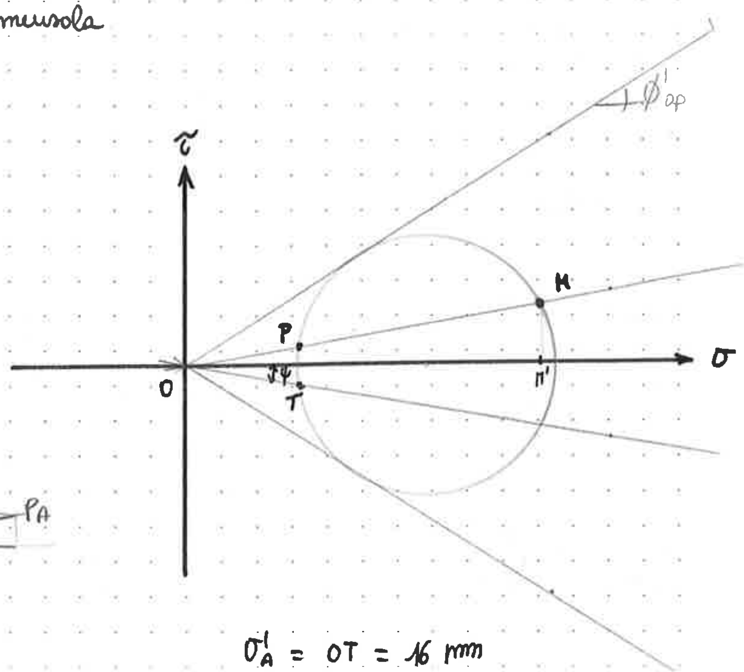
$$\Rightarrow \quad U = 100\ \frac{kN}{m}$$

$$\left.\begin{array}{l} U_5 = 80 \\ U_6 = 60 \\ U_7 = 160 \end{array}\right\} U_m = 300\ \frac{kN}{m}$$

ESERCITAZIONE G

▶ ESERCIZIO G1: Muro a mensola





$\sigma'_A = OT = 16$ mm

$OM' = 50$ mm $16 : 50 = x : 122,2$

$OM' = \sigma_{vo} \cdot \cos^2 i = \gamma \cdot z \cdot \cos^2 i = 122,2$

$\sigma'_A = 39,1$ kN

$P_A = 143,85$ kN/m

$\gamma = 18$ kN/m³

$\gamma_{cls} = 25$ kN/m³

$\phi'_{op} = 32°$

$\phi'_{cv} = 26°$

Verificare la stabilità e calcolare
- FS ribaltamento
- FS scorrimento
- FS capacità portante

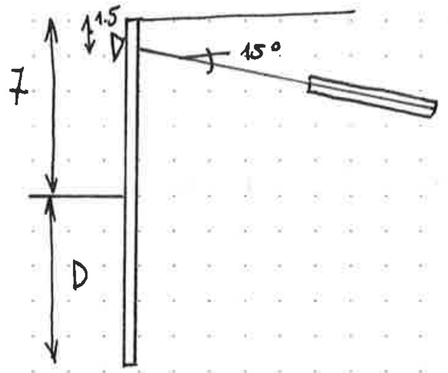
$W_1 = 0,55$, $W_2 = 15$ } $W_T = 280$ kN/m

$W_4 = 2,4$, $W_5 = 1,8$, $W_3 = 4,5$ } $W_{cls} = 217,5$ kN/m

$W_{TOT} = 497,5$ kN/m

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 83 di 94

▶ ESERCIZIO G2 : Diaframma con tirante



- interassi tiranti $i = 1{,}5\,m$
- $\gamma = 19\ kN/m^3$
- $\phi' = 36°$
- $K_{ph}(\delta) = 6{,}9$

$FS_{min} = 2$

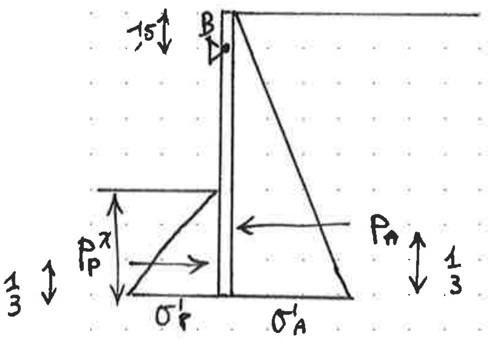
① $D_{min} = ?$

② T_{min} ? $l_e = ?$

③ Diagramma M lungo il diaframma e trova M_{max}

① Infissione minima, T_{min}

$$K_p^* = \frac{K_p^h}{FS}$$



Spinta attiva Rankine

$$K_a = tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi'}{2}\right) = 0{,}26$$

$$\sigma'_a = \sigma'_{v0} \cdot K_a$$

~~Si assume $\delta \cong \frac{2}{3}\phi' = 24°$~~

$$\cancel{K_a = \frac{0{,}655}{0{,}914\left[1 + \sqrt{\frac{0{,}165}{0{,}914}}\right]^2} = 0{,}354}$$

$$\cancel{K_p^d = \frac{K_p}{FS} = \frac{6{,}9}{2{,}5} = 2{,}76}$$

$$\circlearrowright B) \quad P_p\left(\frac{2}{3}x + \underset{-1{,}5}{7}\right) - P_A\,\frac{2}{3}\left(\underset{-1{,}5}{7} + x\right) = 0$$

$$P_A = \frac{\sigma'_{v0} \cdot K_a \cdot (7+x)}{2} = \frac{\gamma}{2} \cdot K_a\,(7+x)^2$$

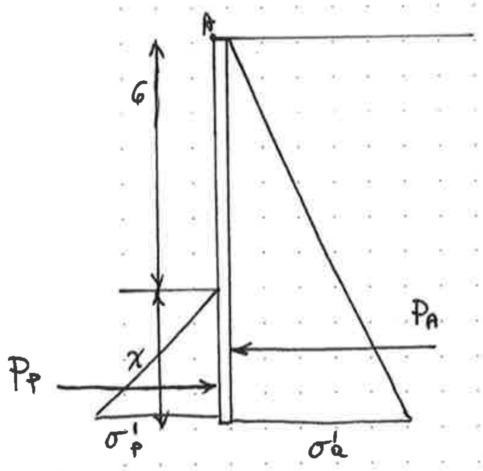
$$P_p = \frac{\sigma'_{v0} \cdot K_p^* \cdot (x)}{2} = \frac{\gamma}{2} \cdot K_p^* \cdot x$$

$$\frac{\gamma}{2} \cdot K_p^* \cdot x \cdot \left(\frac{2}{3}x + 5{,}5\right) - \frac{\gamma}{2} K_a (7+x)^2 (x + 5{,}5) = 0$$

$x \cong 2\,m$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 85 di 94

▶ ESERCIZIO G3: Diaframma a mensola



Terreno incoerente omogeneo
$\phi' = 35°$
$\gamma = 18 \ kN/m^3$
$K_{P}(\delta) = 6{,}42$

$$K_A = \frac{1 - \operatorname{sen} \phi'}{1 + \operatorname{sen} \phi'} = 0{,}27$$

$$\sigma'_a = K_a \cdot \sigma'_{v0} = 0{,}27 \cdot \gamma \cdot (6+x) = 4{,}86\,(6+x)$$

$$\sigma'_p = K_p^* \cdot \sigma'_{v0} = \frac{6{,}42}{2}\,\gamma\,(x) = 3{,}21 \cdot 18 \cdot x = 57{,}8x$$

$$\cancel{A)\ P_A \cdot \frac{2}{3}(6+x) - P_p\left(6 + \frac{2}{3}x\right) = 0}$$

$$\cancel{\frac{4{,}86 \cdot 2}{3}(6+x)^2 - 57{,}8\,x\left(6 + \frac{2}{3}x\right) = 0}$$

$$P_A = \frac{\sigma'_a \cdot (6+x)}{2} = \frac{4{,}86}{2}(6+x)^2 = 2{,}43\,(6+x)^2$$

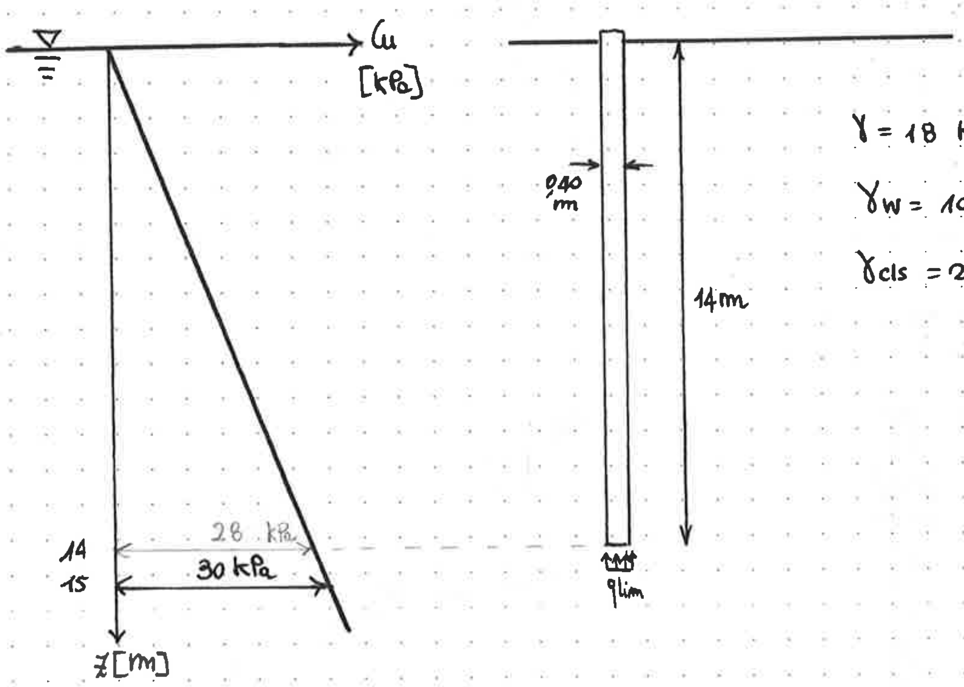
$$P_P = \frac{57{,}8\,x \cdot x}{2} = 28{,}9\,x^2$$

$$A)\quad 2{,}43\,(6+x)^2 \cdot \frac{2}{3}(6+x) - 28{,}9\,x^2\left(6 + \frac{2}{3}x\right) = 0$$

$x = 1{,}5 \ \rightarrow\ 228$
$x = 3 \ \rightarrow\ -1940{,}22$
$\rightarrow x = 4{,}7 \ m$

ESERCITAZIONE

▶ ESERCIZIO #1 : Palo infino in argilla NC



$\gamma = 18\ kN/m^3$

$\gamma_w = 10\ kN\ m^3$

$\gamma_{cls} = 24\ kN/m^3$

Valutare la portata limite e quella ammissibile assiale del palo infimo utilizzando l'approccio α e β (con $\beta = 0,3$)

① APPROCCIO α

$$Q_T + W = Q_b + Q_s$$

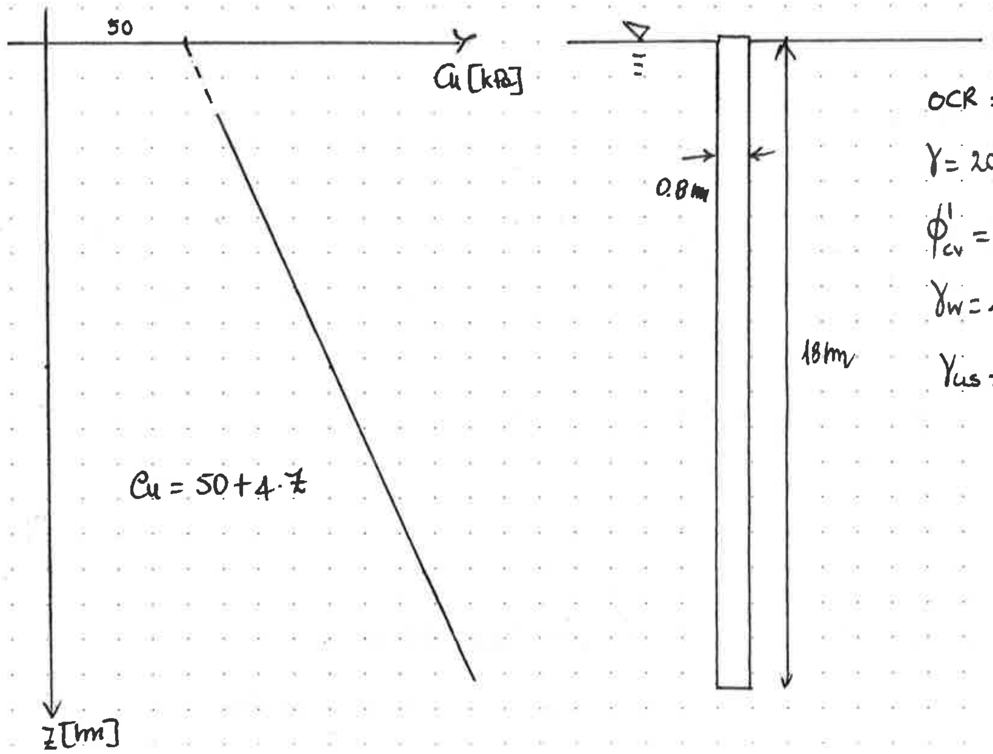
$$Q_b = q_{lim} \cdot A_b = \left(S_u N_c + \sigma_{v0}\right) A_b$$

$$\sigma_{v0} = \gamma \cdot z = 18 \cdot 14 = 252\ kPa$$

$$A_b = \pi r^2 = 0,125\ m^2$$

$$Q_b = \left(27,5 \cdot 9 + 252\right) \cdot 0,125 = 63 \qquad \frac{kN}{\cancel{m^2}}\ \cancel{m^2}$$

▶ ESERCIZIO H2: Palo trivellato in argille OC



OCR = 8

$\gamma = 20\ kN/m^3$

$\phi'_{cv} = 28°$

$\gamma_w = 10\ kN/m^3$

$\gamma_{cls} = 24\ kN/m^3$

Palo trivellato → metodo β e metodo Skempton:

<u>metodo β</u>

$\sigma'_{v0}(z=9m) = \sigma_{v0}(z=9m) - u_0(z=9m) = 180 - 90 = 90\ kPa$

$\beta = (1 - \sin\phi')\tan\phi' = 0{,}28$

$\cancel{Q_s = f_s\ A_s = \beta \cdot \sigma'_{v0} \cdot A_s = 0{,}28 \cdot 90 \cdot 2r\pi \cdot h = 1139{,}4\ kN}$

$\cancel{Q_b = q_{lim} \cdot A_b = (S_u \cdot N_c + \sigma_{v0})A_b = (\overset{122}{86} \cdot 9 + 360) \cdot 0{,}5 = 729\ kN}$

<u>metodo Skempton:</u>

$\alpha = 0.45$

$\overline{S_u} = 50 + 4 \cdot 9 = 1800\ kPa$

$Q_s = f_s \cdot A_s = (\alpha \cdot \overline{S_u})\ A_s = 1750\ kN$

$Q_b = q_{lim} \cdot A_b = (S_u \cdot N_c + \sigma_{v0})A_b = (122 \cdot 9 + 360) \cdot 0{,}5 = 729\ kN$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 91 di 94

$Q_s = \bar{f}_s \cdot A_s = \frac{\overset{\approx 6{,}5}{q_c}}{150} A_s = 654 \text{ kN}$

METODO β

$f_s = \beta \cdot \sigma'_{vo} = k \cdot \tan\delta \cdot \sigma'_{vo} = 1{,}5\,(1-\sin\phi') \cdot \tan\phi' \cdot 171 = 76{,}26$

$Q_s = f_s \cdot A_s = 76{,}26 \cdot 12 \cdot 0{,}4 \cdot 3{,}14 = 1150 \text{ kN}$

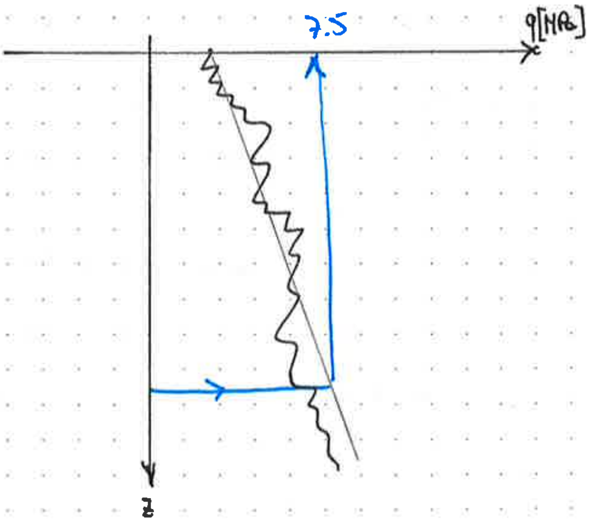
	METODO β	METODO De Beer
Q_{lim}	1984,8 kN	1408,8 kN
Q_{amm}	992,4 kN	563,5 kN

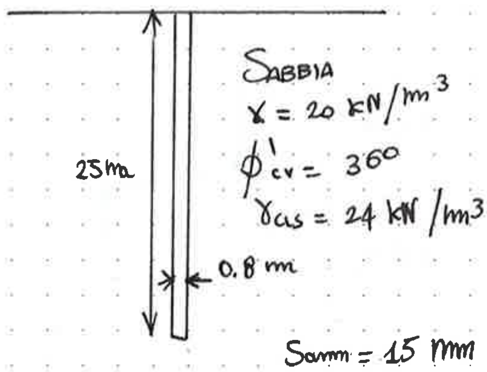
$Q_{lim} = Q_b + Q_s - W$

$Q_{amm} = \frac{Q_{lim}}{FS \approx 2.5}$

$W = \gamma \cdot A_b \cdot h = 45{,}2$

▶ **ESERCIZIO 4**: Palo trivellato in sabbia





$q_{0{,}05} = 0{,}05 \Rightarrow 0{,}2 \cdot q_c = 1500 \text{ kPa}$

$Q_{b,0{,}05} = 0{,}2 \cdot q_c \cdot r^2 \cdot \pi = 750 \text{ kN}$

↓ cedimento del 5 %

nel nostro caso $\frac{S}{D} = \frac{15}{400} = 3{,}75\,\% \Rightarrow Q_{b,0{,}05} : 5 = Q_{b,0{,}0375} : 3{,}75$

$Q_{b,0{,}0375} = 562{,}5$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 93 di 94