

Corso di Fondazioni - D2180
Esempi di Calcolo

FONDAZIONE A PLINTO QUADRATO

L'esempio di calcolo riguarda una fondazione superficiale a plinto quadrato, soggetta a due differenti configurazioni di carico:

A) CARICO CENTRATO: $N=850 \text{ KN}$

B) CARICO ECCENTRICO: $N=850 \text{ KN}$
 $H=100 \text{ KN}$
 $M=200 \text{ KN}$

L'esempio viene sviluppato seguendo il filo logico delineato dai seguenti punti:

1) TERRENO $\Rightarrow$ TASSO DI LAVORO $\Rightarrow$ B (PREDIMENSIONAMENTO)

2) VERIFICHE GEOTECNICHE:

- CEDIMENTI
- CAPACITA' PORTANTE $\Rightarrow$ CONFERMA O VARIAZIONE DI B

3) PUNZONAMENTO $\Rightarrow$ ALTEZZA PLINTO

4) VERIFICHE STRUTTURALI (A_f) E DETTAGLI COSTRUTTIVI



DATI GEOMETRICI E GEOTECNICI

Lato pilastro: $a=40$ cm

Piano di posa: -3.5m da PC

$\gamma=18$ KN/m³

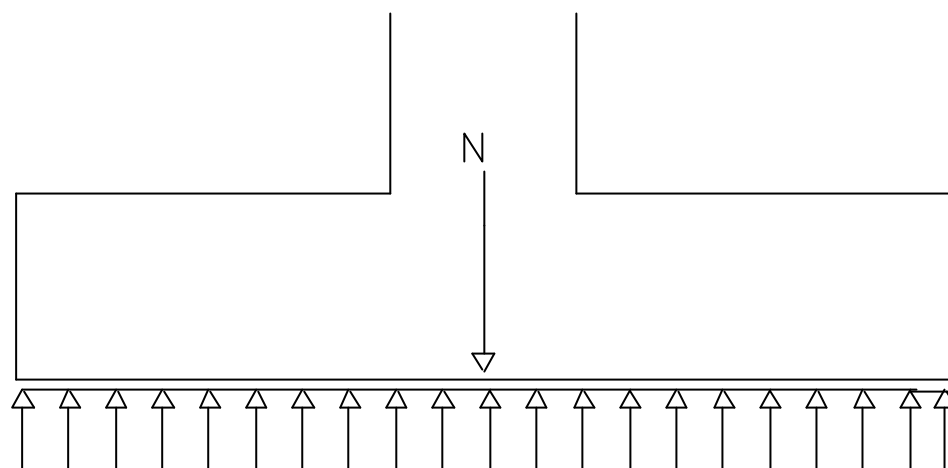
Stratigrafia di riferimento

Quota		Tipo di Terreno	SPT	NSPT [colpi/ 30cm]	σ'_{vo} [kPa]	C_N	N_1	D_R	D_R media
0m		Terreno di riporto con ciottoli, mattoni e macerie							
2.5m									
		Limo sabbioso con sottili lenti di argilla	3.00m 7-9-12	21	54	1.29	27.09	0.67	
			4.50m 8-10-13	23	81	1.10	25.3	0.65	0.63
			6.00m 11-9-12	21	108	0.96	20.16	0.58	
6.3m									
		Sabbia fine con limi	8.50m 13-14-16	30	153	0.79	23.7	0.62	0.62
9.2m									
		Sabbia da fine a media con qualche ciotolo	10.50m 12-25-28	53	189	0.77	40.81	0.82	
			13.00m 16-24-26	50	234	0.69	34.5	0.75	0.78



A) CARICO CENTRATO

PREDIMENSIONAMENTO



$$\sigma_{adm} = 200 \text{ KPa}$$

$$B = \sqrt{\frac{N}{s_{adm}}} = \sqrt{\frac{850}{200}} = 2.05m$$

Assumo

$$B = 2m$$

$$q_s = \frac{N}{B^2} = 212 \text{ KPa}$$



VERIFICA CEDIMENTI

Requisito:

$$s_{30anni} \leq 25mm$$

$$s = f_s \cdot f_H \cdot f_t \cdot \left[\left(q - \frac{2}{3} \cdot s'_{vo} \right) \cdot B^{0.7} \cdot I_c \right] \quad \begin{bmatrix} mm \\ KPa \\ m \end{bmatrix}$$

$$f_s = f_H = 1$$

$$s'_{vo} = z \cdot g = 3.5 \cdot 18 = 63 \text{ KPa}$$

$$f_t = 1 + R_3 + R \cdot \log_{10} \frac{t}{3} = 1 + 0.3 + 0.2 \cdot \log \frac{30}{3} = 1.5$$

NSPT crescenti con z $\Rightarrow$ Fig 5.21 pag 283

$$z_i = 1.6 \text{ m} \quad (B=2m) \\ (3.5 < z < 5.1)$$

$$N_{AV=22}$$

$$I_c = \frac{1.706}{N_{AV}^{1.4}} = \frac{1.706}{22^{1.4}} = 0.0225$$

$$s = f_s \cdot f_H \cdot f_t \cdot \left[\left(q - \frac{2}{3} \cdot s'_{vo} \right) \cdot B^{0.7} \cdot I_c \right] \quad \begin{bmatrix} mm \\ KPa \\ m \end{bmatrix}$$

$$= 1.5 \cdot \left(212 - \frac{2}{3} \cdot 63 \right) \cdot 2^{0.7} \cdot 0.0225 = 9.3mm$$



VERIFICA CAPACITA' PORTANTE

Requisito:

$$F_s > 2.5$$

$$\Phi'_{CV} = 33^\circ \quad (\text{limo e sabbia fine})$$

$$N_g(\Phi' = 33^\circ) = 35.2$$

$$s_g = 1 + 0.1 \frac{B}{L} K_p(33^\circ) = 1 + 0.1 \cdot 3.4 = 1.34$$

$$q_{LIM} = \frac{1}{2} \cdot g' \cdot B \cdot N_g \cdot s_g =$$

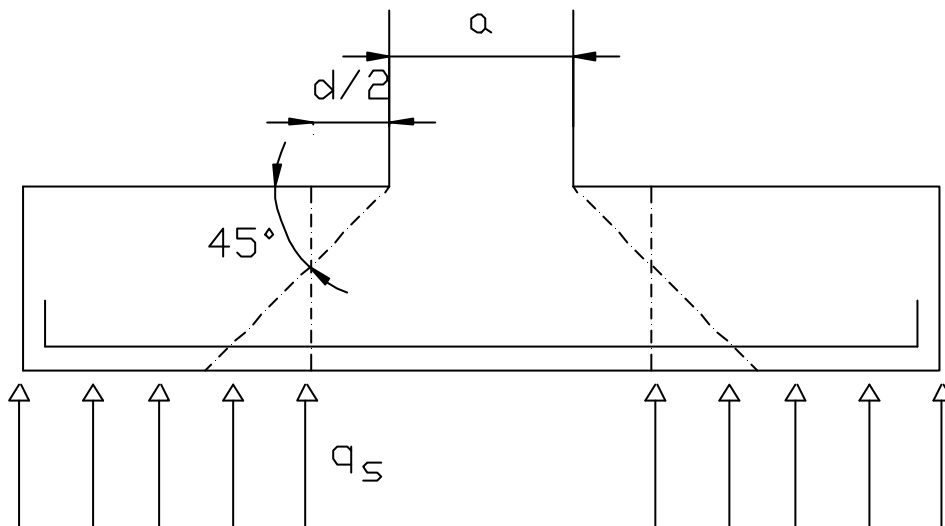
$$= \frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 2 \cdot 35.2 \cdot 1.34 = 850 \text{ KPa}$$

$$F_s = \frac{q_{LIM}}{q_s} = \frac{850}{212} = 4$$



PUNZONAMENTO

VERIFICA ACI



$$V_d \leq V_{Rd}$$

$$V_d = g_f \cdot q_s \cdot [B^2 - (a + d)^2]$$

$$g_f = \begin{cases} 1.4 & G \\ 1.7 & Q \end{cases} = 1.5$$

$$V_{Rd} = n_{Rd} \cdot u \cdot d \quad u = 4 \cdot (a + d)$$

CLS:

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa} \quad (= R_{bk} = 250 \text{ Kg / cm}^2) \quad |$$

$$n_{Rd} = 0.35 \cdot \sqrt{f_{cd}} = 1.27 \text{ MPa}$$



Dove v_{Rd} è il minore tra:

$$-n_{Rd} = 0.09 \cdot \left(2 + \frac{4}{l} \right) \cdot \sqrt{f_{cd}}$$

$$l = \frac{a_2}{a_1} \geq 1$$

$$-n_{Rd} = 0.09 \cdot \left(\frac{a_s \cdot d}{p} + 2 \right)$$

$$a_s = \begin{cases} 40 & \text{pilastro interno} \\ 30 & \text{pilastro perimetrale} \quad \text{eccentricità carico} \\ 20 & \text{pilastro spigolo} \end{cases}$$

$$-n_{Rd} = 0.35 \cdot \sqrt{f_{cd}}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{g_{cls}} = \frac{f_{ck}}{1.5}$$

$$V_d = 1.5 \cdot 212 \cdot (2^2 - (0.4 + d)^2)$$

$$V_{Rd} = 1270 \cdot 4 \cdot (0.40 + d) \cdot d$$

$$V_d = V_{Rd}$$

$$d = 0.31 \text{ m}$$

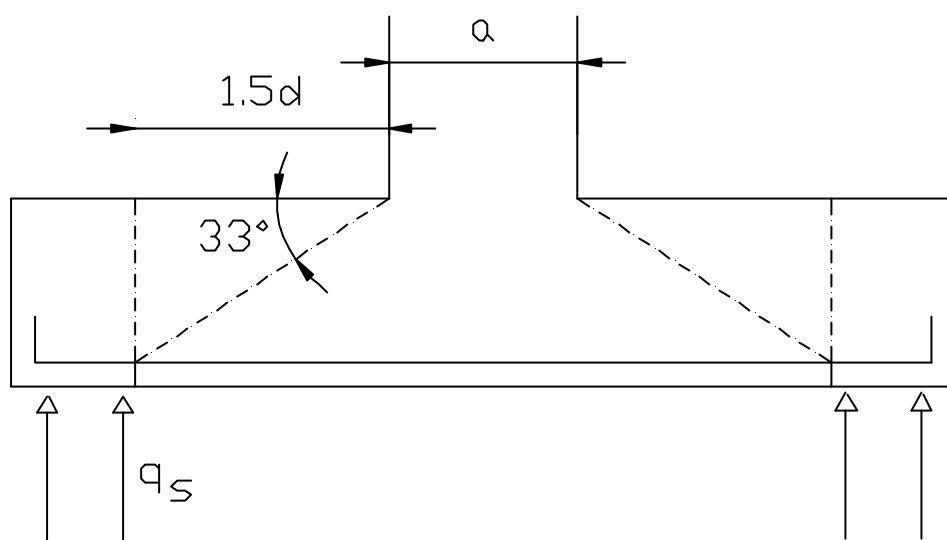
Arrotondare ai 5cm

$$d = 0.35 \text{ m}$$

$$h = d + c = 0.35 + 0.05 = 0.40 \text{ m}$$



VERIFICA EC2



$$g_f = \begin{cases} 1.3 & G \\ 1.5 & Q \end{cases} = 1.4$$

$$V_{pd} = s_{td} \cdot [B \cdot L - A_p]$$

$$A_p = \begin{cases} a_1 \cdot a_2 + 3 \cdot d \cdot (a_1 + a_2) + p \cdot (1.5d)^2 & \text{area con raccordi circolari} \\ (a_1 + 3d)(a_2 + 3d) & \text{area ret tangolare (approssimata)} \end{cases}$$



Resistenza V_{pu}

$$V_{pu} = S_p \cdot t_{Rd} \cdot K \cdot (1.2 + 40 \cdot r_l)$$

$$t_{Rd} \left[N / mm^2 \right] = \begin{cases} 0.26 & f_{ck} = 20 \\ 0.30 & f_{ck} = 25 \end{cases}$$

$$S_p = \begin{cases} (2a_1 + 2a + 3pd) \cdot d & \text{con raccordi circolari} \\ (2a + 2a + 12d) \cdot d & \text{Area rettangolare} \end{cases}$$

$$k = 1.6 - d[m] \geq 1$$

$$r_l = \sqrt{r_{lx} \cdot r_{ly}} \quad \text{percentuale geometrica dell'armatura longitudinale}$$

$$0.0015 \leq r_l \leq 0.015$$

VERIFICA

$$b \cdot V_{pd} \leq V_{pu}$$

$$b = \begin{cases} 1 & \text{carico centrato} \\ 1.15 & \text{carico eccentrico} \end{cases}$$



NB:

1) La verifica a PUNZONAMENTO è in genere più restrittiva della verifica a taglio e generalmente la sostituisce.

NON SEMPRE PERO'!

Dipende da:

- Geometria plinto
- Geometria pilastro
- Eccentricità del carico (vedi Fig 8.26 pag. 408)

2) L'azione biassiale e la rottura per punzonamento (tridimensionale) si può avere per carichi non troppo eccentrici, altrimenti si ricade nella rottura per taglio della mensola più sollecitata. Indicativamente si esegue la verifica a punzonamento fintanto che la risultante è interna al nocciolo centrale di inerzia della fondazione (interamente reagente).

$$V_{pu} = S_p \cdot t_{Rd} \cdot K \cdot (1.2 + 40 \cdot r_l)$$

$$S_p = \left\{ (2a_1 + 2a_2 + 3pd) \cdot d \right.$$

$$= (1.6 + 3 \cdot p \cdot d) \cdot d$$

$$k = 1.6 - d[m] \geq 1$$

$$r_l = 0.0015$$

$$V_{pu} = (1.6 + 3 \cdot p \cdot d) \cdot d \cdot 260 \cdot (1.6 - d)(1.2 + 40 \cdot 0.0015)$$

$$V_{pd} = V_{pu}$$

$$10.45 \cdot d^3 - 22.04 \cdot d^2 - 5.25 \cdot d + 3.84 = 0$$

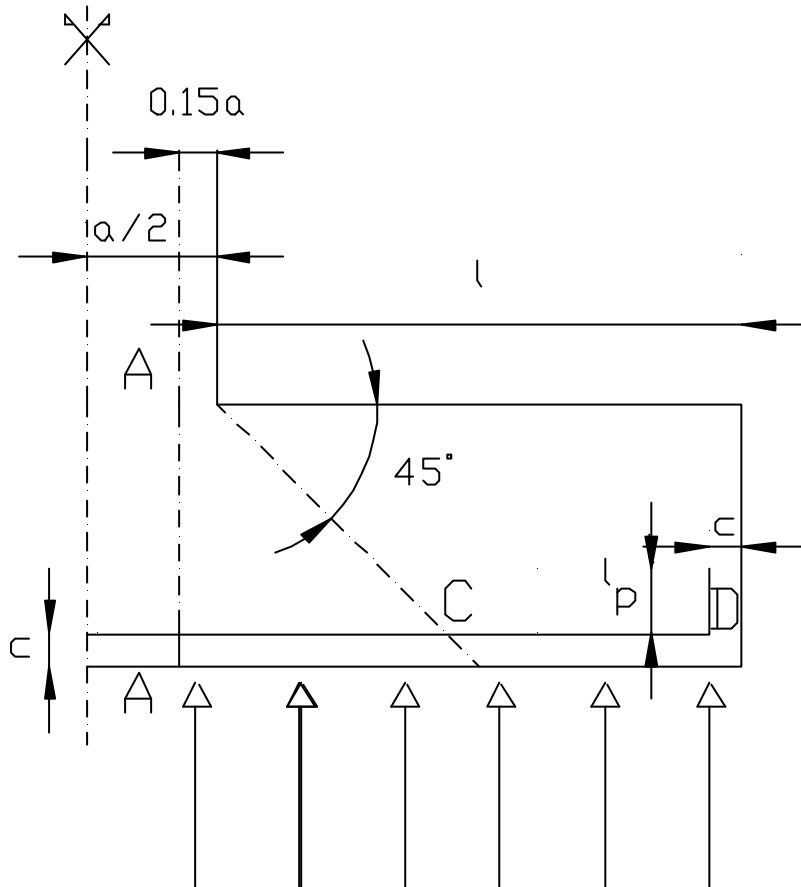
$$d = 0.34$$

Si assume:

$$d = 0.35 \text{ m}$$



ARMATURA A FLESSIONE (EC2)



$$l = \frac{B - a}{2} = 0.80m$$

$$\frac{l}{h} = \frac{0.80}{0.40} = 2 \quad \text{plinto snello}$$

$$M_{AA} = q \cdot B \cdot \frac{(l + 0.15 \cdot a)^2}{2} = 212 \cdot 2 \cdot \frac{(0.8 + 0.06)^2}{2} = 156.78 \text{ KN} \cdot m$$

$$A_f^* = \frac{M_d}{0.9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{g_f \cdot M_{AA}}{0.9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{1.4 \cdot 156.78 \cdot 10^6}{0.9 \cdot 383 \cdot 350} = 1819 \text{ mm}^2$$

$$A_f = 12 \cdot \Phi 14 = 1848 \text{ mm}^2$$



ANCORAGGIO DA C

$$l_{b,eff} = l_b \cdot \frac{A_{teor,f}}{A_{reale,f}} \cdot \alpha$$

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{diritta} \\ 0.7 & \text{piego} \end{cases}$$

$$l_b = 35 \cdot \Phi = 35 \cdot 1.4 = 49$$

$$CD = 0.80 - 0.35 - 0.05 = 0.40m$$

Non basta.

Si piega la barra (minimo $5\Phi \Rightarrow 7cm \Rightarrow 10cm$)

Nuova lunghezza di ancoraggio reale= (10cm+CD) =0.50m

Nuova lunghezza ancoraggio minima=35*1.4*0.7=35cm

La lunghezza di ancoraggio è sufficiente

DISPOSIZIONE ARMATURA

Nei plinti quadrati l'armatura va disposta in modo uniforme

$$i = \frac{200 - 10}{11} = 17 \text{ cm}$$

DETTAGLI COSTRUTTIVI

- Ferri di ripresa pilastro:

$$\Phi = 16 \text{ mm}$$

$$l = 35 \cdot \Phi = 56cm \Rightarrow 60 \text{ cm}$$

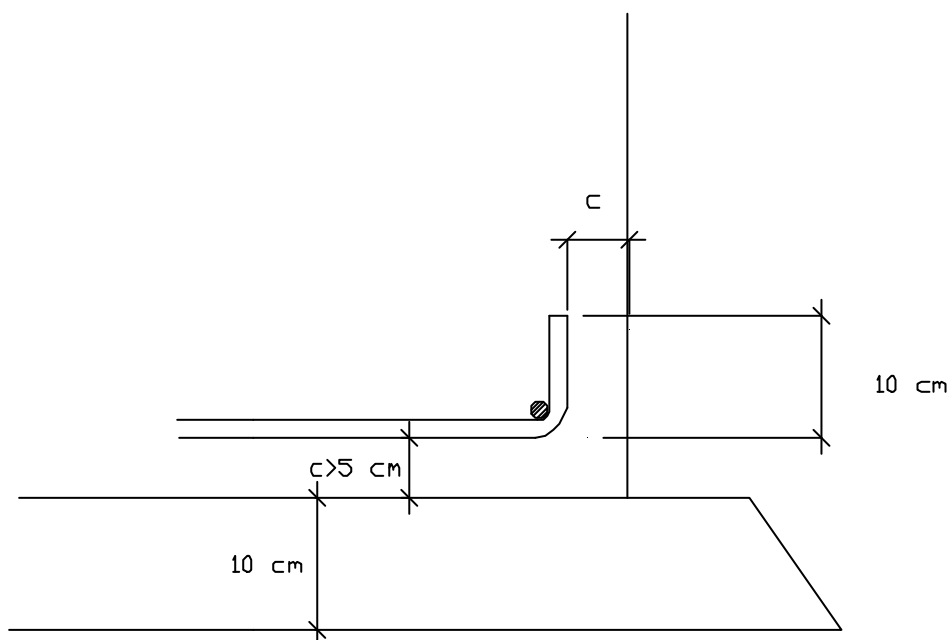
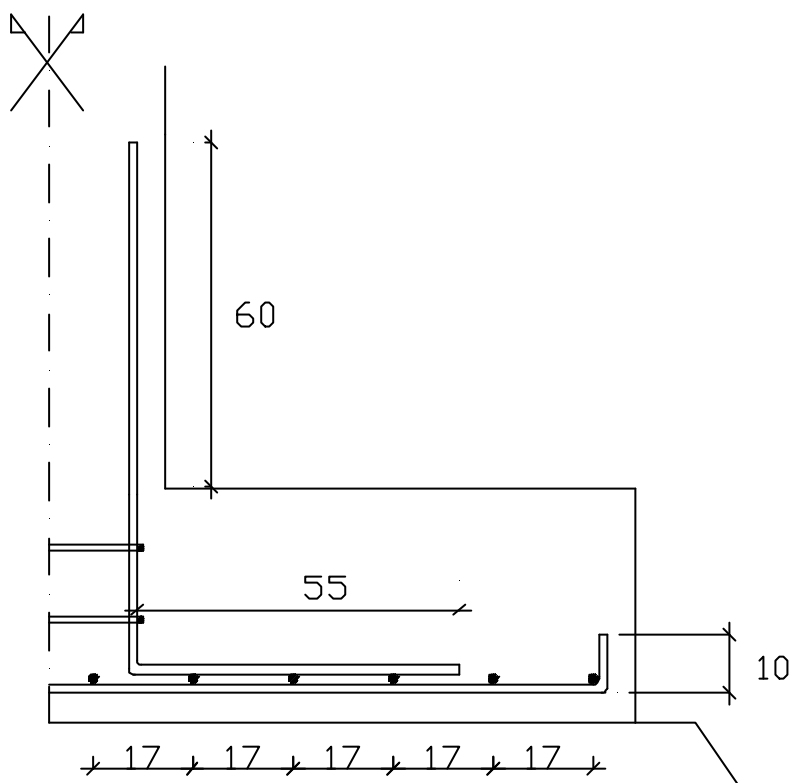
Base appoggio (>45 cm) $l = 55 \text{ cm}$

- Almeno 2 staffe

$$\Phi = 6:8 \text{ mm}$$



- Getto magrone pulizia $s=10$ cm (non deve sbordare più di 10 cm)





B) CARICO ECCENTRICO

$$\begin{aligned} N &= 850 \text{ KN} \\ H &= 100 \text{ KN} \\ M &= 200 \text{ KN} \end{aligned}$$

VERIFICA CAPACITA' PORTANTE

Nelle verifiche di capacità portante si considera la base ridotta della fondazione:

$$e = \frac{200}{850} = 0.24m$$

$$B^* = B - 2e = 1.52m$$

$$i_g = \left[1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot g\Phi'} \right]^{m+1}$$

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}} = 1.57$$

$$i_g = \left[1 - \frac{H}{N} \right]^{(m+1)} = \left[1 - \frac{100}{850} \right]^{2.57} = 0.72$$

$$q_{LIM} = \frac{1}{2} \cdot g' \cdot B \cdot N_g \cdot s_g =$$

con $q^* = 280 \text{ KPa}$

$$= \frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 1.52 \cdot 35.2 \cdot 1.26 \cdot 0.72 = 437 \text{ KPa}$$

$$F_s < 2.5$$

Tenendo conto della dilatanza:

Skempton $\Rightarrow$ densità relativa



$$C_N = \begin{cases} \frac{2}{1 + \frac{s'_{v0}}{100}} & \text{sabbia fine} \\ \frac{3}{2 + \frac{s'_{v0}}{100}} & \text{sabbia grossolana} \end{cases}$$

$$N_1 = C_N \cdot N_{SPT}$$

$$D_R = \sqrt{\frac{N_1}{60}}$$

Si assume un valore di densità relativa pari a 62%.

Relazione di Bolton per la dilatanza:

$$\Phi' = \Phi'_{cv} + m \cdot [D_R \cdot (10 - \ln(p'_f)) - 1]$$

m=3 condizioni assialsimmetriche

m=5 condizioni piane

$$p'_f \approx \frac{1}{10} q'_{lim}$$

$$q'_{lim} = 1500 KPa \Rightarrow p'_f = 150 KPa$$

$$\Phi' = \Phi'_{cv} + m \cdot [D_R \cdot (10 - \ln(p'_f)) - 1] = 33 + 3[0.62 \cdot (10 - \ln(150)) - 1] = 39^\circ$$

Impongo $\Phi' = 37^\circ$.

Si ottiene:

$$S_g = 1.30$$

$$N_g = 66.2$$



$$q_{LIM} = \frac{1}{2} \cdot g' \cdot B \cdot N_g \cdot s_g =$$

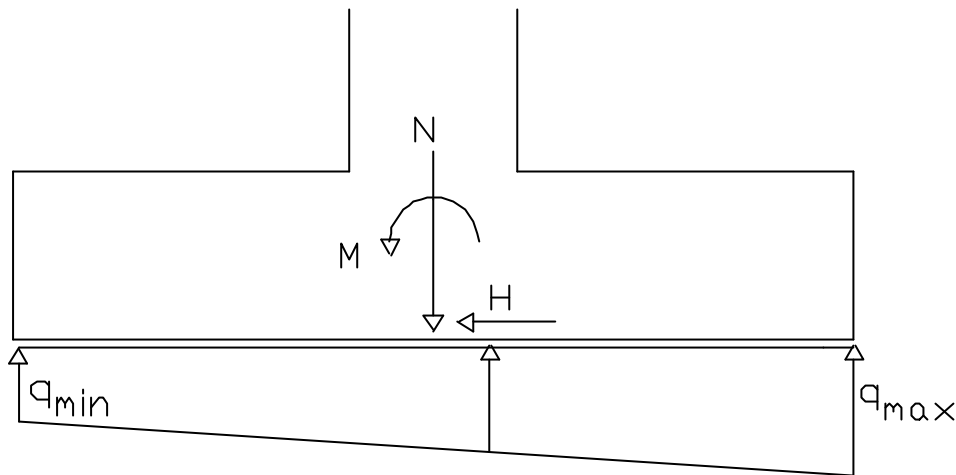
$$= \frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 1.52 \cdot 66.2 \cdot 1.30 \cdot 0.72 = 848 \text{ KPa}$$

$$F_s = \frac{q'_{LIM}}{q'_s} = \frac{848}{280} > 2.5$$



PUNZONAMENTO (ACI)

non cambia nulla rispetto al caso A (PLINTO SNELLO)



VERIFICA A FLESSIONE

$$\begin{cases} s_C = \frac{N}{B^2} - \frac{6M}{B^3} = 625 \text{ KPa} \\ s_D = \frac{N}{B^2} + \frac{6M}{B^3} = 3625 \text{ KPa} \\ s_A = 212,5 + \frac{300}{200} \cdot 14 = 2335 \text{ KPa} \end{cases}$$

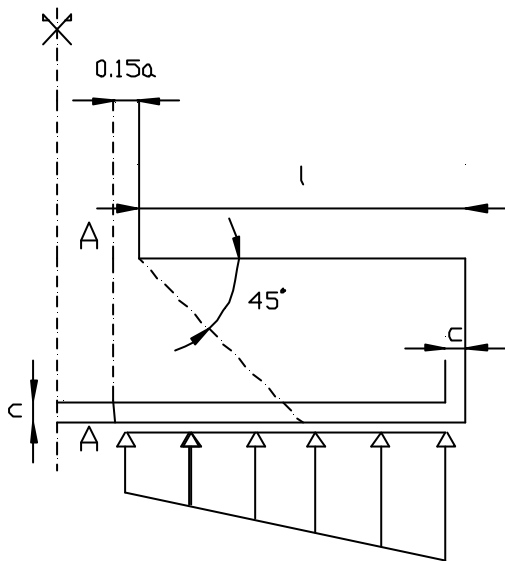
$$M = 2335 \cdot \frac{0,86^2}{2} + (3625 - 2335) \frac{0,86^2}{3} = 118,15 \frac{\text{KNm}}{\text{m}}$$

$$M_d = 1,4 \cdot 2 \cdot 118,15 = 330,82 \text{ KNm}$$

$$A_f = \frac{330,82 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 350 \cdot 383} = 2742 \text{ mm}^2$$

$$\Phi 16 = 201 \text{ mm}^2 \Rightarrow 14 \Phi 16 \Rightarrow 2814 \text{ mm}^2$$

$$i = \frac{190}{13} = 14 \text{ cm}$$



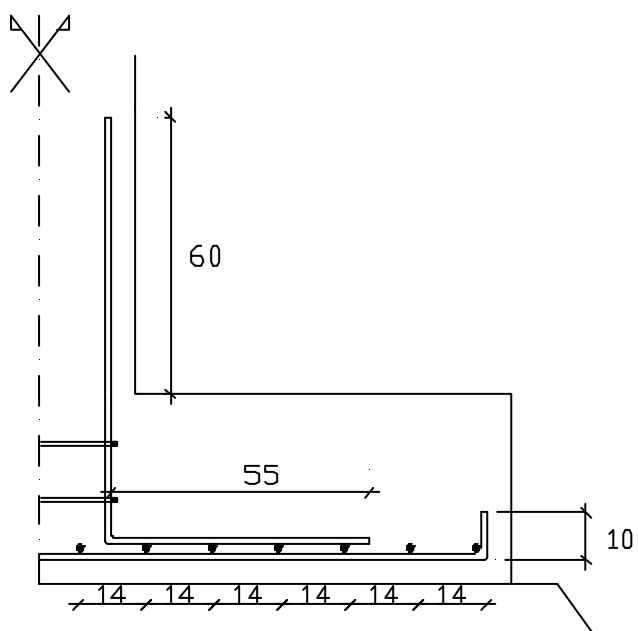
$$l_{eff} = 35 \cdot 18 \cdot \frac{2742}{2814} = 43cm$$

ho

35cm prima del piego

10cm dopo del piego

OK





PUNZONAMENTO (EC2)

$$V_{pd} = 1.4 \cdot 212.5 \cdot [4 - 1.87] = 633.67 \text{ KN}$$

$$\text{cioè } b \cdot V_{pd} = 1.15 \cdot 633.7 = 728.72 \text{ KN}$$

$$V_{pu} = 702 \text{ KN}$$

35 cm non bastano

Provo con 0.40 cm

$$A_p = 0.4^2 + 4(0.4 \cdot 0.60) + p \cdot 0.60^2 = 2.25 \text{ m}^2$$

$$p = 0.4 \cdot 4 + 2 \cdot p \cdot 0.60 = 5.37 \text{ m}^2$$

$$pd = 2.15 \text{ m}^2$$

cioè

$$V_{pd} = 1.4 \cdot 212.5 \cdot 84 - 2.25 = 520.63 \text{ KN}$$

$$V_{pu} = 2.15 \cdot 260 \cdot 1.26 \cdot 1.2 = 845.21 \text{ KN}$$

40 cm bastano

d=0.40 m

h=0.45 m

VERIFICA A TAGLIO

$$V_d = \frac{N_d}{B} \left(\frac{B-a}{2} - d \right) = \frac{1190}{2} \left(\frac{2-0.4}{2} - 0.4 \right) = 238 \text{ KN}$$

$$V_{Rd1} = t_{Rd} \cdot k \cdot (1.2 + 40 \cdot r_l) \cdot d$$

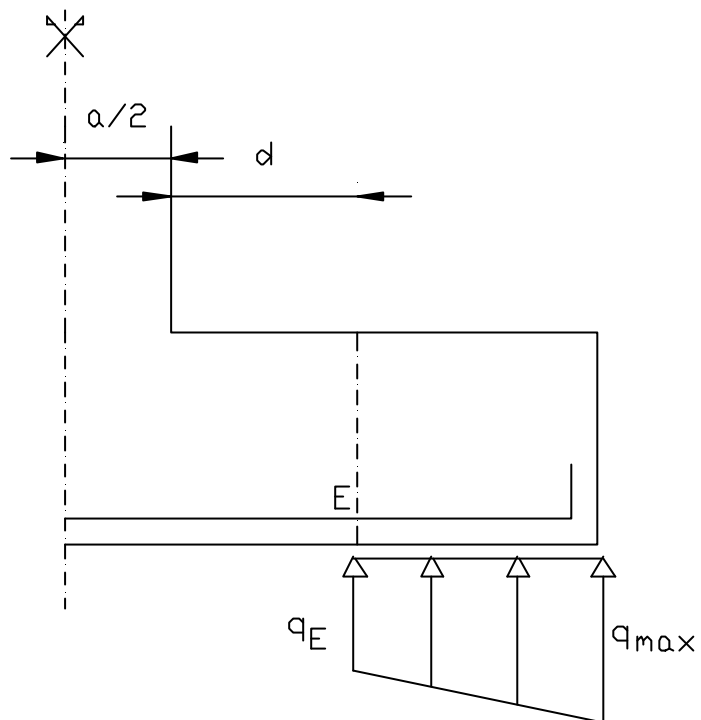
$$r_l = \frac{A_s}{d} = \frac{2814}{400} = 0.07\%$$

$$k = 1.6 - d = 1.2 \text{ m}$$

$$t_{Rd} = 300 \text{ KPa}$$

$$V_{Rd1} = [300 \cdot 1.2 \cdot (1.2 + 40 \cdot 0.07)] \cdot 0.4 = 576 \text{ KN}$$

$$V_d < V_{Rd1}$$





INDICE:

DATI GEOMETRICI E GEOTECNICI.....	2
A) CARICO CENTRATO	3
PREDIMENSIONAMENTO	3
VERIFICA CEDIMENTI.....	4
VERIFICA CAPACITA' PORTANTE.....	5
PUNZONAMENTO	6
VERIFICA ACI.....	6
VERIFICA EC2.....	8
ARMATURA A FLESSIONE (EC2).....	11
ANCORAGGIO DA C.....	12
DISPOSIZIONE ARMATURA	12
DETTAGLI COSTRUTTIVI	12
B) CARICO ECCENTRICO	14
VERIFICA CAPACITA' PORTANTE.....	14
PUNZONAMENTO (ACI).....	17
VERIFICA A FLESSIONE.....	17
PUNZONAMENTO (EC2)	19
VERIFICA A TAGLIO	19
INDICE:	21