

REGIONE PUGLIA

P.O. FESR 2007/2013

Asse VI - Competitività dei sistemi produttivi ed occupazione

Azione 6.2.2 - Iniziative per "Interventi volti a migliorare l'efficienza gestionale dei sistemi infrastrutturali delle aree di insediamento industriale di competenza dei consorzi per le aree di sviluppo industriale"



*Area grandi medie industrie
Allargamento area produttiva*

PROGETTO ESECUTIVO

D. - Torri faro e illuminazione strada di collegamento S.P. 48 - S.S. 100

TITOLO:

R03.1_RELAZIONE GEOTECNICA FONDAZIONI

PROGETTISTA: Ing. Carroccia Giancarlo

RUP: geom. Vettore Mario

0	ESECUTIVO	Novembre 2012
0	DEFINITIVO	Settembre 2012
0	PRELIMINARE	Giugno 2012
Rev.	Descrizione	Data

RELAZIONE GEOTECNICA

INDICE

<u>PREMESSA</u>	Pag. 2
1. <u>RIFERIMENTI NORMATIVI</u>	“ 2
2. <u>CONSISTENZA DELLE OPERE</u>	“ 2
3. <u>PARAMETRI FISICO-MECCANICI</u>	“ 2
4. <u>TIPOLOGIA DI FONDAZIONE</u>	“ 3
5. <u>CRITERI DI DIMENSIONAMENTO</u>	“ 3
6. <u>METODO DI CALCOLO</u>	“ 4
7. <u>RISULTATI</u>	“ 4

PREMESSA

Per predisporre la riqualificazione della strada di collegamento tra la S.P. n° 48 e la S.S. n° 100 (Comuni di Taranto e di Statte), è stato eseguito lo studio geologico prescritto dalle norme vigenti, con esiti riprodotti ed analizzati negli appositi Elaborati (GEO1 GEO RE 01 - GEO1 GEO PL 01 - GEO1 GEO PF 01 - GEO2 GEO RE 01), parte integrante degli atti progettuali. Gli stessi sono stati utilizzati per la scelta della tipologia e dei criteri di dimensionamento geotecnico dei manufatti coinvolti, come discusso nel seguito, rinviando ai documenti specifici per lo sviluppo analitico dei calcoli statici.

1. RIFERIMENTI NORMATIVI

- D.M. Infrastrutture ed Interno 14/1/2008.
- Circolare 2 Febbraio 2009, n. 617, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

2. CONSISTENZA DELLE OPERE

Gli aspetti qui considerati riguardano gli elementi di fondazione di n° 4 “torri-faro”, da installare nella zona centrale di ciascuna delle rotatorie (indicate con le sigle A-B-C-D) previste lungo il tracciato viario in adeguamento.

3. PARAMETRI FISICO-MECCANICI

Desunti dallo studio citato in precedenza, sono riprodotti negli schemi acclusi, completi dalla legenda esplicativa della simbologia.

ROTATORIA A

$\gamma = 1,8 \text{ t/m}^3$
 $\phi = 34^\circ$
 $E_s = 1.000 \text{ kg/cm}^2$
 $\nu = 0,35$
 $G = 370 \text{ kg/cm}^2$
 Zona sismica 3
 Categoria topografica T1 Tab. 3.2.IV D.M. 14/1/2008
 Categoria di sottosuolo E Tab. 3.2.II D.M. 14/1/2008

SIMBOLOGIA

γ = Peso di Volume
 ϕ = Angolo d'Attrito Interno
 E_s = Modulo di Deformazione
 ν = Coefficiente di Poisson
 G = Modulo di Taglio

ROTATORIE B-D

$\gamma = 2,2 \text{ t/m}^3$
 $C_k = 0,79 \text{ kg/cm}^2$
 $\phi_k = 50^\circ$
 $E_s = 10.700 \text{ kg/cm}^2$
 $\nu = 0,35$
 $G = 3.900 \text{ kg/cm}^2$
 Zona sismica 3
 Categoria topografica T1 Tab. 3.2.IV D.M. 14/1/2008
 Categoria di sottosuolo A Tab. 3.2.II D.M. 14/1/2008

SIMBOLOGIA

γ = Peso di Volume
 C_k = Coesione “caratteristica”
 ϕ_k = Angolo d'Attrito Interno “caratteristico”
 E_s = Modulo di Deformazione
 ν = Coefficiente di Poisson
 G = Modulo di Taglio

ROTATORIA C

$\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$
 $C_k = 0,55 \text{ kg/cm}^2$
 $\varphi_k = 34^\circ$
 $E_s = 1.500 \text{ kg/cm}^2$
 $\nu = 0,35$
 $G = 560 \text{ kg/cm}^2$
 Zona sismica 3
 Categoria topografica T1 Tab. 3.2.IV D.M. 14/1/2008
 Categoria di sottosuolo A Tab. 3.2.II D.M. 14/1/2008

SIMBOLOGIA

γ = Peso di Volume
 C_k = Coesione "caratteristica"
 φ_k = Angolo d'Attrito Interno "caratteristico"
 E_s = Modulo di Deformazione
 ν = Coefficiente di Poisson
 G = Modulo di Taglio

4. TIPOLOGIA DI FONDAZIONE

Tenuto conto delle peculiarità dei geomateriali di supporto, nonché dell'entità delle azioni indotte a livello del piano di posa, sono state prescelte membrature dirette isolate (plinti), incassate in scavi a sezione ristretta e realizzate con getto del cls contro terra.

5. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

La Capacità Portante ultima netta è stata valutata da (il pedice k indica la "proprietà caratteristica" generica delle N.T.C./2008):

$q_{uk} = (C_k \cdot N_c \cdot \zeta_c \cdot \zeta_{ci} + \gamma_k \cdot t \cdot N_q \cdot \zeta_q \cdot \zeta_{qi} + \gamma_k \cdot b' \cdot N_\gamma \cdot \zeta_\gamma \cdot \zeta_{\gamma i} / 2) \cdot b' / b - \gamma_{1k} \cdot t$,
 con (immutati i simboli restanti):

- C_k = Coesione;
- N_c, N_q, N_γ = Fattori di capacità portante;
- $\zeta_c, \zeta_q, \zeta_\gamma$ = " " forma;
- $\zeta_{ci}, \zeta_{qi}, \zeta_{\gamma i}$ = " " d'inclinazione;
- γ_k, γ_{1k} = Peso di Volume, rispettivamente, dei terreni sottostanti e sovrastanti al piano di posa;
- t = Profondità d'interramento;
- b' = Larghezza d'impronta ridotta;

Nella relazione precedente, è:

$$N_c = (N_q - 1) \text{ctg} \varphi_k;$$

φ_k = Angolo d'Attrito Interno;

$$N_q = e^{\pi \text{tg} \varphi_k} \text{tg}^2(45^\circ + \varphi_k/2);$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \text{tg} \varphi_k;$$

$$\zeta_c = 1 + (b'/L')(N_q/N_c);$$

L' = Lunghezza d'impronta ridotta;

$$\zeta_q = 1 + (b'/L') \text{tg} \varphi_k;$$

$$\zeta_\gamma = 1 - 0,4b'/L';$$

$$\zeta_{ci} = \zeta_{qi} - (1 - \zeta_{qi})/N_c \text{tg} \varphi_k;$$

$$\zeta_{qi} = [1 - R_{XY}/(R_Z + b' \cdot L' \cdot C_k \cdot \text{ctg} \varphi_k)]^m;$$

R_{XY} = Componente orizzontale del carico;

R_Z = Risultante verticale;

$b' = b - 2e_b$ ("b" è la larghezza reale ed "e_b" l'eccentricità in direzione di "b");

$$L' = L - 2e_L \text{ ("L" = lunghezza reale; "e_L" = eccentricità in direzione di "L");}$$

$$\zeta_{\gamma} = [1 - R_{XY}/(R_Z + b' \cdot L' \cdot C_k \cdot \text{ctg}\phi_k)]^{m+1};$$

$$m = m_L \cos^2 \theta + m_b \sin^2 \theta;$$

$$m_L = (2 + L'/b')/(1 + L'/b')$$

$$m_b = (2 + b'/L')/(1 + b'/L');$$

$$\theta = \text{artg}(R_X/R_Y);$$

$$R_X, R_Y = \text{Componenti di "R_{XY}" in direzione di "L" e di "b"}.$$

Le verifiche sono state eseguite tramite le disequazioni:

$$q_{uk} \cdot b' \cdot L' \geq E_d,$$

$$[C_k + (R_Z/b' \cdot L') \cdot \text{tg}\phi_k] \cdot (b' \cdot L') \geq E_d,$$

ove E_d è il valore di progetto dell'azione generica.

Gli esiti sono stati accettati se ammissibili, per le sovrastrutture, gli spostamenti, dati per le deflessioni "elastiche", in un punto "caratteristico" (baricentro dell'area ridotta $b' \cdot L'$), da:

$$w = q_e \cdot b' \cdot (1 - \nu_k^2) \cdot I_w / E_{sk},$$

con:

$$q_e = \text{Tensione d'esercizio (= } R_Z/b' \cdot L');$$

$$I_w = \text{Coefficiente d'Influenza (= } 0,82 + 0,5592 \cdot \ln L'/b').$$

Le rotazioni sono state desunte da:

$$\text{tg}\theta_L = (M_L/L'^2 \cdot b') \cdot [(1 - \nu_k^2)/E_{sk}] \cdot I_m,$$

$$\text{tg}\theta_b = (M_b/b'^2 \cdot L') \cdot [(1 - \nu_k^2)/E_{sk}] \cdot I_m,$$

essendo:

- θ_L = Angolo di rotazione del piano di posa, sull'orizzontale, in direzione di L (rad.);
- θ_b = " " " " " " " " " " " " " " " b " ;
- M_L, M_b = Momenti lungo L e b;
- $I_m = 5,0773 - 1/1,3132 \cdot (L'/b')$ (Coefficiente d'Influenza per la rotazione).

Per il dimensionamento statico, il Modulo di Sottofondo è stato ricavato da $k_s' = E_{sk}/[b' \cdot (1 - \nu_k^2) \cdot I_w]$ (in unità di misura congruenti).

6. METODO DI CALCOLO

E' stato utilizzato l'Approccio 2 (A1+M1+R3) N.T.C./2008.

7. RISULTATI

A) TORRI-FARO H = 25 m

A.1) Geometria (Fig. 1)

Plinto quadrato, con le seguenti dimensioni.

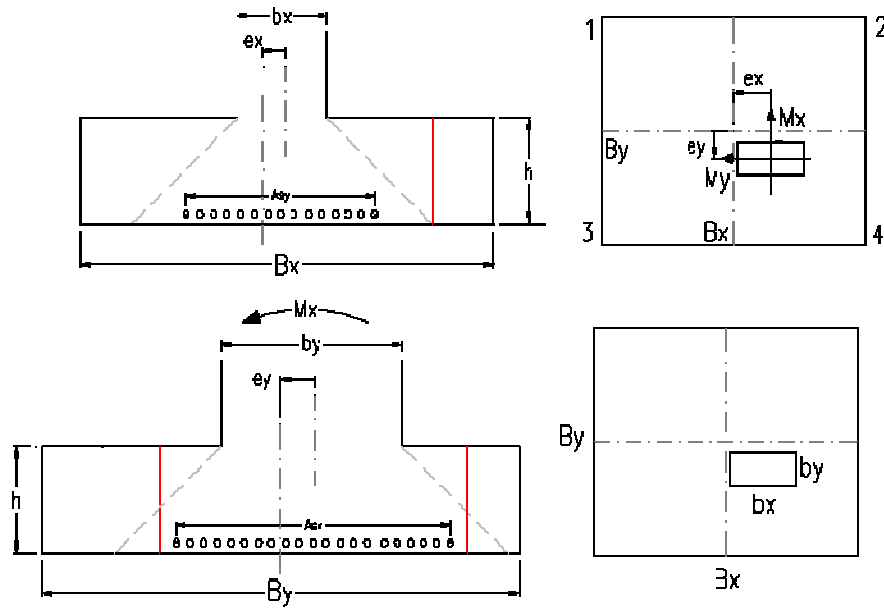
- Larghezza: b = 4,00 m.
- Lunghezza: L = 4,00 m.
- Altezza: H = 3,00 m.
- Profondità d'interramento: t = 3,00 m.

A.2) Azioni

A.2.1) Dalla relazione di calcolo statico (Elaborato R03 di progetto), per le verifiche allo S.L.U. è:

- Carico verticale: $N = 105.120 \text{ N} = 10,719 \text{ t};$
- Momenti:
 - $M_x = 37.810 \text{ N} \cdot \text{m} = 3,856 \text{ t} \cdot \text{m};$
 - $M_y = 103.096 \text{ N} \cdot \text{m} = 10,513 \text{ t} \cdot \text{m};$
- Carichi orizzontali:
 - $T_x = 12.000 \text{ N} = 1,224 \text{ t};$

$$T_y = 844 \text{ N} = 0,086 \text{ t.}$$



PLINTI TORRI H = 25 m					
<i>GEOMETRIA</i>					
Dimensioni	(cm)	b_x	b_y	B_x	B_y
		83	83	400	400
Eccentricità pilastro	(cm)	e_x	e_y	Pilastro interno	$\beta = 1,15$
		0	0		
H plinto	(cm)	300			
copriferro	(cm)	4			
d	(cm)	296			
<i>PRESSIONI</i>					
Pressioni sul terreno	MPa	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
		0,104	0,097	0,085	0,078

Fig. 1: Schema geometrico

A.2.2) Peso proprio plinto

$$P_p = b \cdot L \cdot H \cdot (\gamma_{cls} - \gamma_t),$$

con:

γ_{cls} = Peso di volume del calcestruzzo (= 2,5 t/m³);

γ_t = Peso di volume del terreno sostituito (= 1,8 t/m³, per Rotatoria A, = 2,2 t/m³, per Rotatorie B-D).

A.2.3) Momenti di trasporto

$$M_{xt} = T_y \cdot H = 0,086 \times 3,00 = 0,258 \text{ t} \cdot \text{m.}$$

$$M_{yt} = T_x \cdot H = 1,224 \times 3,00 = 3,720 \text{ t} \cdot \text{m.}$$

A.2.4) Coefficienti parziali (Tabb. 6.2.I-6.2.II-6.4.I D.M. 14/1/2008)

- (A1) $\gamma_{Qi} = 1,5$ (applicato solo ai Momenti ed alle azioni orizzontali, perché sfavorevoli).
- (M1) $\gamma_M = 1,0$.
- (R3) Capacità portante $\gamma_R = 2,3$; Scorrimento $\gamma_R = 1,1$.

A.3) Rotatoria A

A.3.1) Azioni totali

- Carico verticale:
 $N' = N + P_p = 10,719 + 4,00 \times 4,00 \times 3,00 \times (2,5 - 1,8) = 44,319 \text{ t}$
- Momenti:
 $M_x' = (M_x + M_{xt}) \cdot \gamma_{Qi} = (3,856 + 0,258) \times 1,5 = 6,171 \text{ t}\cdot\text{m}$;
 $M_y' = (M_y + M_{yt}) \cdot \gamma_{Qi} = (10,513 + 3,720) \times 1,5 = 21,350 \text{ t}\cdot\text{m}$.
- Carichi orizzontali:
 $T_x' = T_x \cdot \gamma_{Qi} = 1,224 \times 1,5 = 1,836 \text{ t}$;
 $T_y' = T_y \cdot \gamma_{Qi} = 0,086 \times 1,5 = 0,129 \text{ t}$.

A.3.2) Verifiche

- Dati di ingresso:

$\gamma_1 = 1,8 \text{ t/m}^3$	$\gamma_2 = 1,8 \text{ t/m}^3$	$C = 0 \text{ t/m}^2$
$\varphi = 34^\circ$	$\nu = 0,35$	$E_s = 10.000 \text{ t/m}^2$
$b = 4,00 \text{ m}$	$L = 4,00 \text{ m}$	$t = 3,00 \text{ m}$
$N = 44,319 \text{ t}$	$T_b = 1,836 \text{ t}$	$T_L = 0,129 \text{ t}$
$M_b = 6,171 \text{ t}\cdot\text{m}$	$M_L = 21,350 \text{ t}\cdot\text{m}$	$e_b = 0,139 \text{ m}$
$e_L = 0,482 \text{ m}$	$b' = 3,72 \text{ m}$	$L' = 3,04 \text{ m}$

- Calcolo:

$N_c = 42,16$	$N_q = 29,44$	$N_Y = 41,06$
$\zeta_c = 1,86$	$\zeta_q = 1,83$	$\zeta_Y = 0,51$
$\zeta_{ci} = 0,93$	$\zeta_{qi} = 0,94$	$\zeta_{Yi} = 0,90$

- Verifica Capacità portante ultima netta (soluzione Terzaghi):

$$q_u = \gamma_1 \cdot t \cdot N_q \cdot \zeta_q \cdot \zeta_{qi} + \gamma_2 \cdot b' \cdot N_Y \cdot \zeta_Y \cdot \zeta_{Yi} / 2 - \gamma_1 \cdot t = 329,4 \text{ t/m}^2.$$

Tensione media:

$$q_{e \text{ Med}} = 3,92 \text{ t/m}^2.$$

Tensione massima:

$$q_{\text{Max}} = 8,05 \text{ t/m}^2.$$

Verifica:

$$q_u \cdot b' \cdot L' / N' = 329,4 \times 3,72 \times 3,04 / 44,319 = 84 > 2,3 \quad (\text{Verificato}).$$

- Verifica allo scorrimento:

$$[(R_z / b' \cdot L') \cdot \text{tg} \varphi_k] \cdot (b' \cdot L') = 29,89 \text{ t};$$

$$R_{xy} = (T_b^2 + T_L^2)^{0,5} = 1,84 \text{ t};$$

$$29,89 / 1,84 = 16 > 1,1 \quad (\text{Verificato}).$$

- Cedimento:

$$I_w = 0,5592 \cdot \ln(L'/b') + 0,82 = 0,933;$$

$$w = q_e \cdot b' \cdot (1 - \nu^2) \cdot I_w / E_s = 0,12 \text{ cm} \quad (\text{Accettabile}).$$

- Rotazioni:

$$I_m = 5,0773 - 1/1,3132 \cdot (L'/b') = 4,14;$$

$$\text{tg} \theta_L = (M_L / L^2 \cdot b') \cdot [(1 - \nu_k^2) / E_{sk}] \cdot I_m = 0,003;$$

$$\text{tg} \theta_b = (M_b / b'^2 \cdot L') \cdot [(1 - \nu_k^2) / E_{sk}] \cdot I_m = 0,0005;$$

$$\theta_L = 0,003133505 \text{ rad.} = 0,18^\circ \text{ (Accettabile);}$$

$$\theta_b = 0,000491996 \text{ rad.} = 0,03^\circ \text{ (Accettabile).}$$

- Modulo di Sottofondo:

$$k_s = q_{e \text{ Med}} / w = 4,34 \text{ kg/cm}^3.$$

A.4) Rotatorie B-D

A.4.1) Azioni totali

- Carico verticale:

$$N' = N + P_p = 10,719 + 4,00 \times 4,00 \times 3,00 \times (2,5 - 2,2) = 25,119 \text{ t.}$$

- Momenti:

$$M_x' = (M_x + M_{xt}) \cdot \gamma_{Qi} = (3,856 + 0,258) \times 1,5 = 6,171 \text{ t}\cdot\text{m};$$

$$M_y' = (M_y + M_{yt}) \cdot \gamma_{Qi} = (10,513 + 3,720) \times 1,5 = 21,350 \text{ t}\cdot\text{m.}$$

- Carichi orizzontali:

$$T_x' = T_x \cdot \gamma_{Qi} = 1,224 \times 1,5 = 1,836 \text{ t};$$

$$T_y' = T_y \cdot \gamma_{Qi} = 0,086 \times 1,5 = 0,129 \text{ t.}$$

A.4.2) Verifiche

- Dati di ingresso:

$$\gamma_1 = 2,2 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_2 = 2,2 \text{ t/m}^3$$

$$C = 7,9 \text{ t/m}^2$$

$$\varphi = 50^\circ$$

$$v = 0,35$$

$$E_s = 107.000 \text{ t/m}^2$$

$$b = 4,00 \text{ m}$$

$$L = 4,00 \text{ m}$$

$$t = 3,00 \text{ m}$$

$$N = 25,119$$

$$T_b = 1,836$$

$$T_L = 0,129$$

$$M_b = 6,171 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_L = 21,35 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$e_b = 0,25 \text{ m}$$

$$e_L = 0,85 \text{ m}$$

$$b' = 3,51 \text{ m}$$

$$L' = 2,30 \text{ m}$$

- Calcolo:

$$N_c = 266,88$$

$$N_q = 319,06$$

$$N_Y = 762,86$$

$$\zeta_c = 2,82$$

$$\zeta_q = 2,82$$

$$\zeta_Y = 0,39$$

$$\zeta_{ci} = 0,96$$

$$\zeta_{qi} = 0,96$$

$$\zeta_{Yi} = 0,94$$

- Verifica Capacità portante ultima netta (soluzione Terzaghi):

$$q_u = C \cdot N_c \cdot \zeta_c \cdot \zeta_{ci} + \gamma_1 \cdot t \cdot N_q \cdot \zeta_q \cdot \zeta_{qi} + \gamma_2 \cdot b' \cdot N_Y \cdot \zeta_Y \cdot \zeta_{Yi} / 2 - \gamma_1 \cdot t = 12.516,2 \text{ t/m}^2.$$

Tensione media:

$$q_{e \text{ Med}} = 3,11 \text{ t/m}^2.$$

Tensione massima:

$$q_{\text{Max}} = 9,63 \text{ t/m}^2.$$

Verifica:

$$q_u \cdot b' \cdot L' / N' = 12.516,2 \times 3,51 \times 2,30 / 25,119 = 4.022 > 2,3 \text{ (Verificato).}$$

- Verifica allo scorrimento:

$$[C_k + (R_z / b' \cdot L') \cdot \text{tg} \varphi_k] \cdot (b' \cdot L') = 105,92 \text{ t};$$

$$R_{xy} = (T_b^2 + T_L^2)^{0,5} = 1,84 \text{ t};$$

$$105,92 / 1,84 = 57 > 1,1 \text{ (Verificato).}$$

- Cedimento:

$$I_w = 0,5592 \cdot \ln(L'/b') + 0,82 = 1,06;$$

$$w = q_e \cdot b' \cdot (1 - v^2) \cdot I_w / E_s = 0,009 \text{ cm (Accettabile).}$$

- Rotazioni:

$$I_m = 5,0773 - 1/1,3132 \cdot (L'/b') = 3,92;$$

$$\text{tg}\theta_L = (M_L/L^2 \cdot b') \cdot [(1 - \nu_k^2)/E_{sk}] \cdot I_m = 0,0004;$$

$$\text{tg}\theta_b = (M_b/b^2 \cdot L') \cdot [(1 - \nu_k^2)/E_{sk}] \cdot I_m = 0,00004;$$

$$\theta_L = 0,000454694 \text{ rad.} = 0,027^\circ \text{ (Accettabile);}$$

$$\theta_b = 3,70245E-05 \text{ rad.} = 0,002^\circ \text{ (Accettabile).}$$

- Modulo di Sottofondo:

$$k_s = q_{e \text{ Med}} / w = 59,5 \text{ kg/cm}^3.$$

B) TORRE-FARO H = 15 m

B.1) Geometria (Fig. 2)

Plinto quadrato.

- Larghezza: $b = 3,00 \text{ m}$.
- Lunghezza: $L = 3,00 \text{ m}$.
- Altezza: $H = 2,00 \text{ m}$.
- Profondità d'interramento: $t = 2,00 \text{ m}$.

B.2) Azioni

B.2.1) Dalla relazione di calcolo statico (Elaborato R03 di progetto), per le verifiche allo S.L.U., è:

- Carico verticale: $N = 105.120 \text{ N} = 10,719 \text{ t}$;
- Momenti:
 - $M_x = 37.810 \text{ N} \cdot \text{m} = 3,856 \text{ t} \cdot \text{m}$;
 - $M_y = 103.096 \text{ N} \cdot \text{m} = 10,513 \text{ t} \cdot \text{m}$;
- Carichi orizzontali:
 - $T_x = 12.000 \text{ N} = 1,224 \text{ t}$;
 - $T_y = 844 \text{ N} = 0,086 \text{ t}$.

PLINTO TORRE H = 15 m				
<i>GEOMETRIA</i>				
Dimensioni (cm)	b_x	b_y	B_x	B_y
	35	35	300	300
Eccentricità pilastro (cm)	e_x	e_y	Pilastro interno	$\beta = 1,15$
	0	0		
H plinto (cm)	200			
copriferro (cm)	4			
d (cm)	196			
<i>PRESSIONI</i>				
Pressioni sul terreno MPa	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
	0,077	0,053	0,067	0,044

Fig. 2: Schema geometrico

B.2.2) Peso proprio plinto

$$P_p = b \cdot L \cdot H \cdot (\gamma_{cls} - \gamma_t) = 3,00 \times 3,00 \times 2,00 \times (2,5 - 1,7) = 14,4 \text{ t.}$$

B.2.3) Momenti di trasporto

$$M_{xt} = T_y \cdot H = 0,086 \times 2,00 = 0,172 \text{ t}\cdot\text{m.}$$

$$M_{yt} = T_x \cdot H = 1,224 \times 2,00 = 2,448 \text{ t}\cdot\text{m.}$$

B.2.4) Coefficienti parziali

- (A1) $\gamma_{Qi} = 1,5$.
- (M1) $\gamma_M = 1,0$.
- (R3) Capacità portante $\gamma_R = 2,3$; Scorrimento $\gamma_R = 1,1$.

B.3) Rotatoria C

B.3.1) Azioni totali

- Carico verticale:
 $N' = N + P_p = 10,719 + 14,4 = 25,119 \text{ t.}$
- Momenti:
 $M_x' = (M_x + M_{xt}) \cdot \gamma_{Qi} = (3,856 + 0,172) \times 1,5 = 6,042 \text{ t}\cdot\text{m};$
 $M_y' = (M_y + M_{yt}) \cdot \gamma_{Qi} = (10,513 + 2,448) \times 1,5 = 19,442 \text{ t}\cdot\text{m.}$
- Carichi orizzontali:
 $T_x' = T_x \cdot \gamma_{Qi} = 1,224 \times 1,5 = 1,836 \text{ t};$
 $T_y' = T_y \cdot \gamma_{Qi} = 0,086 \times 1,5 = 0,129 \text{ t.}$

B.3.2) Verifiche

- Dati di ingresso:

$\gamma_1 = 1,7 \text{ t/m}^3$	$\gamma_2 = 1,7 \text{ t/m}^3$	$C = 5,5 \text{ t/m}^2$
$\varphi = 34^\circ$	$v = 0,35$	$E_s = 15.000 \text{ t/m}^2$
$b = 3,00 \text{ m}$	$L = 3,00 \text{ m}$	$t = 2,00 \text{ m}$
$N = 25,119 \text{ t}$	$T_b = 1,836 \text{ t}$	$T_L = 0,129 \text{ t}$
$M_b = 6,042 \text{ t}\cdot\text{m}$	$M_L = 19,442 \text{ t}\cdot\text{m}$	$e_b = 0,24 \text{ m}$
$e_L = 0,77 \text{ m}$	$b' = 2,52 \text{ m}$	$L' = 1,45 \text{ m}$

- Calcolo:

$N_c = 42,16$	$N_q = 29,44$	$N_\gamma = 41,06$
$\zeta_c = 2,21$	$\zeta_q = 2,17$	$\zeta_\gamma = 0,31$
$\zeta_{ci} = 0,94$	$\zeta_{qi} = 0,95$	$\zeta_{\gamma i} = 0,91$

- Verifica Capacità portante ultima netta (soluzione Terzaghi):

$$q_u = C \cdot N_c \cdot \zeta_c \cdot \zeta_{ci} + \gamma_1 \cdot t \cdot N_q \cdot \zeta_q \cdot \zeta_{qi} + \gamma_2 \cdot b' \cdot N_\gamma \cdot \zeta_\gamma \cdot \zeta_{\gamma i} / 2 - \gamma_1 \cdot t = 710,7 \text{ t/m}^2.$$

Tensione media:

$$q_{e \text{ Med}} = 6,87 \text{ t/m}^2.$$

Tensione massima:

$$q_{\text{Max}} = 26,36 \text{ t/m}^2.$$

Verifica:

$$q_u \cdot b' \cdot L' / N' = 710,7 \times 2,52 \times 1,45 / 25,119 = 103 > 2,3 \quad (\text{Verificato}).$$

- Verifica allo scorrimento:

$$[C_k + (R_z / b' \cdot L') \cdot \text{tg} \varphi_k] \cdot (b' \cdot L') = 30,5 \text{ t};$$

$$R_{xy} = (T_b^2 + T_L^2)^{0,5} = 1,84 \text{ t};$$

$$30,5/1,84 = 16 > 1,1 \quad (\text{Verificato}).$$

- Cedimento:

$$I_w = 0,5592 \cdot \ln(L'/b') + 0,82 = 1,13;$$

$$w = q_e \cdot b' \cdot (1 - \nu^2) \cdot I_w / E_s = 0,11 \text{ cm} \quad (\text{Accettabile}).$$

- Rotazioni:

$$I_m = 5,0773 - 1/1,3132 \cdot (L'/b') = 3,76;$$

$$\text{tg}\theta_L = (M_L/L^2 \cdot b') \cdot [(1 - \nu_k^2)/E_{sk}] \cdot I_m = 0,005;$$

$$\text{tg}\theta_b = (M_b/b'^2 \cdot L') \cdot [(1 - \nu_k^2)/E_{sk}] \cdot I_m = 0,0003;$$

$$\theta_L = 0,005104185 \text{ rad.} = 0,29^\circ \quad (\text{Accettabile});$$

$$\theta_b = 0,000303829 \text{ rad.} = 0,02^\circ \quad (\text{Accettabile}).$$

- Modulo di Sottofondo:

$$k_s = q_{e \text{ Med}} / w = 13,3 \text{ kg/cm}^3.$$

IL PROGETTISTA