

TOSCOGEO

geothermal energy

Società del gruppo



magma ENERGY ITALIA

RETE GEOTERMICA TOSCANA

C/O TOSCOGEO S.R.L.

VIA ERNESTO ROSSI N° 9 - 52100, AREZZO

TEL. 0575 32641 - FAX. 0575 326464

Impianto Geotermico Pilota Castelnuovo PROGETTO DEFINITIVO



00	19/11/2015	Emissione	Sintecnica S.r.l.	Magma Energy Italia S.r.l.	Rete Geotermica Toscana
REV.	DATA	OGGETTO	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

PROGETTISTA:



Dott. Ing. Luca MENINI
 ORDINE INGEGNERI PROV. LIVORNO
 SETTORIO A Ing. Civile - Ambientale
 N. 59 Ing. Industriale
 Ing. dell'Informazione

TITOLO:

RELAZIONE SULLE STRUTTURE - SOLETTA POSTAZIONE

NOTE:

TOSCOGEO SRL
 VIA E. ROSSI N.9 - AREZZO 52100
 TEL. 0575 32641 - FAX. 0575 326464
 C.F. e P.IVA 06142590485
 Capitale sociale sottoscritto e versato € 12.000,00
 Società soggetta a direzione e coordinamento di
 Graziella Green Power spa - via E. Rossi 9 - Arezzo 52100
 C.F. e P.IVA 02033840519

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

C	A	S	0	2	D	E	C	I	R	0	2	5
ARGOMENTO	PROGETTO	LIVELLO	AREA	TIPO	PROGRESSIVO							

Questo documento contiene informazioni di proprietà della RETE GEOTERMICA TOSCANA e può essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. È vietata qualunque forma di riproduzione o divulgazione senza l'esplicito consenso della RETE GEOTERMICA TOSCANA.

FOGLIO:

1 di 16

FORMATO:

A4

SOMMARIO

1.	INTRODUZIONE	3
2.	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	3
3.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	4
4.	ANALISI DEI CARICHI	5
4.2	PESI RIG (G2)	5
5.	COMBINAZIONI DI CARICO	5
6.	VERIFICA SOLETTA DI BASE	6
6.1	VERIFICA A MOMENTO FLETTENTE	6
6.2	VERIFICA A TAGLIO	8
6.3	VERIFICA A FESSURAZIONE	10
6.4	VERIFICHE GEOTECNICHE	12
7.	CONCLUSIONI	16

1. INTRODUZIONE

Il presente documento ha lo scopo di descrivere il dimensionamento della soletta della postazione di perforazione nell'ambito dell'Istanza per l'avvio della procedura di valutazione di impatto ambientale ai sensi dell'art.23 del D.Lgs.152/2006 e s.m.i. relativa al progetto "Impianto Geotermico Pilota Castelnuovo".

L'impianto *Geotermico Pilota Castelnuovo* è costituito da:

▪ **Campo pozzi**, costituito da due pozzi per la produzione dei fluidi geotermici (uno subverticale e l'altro direzionale) sino a profondità di circa 3.500 m, e di un pozzo per la reimmissione dei fluidi estratti, inclusi i gas incondensabili, all'interno delle stesse formazioni geologiche di provenienza, profondo anch'esso circa 3500 m. I tre pozzi saranno perforati da un'unica postazione.

▪ **Impianto geotermoelettrico**, costituito dalla rete di trasporto dei fluidi geotermici, da una centrale a ciclo binario, con potenza netta di 5MWe (come stabilito dal D.Lgs 03/03/2011 n. 28 e s.m.i.) e da una cabina elettrica di trasformazione.

Il progetto consiste nella realizzazione di una platea nella postazione di perforazione di forma rettangolare di spessore 30 cm e di dimensioni 40x30 m.

La platea è armata nei due sensi con dei ferri $\varnothing 10/10$.

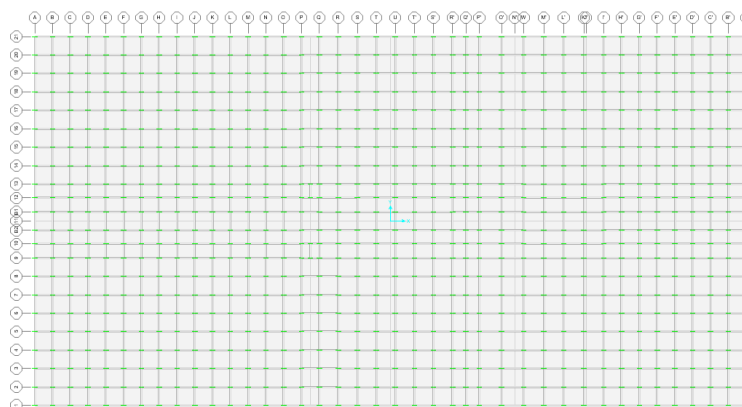


Figura 1 Vista piano XY della platea

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

2.1 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative:

- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 14.01.2008: "Norme tecniche per le costruzioni".
- Circolare 03 febbraio 2009 n.617/C.S.LL.PP.

2.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Per la progettazione sono stati presi a riferimento i seguenti documenti:

- Valori dei parametri geotecnici forniti nella CAS.02.DE.CI.R.016 – RELAZIONE GEOTECNICA.

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo

CALCESTRUZZO C25/30

Resistenza caratteristica a compressione

$$f_{ck} = 25 \frac{N}{mm^2}$$

Resistenza di calcolo a compressione

$$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5} = 14,2 \frac{N}{mm^2}$$

Tensione ammissibile nel calcestruzzo per combinazione di carichi rara

$$\sigma_{cadm1} = 0,6 \cdot f_{ck} = 15 \frac{N}{mm^2}$$

Tensione ammissibile nel calcestruzzo per combinazione dei carichi quasi permanente

$$\sigma_{cadm2} = 0,45 \cdot f_{ck} = 11,25 \frac{N}{mm^2}$$

Resistenza media a trazione

$$f_{ctm} = 2,6 \frac{N}{mm^2}$$

Modulo elastico medio istantaneo del calcestruzzo

$$E_c = 31000 \frac{N}{mm^2}$$

Acciaio per cemento armato

ACCIAIO TIPO B450C

Tensione caratteristica di snervamento

$$f_{yk} = 450 \frac{N}{mm^2}$$

Tensione di snervamento di progetto

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = 391 \frac{N}{mm^2}$$

Modulo elastico

$$E_s = 210000 \frac{N}{mm^2}$$

Tensione nell'acciaio

$$\sigma_s = 391 \frac{N}{mm^2}$$

4. ANALISI DEI CARICHI

La valutazione dell'effetto dei carichi è stata effettuata seguendo il capitolo 3 della vigente normativa in materia di costruzioni (D.M. 2008).

4.1 PESI PROPRI STRUTTURALI (G₁)

Calcestruzzi (G₁): $\gamma_{G1}=25 \text{ kN/m}^3$

4.2 PESI RIG (G₂)

I pesi del RIG sono distribuiti secondo le aree di diffusione date dal produttore. L'applicazione dei carichi è schematizzata nella figura seguente. Tali carichi sono già comprensivi del coefficiente amplificativo γ_{G2} .

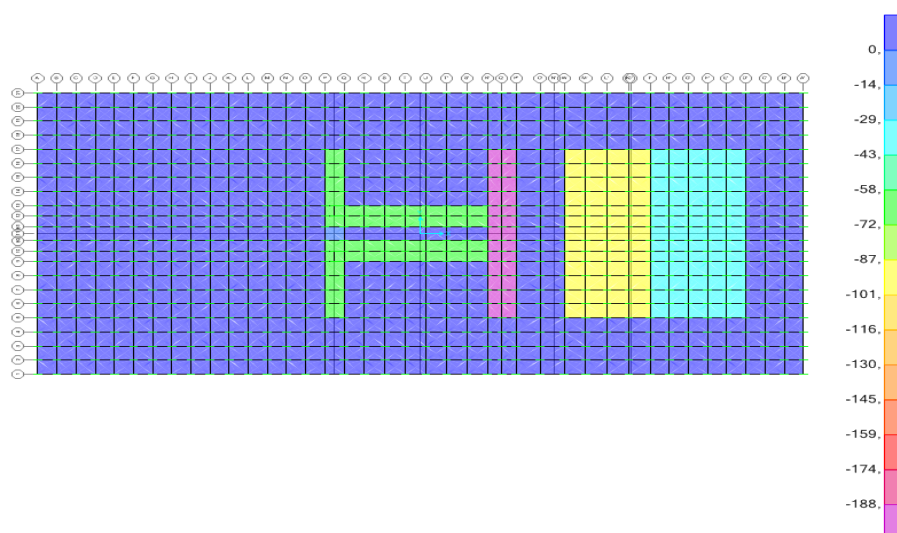


Figura 2 Distribuzione dei carichi sulla soletta di fondazione (scala grafica in kN/m²)

5. COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico sono state considerate rispettando il paragrafo 2.5.3 del D.M. 2008:

Combinazione fondamentale S.L.U.

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2$$

Combinazione caratteristica S.L.E.

$$G_1 + G_2$$

6. VERIFICA SOLETTA DI BASE

6.1 VERIFICA A MOMENTO FLETTENTE

Le verifiche per il momento flettente sono state svolte in entrambe le direzioni.

In direzione y lungo il lato corto della platea il massimo momento flettente risulta essere pari a 54kNm/m, come mostrato nell'immagine di seguito riportata:

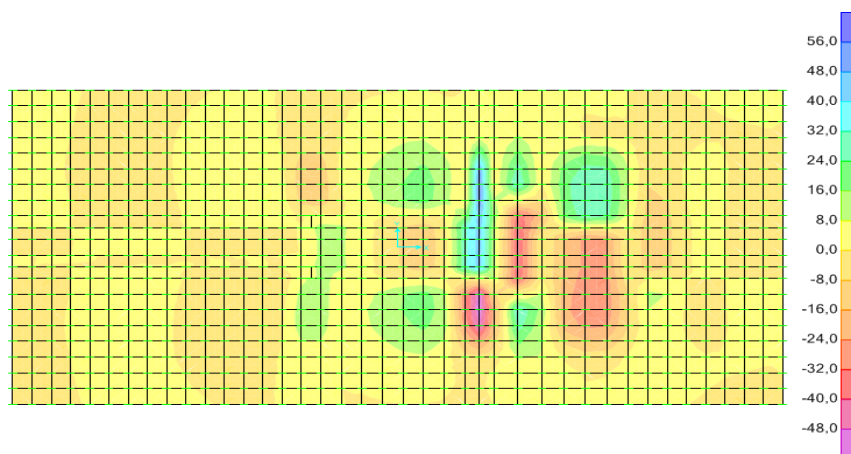


Figura 3 Diagramma momento flettente M11 (scala grafica in kNm/m)

La verifica è stata condotta su una sezione larga 1,0 m in corrispondenza del momento massimo sollecitante. Il momento resistente risulta essere pari a 85kNm.

VERIFICA FLESSIONE

Armatura longitudinale superiore
 $\phi 10/100$

Armatura longitudinale inferiore
 $\phi 10/100$

$$M_{Ed} = 54 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 85 \text{ kNm}$$

```
outcomeofverification = if MRd > MEd
    "Verificato"
else
    "Non verificato"

outcomeofverification = "Verificato"
```

Materiali	
B450C	C25/30
f_{yk} 475 N/mm ²	f_{yk} 2 N/mm ²
f_{yk} 391,3 N/mm ²	f_{yk} 3,5 N/mm ²
E_s/E_c 200,000	$f_{ct,ed}$ 14,17
E_s/E_c 19	$f_{ct,ed}$ 0,8
σ_{yk} 1,957	σ_{yk} 9,75
σ_{yk} 299	σ_{yk} 0,6
	σ_{yk} 1,929

P.to applicazione M	
M	85,06 kNm
σ_c	-14,17 N/mm ²
σ_s	391,3 N/mm ²
ϵ_s	3,5 ‰
ϵ_c	22,26 ‰
d	26 cm
λ	3,533
λ	0,1359
ρ	0,7

In direzione x lungo il lato lungo della platea il massimo momento flettente risulta essere pari a 30kNm/m, come mostrato nell'immagine di seguito riportata:

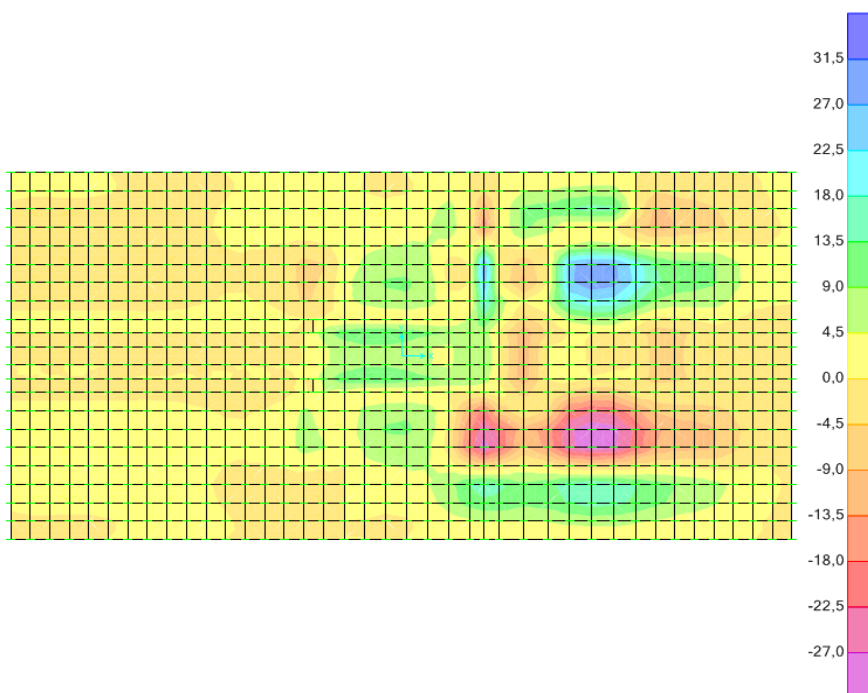


Figura 4 Diagramma del momento flettente M22 (scala grafica in kNm/m)

La verifica è stata condotta su una sezione larga 1,0 m in corrispondenza del momento massimo sollecitante. Il momento resistente risulta essere pari a 85 kNm.

```

VERIFICA FLESSIONE

Armatura longitudinale superiore
    ϕ10/100

Armatura longitudinale inferiore
    ϕ10/100

MEd = 30,34 kNm    MRd = 85 kNm

outcomeofverification = if MRd >= MEd
    "Verificato"
else
    "Non verificato"

outcomeofverification = "Verificato"
    
```

Il software mostra i dati di una sezione tipo b=1000 mm. I dati principali sono:

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	50	15	16	0,79	5	-11
2	50	-15	17	0,79	15	-11
3	-50	-15	18	0,79	25	-11
4	50	15	19	0,79	35	-11
			20	0,79	45	-11

Materiali: B4500C, C25/30. Risultati di calcolo: N_{Ed} = 85,06 kN, M_{Ed} = 14,17 Nmm, M_{Rd} = 85,06 kNm. Il software indica che la sezione è verificata.

La platea di fondazione sarà armata con ϕ10/100 mm sia superiormente che inferiormente

6.2 VERIFICA A TAGLIO

Le verifiche per lo sforzo di taglio sono state svolte in entrambe le direzioni.

In direzione y lungo il lato corto della platea il massimo sforzo di taglio risulta essere pari a 43 kN/m, come mostrato nell'immagine di seguito riportata:

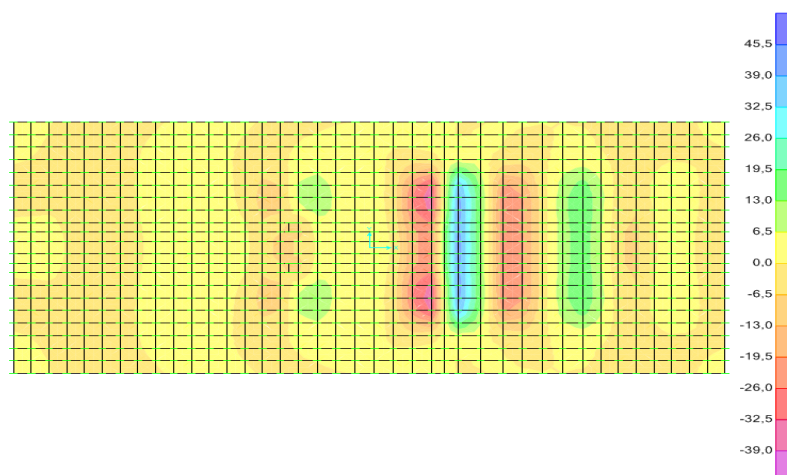


Figura 5 Diagramma del taglio V13 (scala grafica in kN/m)

La verifica è stata condotta su una sezione larga 1,0 m in corrispondenza del taglio massimo sollecitante. La platea non sarà armata a taglio. Il taglio resistente è pari a 109 kN.

```

VERIFICA A TAGLIO PER ELEMENTI NON ARMATI A TAGLIO

Ingranamento degli inerti
if 1 + (200 mm / d) <= 2
    k := 1 + (200 mm / d)
else
    k := 2

Larghezza minima della sezione
b_w := 1000 mm

Rapporto geometrico di armatura longitudinale
rho_1 := (A_sx / (b_w * d)) = 0,0029

Taglio resistente per elementi non armati a taglio
V_Rd := 0,18 * k * (100 * rho_1 * f_ck)^(1/3) * 1 MPa^(2/3) * b_w * d = 109 kN

outcomeofverification = if V_Rd >= v_min * b_w * d
    "OK"
else
    "NO"

outcomeofverification = if V_Rd >= V_Ed
    "Verificato"
else
    "Non verificato"
    
```

In direzione x lungo il lato lungo della platea il massimo sforzo di taglio risulta essere pari a 27,74 kN/m, come mostrato nell'immagine di seguito riportata:

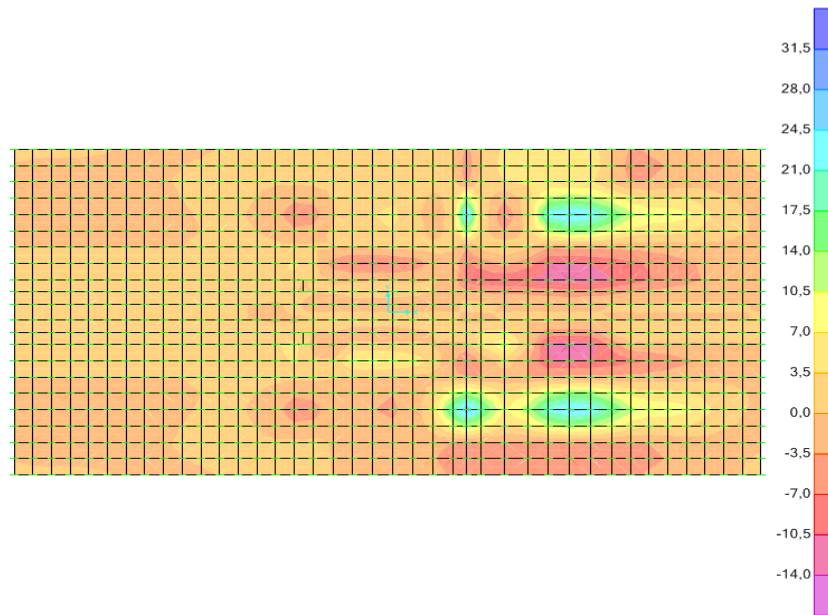


Figura 6 Diagramma del taglio V23 (scala grafica in kN/m)

La verifica è stata condotta su una sezione larga 1,0 m in corrispondenza del taglio massimo sollecitante. La platea non sarà armata a taglio. Il taglio resistente è pari a 109 kN.

```

VERIFICA A TAGLIO PER ELEMENTI NON ARMATI A TAGLIO

Ingranamento degli inerti
if 1 + (200 mm / d) ≤ 2
    k = 1 + (200 mm / d)
else
    k = 2

Larghezza minima della sezione
b_w := 1000 mm

v_min := 0,035 · (k)^(3/2) · (f_ck)^(1/2) · 1 MPa^(1/2)

Rapporto geometrico di armatura longitudinale
ρ_1 := (A_sx) / (b_w · d) = 0,0029

Taglio resistente per elementi non armati a taglio
V_Rd = 0,18 · k · (100 · ρ_1 · f_ck)^(1/3) · 1 MPa^(2/3) · b_w · d = 109 kN

outcomeofverification = if V_Rd ≥ v_min · b_w · d
    "OK"
else
    "NO"

outcomeofverification = if V_Rd ≥ V_Ed
    "Verificato"
else
    "Non verificato"
    
```

6.3 VERIFICA A FESSURAZIONE

La verifica a fessurazione è stata condotta in entrambe le direzioni su due strisce di 1,0 m. Si riportano a seguito i risultati della verifica. In direzione Y:

AMPIEZZA DELLE FESSURE

Altezza utile della sezione

$$d := h - c = 260 \text{ mm}$$

Posizione asse neutro

$$x := 35 \text{ mm}$$

Diametro barre

$$\phi := 10 \text{ mm}$$

Costanti

$$k_1 := 0,8 \quad k_2 := 0,5 \quad k_t := 0,4$$

Altezza efficace in zona tesa

$$h_{\text{eff}} := \text{Min} \left(2,5 \cdot (h - d); \left(\frac{h - x}{3} \right); \frac{h}{2} \right) = 88 \text{ mm}$$

Rapporto di armatura in zona tesa

$$\rho_{\text{eff}} := \frac{A_s}{B \cdot h_{\text{eff}}} = 0,0089$$

Deformazione media delle barre

$$\varepsilon_{\text{sm}} := \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{\rho_{\text{eff}}} \cdot \left(1 + \frac{E_s}{E_c} \cdot \rho_{\text{eff}} \right)}{E_s} = 0,0013$$

Distanza massima tra le fessure

$$s_{\text{rm}} := 0,4 \cdot c + 0,425 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{\phi}{\rho_{\text{eff}}} = 206 \text{ mm}$$

```
outcomeofverification := if  $\varepsilon_{\text{sm}} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$ 
    "Verificato"
  else
    "Non verificato"
```

outcomeofverification = "Verificato"

$$w_k := s_{\text{rm}} \cdot \varepsilon_{\text{sm}} = 0,2627 \text{ mm}$$

$w_{d1} := 0,4 \text{ mm}$ per combinazione frequente

$w_{d2} := 0,3 \text{ mm}$ per combinazione quasi permanente

$$w_d := 0,3 \text{ mm}$$

```
outcomeofverification := if  $w_k \leq w_d$ 
    "Verificato"
  else
    "Non verificato"
```

outcomeofverification = "Verificato"

In direzione x:

AMPIEZZA DELLE FESSURE

Altezza utile della sezione

$$d := h - c = 260 \text{ mm}$$

Posizione asse neutro

$$x := 35 \text{ mm}$$

Diametro barre

$$\phi := 10 \text{ mm}$$

Costanti

$$k_1 := 0,8 \quad k_2 := 0,5 \quad k_t := 0,4$$

Altezza efficace in zona tesa

$$h_{\text{eff}} := \text{Min} \left((2,5 \cdot (h - d)) ; \left(\frac{h - x}{3} \right) ; \frac{h}{2} \right) = 88 \text{ mm}$$

Rapporto di armatura in zona tesa

$$\rho_{\text{eff}} := \frac{A_s}{B \cdot h_{\text{eff}}} = 0,0089$$

Deformazione media delle barre

$$\varepsilon_{\text{sm}} := \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{\rho_{\text{eff}}} \left(1 + \frac{E_s}{E_c} \cdot \rho_{\text{eff}} \right)}{E_s} = 0,0013$$

Distanza massima tra le fessure

$$S_{\text{rm}} := 0,4 \cdot c + 0,425 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{\phi}{\rho_{\text{eff}}} = 206 \text{ mm}$$

```
outcomeofverification := if  $\varepsilon_{\text{sm}} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$ 
    "Verificato"
    else
    "Non verificato"
```

outcomeofverification = "Verificato"

$$w_k := S_{\text{rm}} \cdot \varepsilon_{\text{sm}} = 0,2627 \text{ mm}$$

$w_{d1} := 0,4 \text{ mm}$ per combinazione frequente

$w_{d2} := 0,3 \text{ mm}$ per combinazione quasi permanente

$$w_d := 0,3 \text{ mm}$$

```
outcomeofverification := if  $w_k \leq w_d$ 
    "Verificato"
    else
    "Non verificato"
```

outcomeofverification = "Verificato"

6.4 VERIFICHE GEOTECNICHE

Fissati i parametri geotecnici e considerando un fattore di sicurezza FS=2,3 (Approccio 2), sono state condotte le verifiche geotecniche riportate a seguito.

Parametri geotecnici

Angolo di attrito del terreno $\varphi := \left(\frac{30 + 32}{2} \right)^\circ$	Coesione efficace $c := 0 \frac{kN}{m^2}$	Peso specifico del terreno $\gamma_k := 18 \frac{kN}{m^3}$
Angolo di attrito terreno-fondazione $\delta := \frac{2}{3} \cdot \varphi$ $\delta = 20,67^\circ$	Angolo di inclinazione della fondazione $\alpha := 0^\circ$	
Fattori di capacità portante $K_p := \left(\tan \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \right)^2$ $N_q := e^{n \cdot \tan(\varphi)} \cdot K_p$ $N_c := (N_q - 1) \cdot \cot(\varphi)$ $N_\gamma := 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi)$		$K_p = 3,124$ $N_q = 20,63$ $N_c = 32,67$ $N_\gamma = 23,59$

Parametri geometrici

Profondità piano di posa $D := 0,3 \text{ m}$	Peso specifico calcestruzzo $\gamma_{kcls} := 25 \frac{kN}{m^3}$
Larghezza fondazione $L_A := 20 \text{ m}$	
Lunghezza fondazione $L_B := 40 \text{ m}$	Peso della fondazione $N_{Gs} := (L_A \cdot L_B \cdot h_1) \cdot \gamma_{kcls}$ $N_{G1} := N_{Gs} = 6000 \text{ kN}$
Altezza soletta fondazione $h_1 := 0,3 \text{ m}$	

Verifica piano YZ

Larghezza della fondazione nel piano di riferimento

$$B = L_A$$

Lunghezza fondazione

$$L = L_B$$

Azioni alla base

SFORZO ASSIALE

$$N = (N_{G1} + N_1) = 6000 \text{ kN}$$

SFORZO DI TAGLIO

$$V = F_x = 0 \text{ kN}$$

MOMENTO FLETTENTE

$$M = (M_y + V \cdot (h_1)) = 52 \text{ kNm}$$

Eccentricità della risultante delle forze

$$e_R = \frac{M}{N}$$

$$e_R = 0,009 \text{ m}$$

Eccentricità limite

$$e_L = 0,23 \cdot B = 4,6 \text{ m}$$

$$e_R \leq e_L = 1$$

OK

Eccentricità per sezioni interamente reagente

$$e_{ir} = \frac{1}{6} \cdot B = 3,3333 \text{ m}$$

$$e_R \leq e_{ir} = 1$$

Tensione del terreno sul bordo fondazione

Minima pressione del terreno

$$q_{umin} = \begin{cases} \text{if } e_R \leq e_{ir} & = 7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \frac{N}{B \cdot L} - 6 \cdot \frac{M}{B^2 \cdot L} & \\ \text{else} & \\ 0 & \end{cases}$$

Massima pressione del terreno

$$q_{umax} = \begin{cases} \text{if } e_R \leq e_{ir} & = 8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \frac{N}{B \cdot L} + 6 \cdot \frac{M}{B^2 \cdot L} & \\ \text{else} & \\ \frac{2 \cdot N}{3 \cdot \left(\frac{B}{2} - e_R \right) \cdot L} & \end{cases}$$

Lunghezza equivalente

$$B = \begin{cases} \text{if } e_R \leq e_{ir} & = 20 \text{ m} \\ B & \\ \text{else} & \\ B - 2 \cdot e_R & \end{cases}$$

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL PIANO DI POSA

$$b_q = (1 - \alpha \cdot \tan(\varphi)) \quad b_q = 1$$

$$b_V = b_q \quad b_V = 1$$

$$b_c = b_q - \frac{(1 - b_q)}{N_c \cdot \tan(\varphi_d)} \quad b_c = 1$$

FATTORI DI FORMA

$$s_q = 1 + \sin(\varphi) \cdot \frac{B}{L} \quad s_q = 1,26$$

$$s_c = 1 + \frac{q}{N_c} \cdot \frac{B}{L} \quad s_c = 1,32$$

$$s_V = 1 - 0,4 \cdot \frac{B}{L} \quad s_V = 0,8$$

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL CARICO

$$m = \frac{\left(2 + \frac{B}{L} \right)}{1 + \frac{B}{L}} \quad m = 1,67$$

$$i_q = \left(1 - \frac{V}{(N + B \cdot L \cdot c \cdot \cot(\varphi))} \right)^m \quad i_q = 1$$

$$i_c = i_q - \frac{(1 - i_q)}{N_c \cdot \tan(\varphi)} \quad i_c = 1$$

$$i_V = \left(1 - \frac{V}{N + B \cdot L \cdot c \cdot \cot(\varphi)} \right)^{m+1} \quad i_V = 1$$

FATTORI DI PROFONDITA'

$$d_V = 1$$

$$\text{if } \frac{D}{B} \leq 1$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \frac{D}{B} \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2$$

else

$$d_q = 1 + \left(2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \right) \cdot \text{atan}\left(\frac{D}{B} \right)$$

$$d_q = 1$$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \tan(\varphi)} \quad d_c = 1$$

VERIFICA PER RAGGIUNGIMENTO DEL CARICO LIMITE DEL TERRENO

Sovraccarico piano di campagna

$$q_q = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Sovraccarico a piano di fondazione $q = \gamma_k \cdot D + q_q$

$$q = 5,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Carico limite ultimo

$$q_{ult} = q \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q + c \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma_k \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot d_{\gamma}$$

$$q_{ult} = 3538 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Carico limite di progetto

$$q_a = \frac{q_{ult}}{FS}$$

$$q_a = 1538 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Carico limite di scorrimento

$$V_{lim} = N \cdot \tan(\delta)$$

$$V_{lim} = 2263 \text{ kN}$$

VERIFICA PER CARICO LIMITE

$$\frac{q_{umax}}{q_a} = 0,005$$

≤ 1 OK

VERIFICA A RIBALTAMENTO

$$\eta := \frac{N \cdot B}{M} = 1147,23$$

≥ 1.5 OK

Verifica piano XZ

Larghezza della fondazione nel piano di riferimento

$$B = L_B$$

Lunghezza fondazione

$$L = L_A$$

Azioni alla base

SFORZO ASSIALE

$$N = (N_{G1} + N_1) = 6000 \text{ kN}$$

SFORZO DI TAGLIO

$$V = F_y = 0 \text{ kN}$$

MOMENTO FLETTEnte

$$M = (M_x + V \cdot (h_1)) = 30 \text{ kNm}$$

Eccentricità della forza risultante

$$e_R = \frac{M}{N}$$

$$e_R = 0,005 \text{ m}$$

Eccentricità limite

$$e_{L'} = 0,23 \cdot B = 9,2 \text{ m}$$

$$e_R \leq e_{L'} = 1 \quad \text{OK}$$

Eccentricità sezione interamente reagente

$$e_{ir} = \frac{1}{6} \cdot B = 6,6667 \text{ m}$$

$$e_R \leq e_{ir} = 1$$

Tensione del terreno sul bordo fondazione

Minima pressione del terreno

$$q_{umin} = \begin{cases} \text{if } e_R \leq e_{ir} & = 7,4943 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \frac{N}{B \cdot L} - 6 \cdot \frac{M}{B^2 \cdot L} & \\ \text{else} & \\ 0 & \end{cases}$$

Massima pressione del terreno

$$q_{umax} = \begin{cases} \text{if } e_R \leq e_{ir} & = 7,5057 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \frac{N}{B \cdot L} + 6 \cdot \frac{M}{B^2 \cdot L} & \\ \text{else} & \\ \frac{2 \cdot N}{3 \cdot \left(\frac{B}{2} - e_R \right) \cdot L} & \end{cases}$$

Lunghezza equivalente

$$B = \begin{cases} \text{if } e_R \leq e_{ir} & = 40 \text{ m} \\ B & \\ \text{else} & \\ B - 2 \cdot e_R & \end{cases}$$

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL PIANO DI POSA

$$b_q = (1 - \alpha \cdot \tan(\varphi)) \quad b_q = 1$$

$$b_V = b_q \quad b_V = 1$$

$$b_c = b_q - \frac{(1 - b_q)}{N_c \cdot \tan(\varphi_d)} \quad b_c = 1$$

FATTORIO DI INCLINAZIONE DEL CARICO

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}} \quad m = 1,33$$

$$i_q = \left(1 - \frac{V}{(N + B \cdot L \cdot c \cdot \cot(\varphi))} \right)^m \quad i_q = 1$$

$$i_c = i_q - \frac{(1 - i_q)}{N_c \cdot \tan(\varphi)} \quad i_c = 1$$

$$i_V = \left(1 - \frac{V}{(N + B \cdot L \cdot c \cdot \cot(\varphi))} \right)^{m+1} \quad i_V = 1$$

FATTORI DI FORMA

$$s_q = 1 + \sin(\varphi) \cdot \frac{B}{L} \quad s_q = 2,03$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B}{L} \quad s_c = 2,26$$

$$s_V = 1 - 0,4 \cdot \frac{B}{L} \quad s_V = 0,2$$

FATTORI DI PROFONDITA'

$$d_V = 1$$

$$\text{if } \frac{D}{B} \leq 1$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \frac{D}{B} \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2$$

else

$$d_q = 1 + \left(2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \right) \cdot \text{atan}\left(\frac{D}{B}\right)$$

$$d_q = 1$$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \tan(\varphi)} \quad d_c = 1$$

VERIFICA PER RAGGIUNGIMENTO DEL CARICO LIMITE DEL TERRENO

Sovraccarico piano campagna

$$q_{q,i} = 0 \frac{kN}{m^2}$$

Sovraccarico a piano fondazione $q_i = \gamma_k \cdot D + q_q$

$$q = 5,4 \frac{kN}{m^2}$$

Carico limite ultimo

$$q_{ult} = q \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q + c \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma_k \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot d_{\gamma}$$

$$q_{ult} = 1925 \frac{kN}{m^2}$$

Carico limite di progetto

$$q_a = \frac{q_{ult}}{FS}$$

$$q_a = 837 \frac{kN}{m^2}$$

Carico limite di scorrimento

$$V_{lim} = N \cdot \tan(\delta)$$

$$V_{lim} = 2263 kN$$

VERIFICA PER CARICO LIMITE

$$\frac{q_{umax}}{q_a} = 0,01$$

≤ 1 OK

VERIFICA DI RIBALTAMENTO

$$\eta = \frac{N \cdot B}{M} = 3955,17$$

≥ 1.5 OK

7. CONCLUSIONI

La platea, con la geometria, le caratteristiche dei materiali e le armature descritte risulta verificata per gli SLE e per gli SLU sotto le azioni di progetto.