

 DIREZIONE LAVORI PUBBLICI Settore Edilizia Comunale e Scolastica Servizio Edilizia Sportiva, Magistratura e Sedi Terraferma	Area : Punta S.Giuliano			Elab.: RGeot
	Progetto : CI 14236 - 2.8.1. Rafforzamento azione P.A. - Ambiente e Territorio. Aree verdi parco S. Giuliano: Riordino del Polo Nautico ed opere complementari			
	R.U.P. : arch. Silvia Loreto			Rev.: 01
	Tavola : Relazione geotecnica			
	Codice	Progetto	Data	Scala
	14236	Esecutivo	16/01/2020	-
Progettisti: dott.urb. Aldo Menegazzi arch. Martina Guermani	Progetto strutture:  AI Progetti Architettura Ingegneria s.c. ing. Valentina Corras arch. Andrea Borin		Progetto impianti elettrici e termotecnici e speciali:  TFE Ingegneria srl ing. Zeffirino Tommasin	Relazioni specialistiche, rilievi, service grafico, computazioni, capitolati e contratti: ing. Filippo Ponchio



1 INDICE

1	Indice	1
2	Premessa	2
3	Descrizione della struttura	3
4	Normative di riferimento	3
5	Indagini	4
6	Modello geotecnico del sottosuolo	5
7	Valutazione capacità portante.....	8
8	Stima dei cedimenti.....	11
8.1	<i>Stato di fatto.....</i>	<i>11</i>
8.2	<i>Terreno consolidato con jet grouting</i>	<i>13</i>

2 PREMESSA

La presente relazione si riferisce alla progettazione geotecnica delle fondazioni di 5 capannoni per le attività sportive nautiche e si inseriscono nel progetto di riordino dell'attuale area del Polo nautico dell'area di San Giuliano.

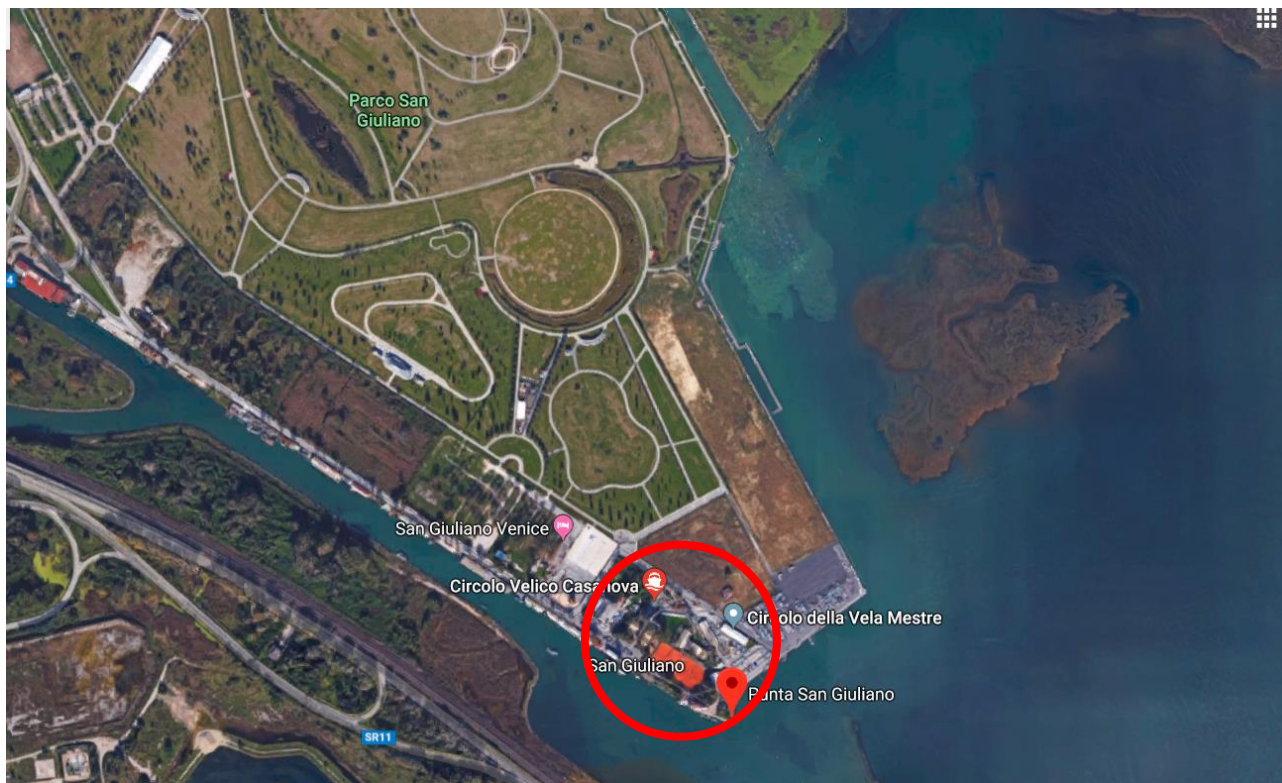


Figura 1 – Area di interesse

3 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura portante verticale dell'edificio è costituita da pilastri isostatici prefabbricati in c.a. (sezione 50x50cm), a cui si aggiungono tre vani scala (due dotati di ascensore) in c.a. (sp. 20 cm) che tuttavia sono indipendenti dalla struttura dell'edificio in quanto scollegati tramite giunti. La maglia dei pilastri, modulare e ripetitiva, ha dimensioni di 5x11,5 m (asse).

L'edificio è stato calcolato in modo da poter ampliare in futuro ampliare l'estensione del solaio d'interpiano, con il solo posizionamento di nuovi elementi di solaio, senza intervenire con rinforzi sulle strutture verticali.

4 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

I calcoli riportati vengono eseguiti secondo gli usuali metodi della Scienza delle Costruzioni e nel pieno rispetto delle normative vigenti.

La normativa attualmente in vigore in Italia è il Decreto Ministeriale del 17/01/2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni". Le azioni sulle strutture sono determinate in base a quanto riportato al §3 del DM 17/01/2018, mentre le verifiche sulle strutture sono svolte in ottemperanza di quanto descritto al §4 del medesimo decreto.

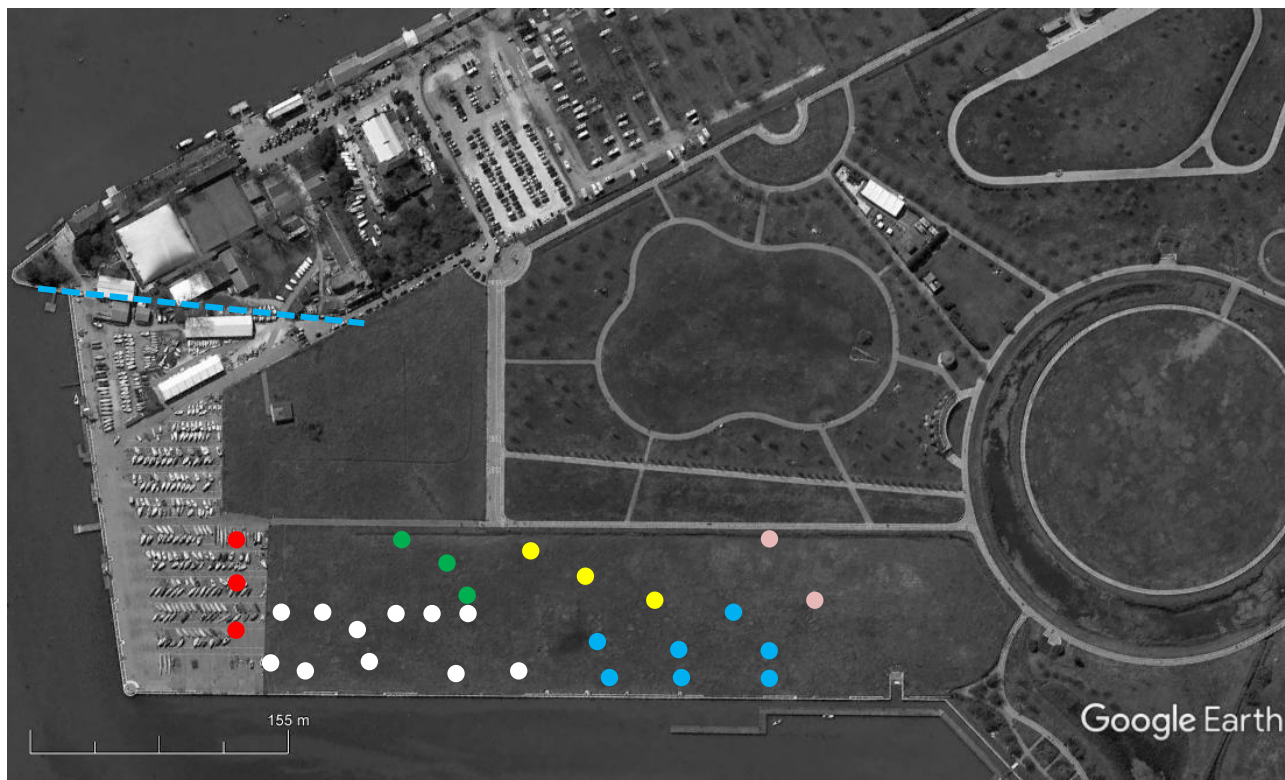
In mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

I calcoli riportati vengono eseguiti secondo gli usuali metodi della Scienza delle Costruzioni e nel pieno rispetto delle normative vigenti.

- Decreto Ministeriale del 17/01/2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»".
- Circ. n. 7 del 21/01/09: "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17/01/2018".

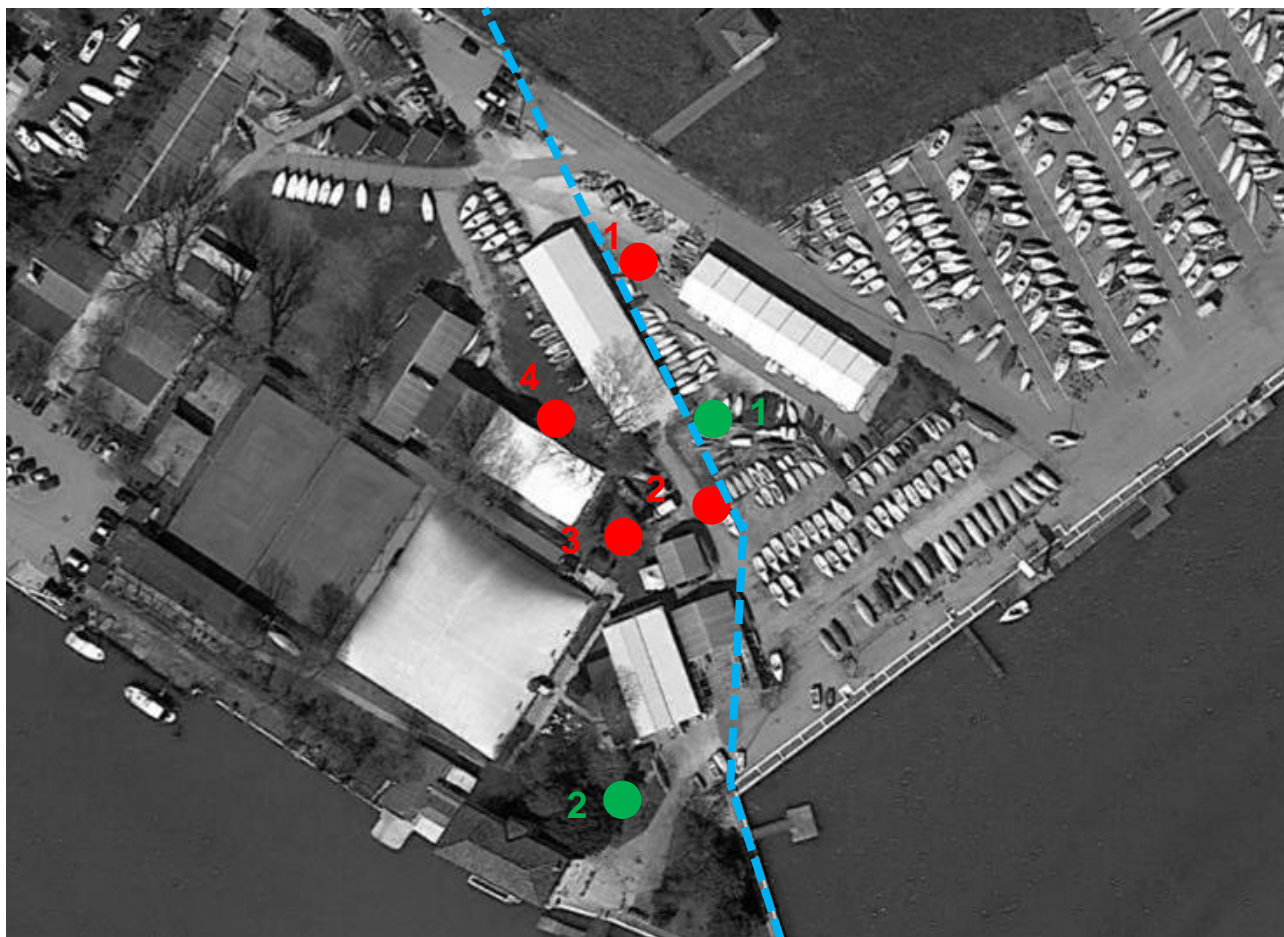
5 INDAGINI

Nel 2005 è stata eseguita una campagna di indagini: i pallini indicano la posizione delle prove CPT spinte fino a -10m dal p.c..



La linea azzurra tratteggiata indica la separazione fra due aree di differente natura geotecnica, così come rilevato dai sondaggi archeologici di recente eseguiti.

Nell'aprile 2019 è stata eseguita una campagna di indagini integrativa:



Ove in verde sono indicati i sondaggi ed in rosso le prove SCPTU.

La linea tratteggiata in azzurro riportata è un limite ipotetico, che è stato tracciato sulla base di immagini storiche che posizionavano indicativamente in quella posizione il limite della battigia.

6 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Si riportano di seguito le interpretazioni dei risultati delle indagini geognostiche, così come riportati nella relazione geologica a firma dott. Zago.

Modello geotecnico secondo SCPTU1:

PROFONDITA' LIVELLO (m)	NATURA GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO	Qc (kg/cm ²)	Val. Caratt. COESIONE c _u (kg/cm ²)	Val. Caratt. ANGOLO D'ATTR. (φ' _i)	M Modulo Edometrico (kg/cm ²)
1 da p.c. a 2.00	Terreno di riporto	10 - 25	0.50-0.80		20
2 da 2.00 a 3.50	Limi e/o limi-argilloso-sabbiosi	20 - 35		28°-30°	67
3 da 3.50 a 6.20	Argille e argille limose con torba	4 - 6	0.20-0.35		7
4 da 6.20 a 7.60	Limi argillosi	7 - 18	0.35-0.75		59
5 da 7.60 a 8.60	Sabbie limose	30 - 75		29°-31°	71
6 da 8.60 a 10.70	Limi sabbiosi	11 - 40		27°-29°	56
7 da 10.70 a 14.00	Argille ed argille torbose	3 - 9	0.15-0.35		15
8 da 14.00 a 15.20	Sabbie limose	60 - 90		31°-33°	290
9 da 15.20 a 16.40	Argille limose	6 - 10	0.30-0.45		36
10 da 16.40 a 18.40	Limi sabbiosi	45 - 70		30°-31°	139
11 da 18.40 a 25.00	Limi torbosi, argille limose, torbe	7 - 12	0.35-0.60		39
12 da 25.00 a 28.20	Limi argilloso-sabbiosi	8 - 16 35 - 40	0.40-0.65	29°-30°	109
13 da 28.20 a 29.50	Sabbie	70 - 120		31°-35°	337
14 da 29.50 a 30.60	Limi argillosi	9 - 14	0.45-0.65		41

Modello geotecnico secondo SCPTU2-3-4:

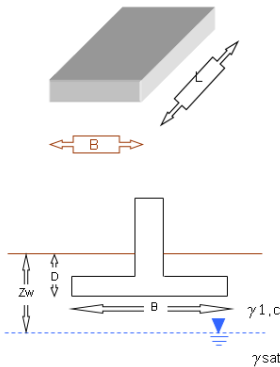
PROFONDITA' LIVELLO (m)		NATURA GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO	Qc (kg/cm ²)	Val. Caratt. COESIONE cu _k (kg/cm ²)	Val. Caratt. ANGOLO D'ATTR. (φ' _k)	M Modulo Edometrico (kg/cm ²)
1	da p.c. a 2.00	Terreno di riporto	10 - 25	0.50-0.80		20
2	da 2.00 a 4.20	Argille e limi-argilloso-sabbiosi	1.5 - 11	0.10-0.45		7
3	da 4.20 a 5.40	Limi argillosi	30 - 60	0.90-1.20	28°-29°	101
4	da 5.40 a 6.60	Argille e limi argillosi	10 - 16	0.50-0.70		58
5	da 6.60 a 7.60	Limi sabbiosi	70 - 130		31°-33°	236
6	da 7.60 a 8.60	Limi argillosi	8 - 16	0.40-0.70		69
7	da 8.60 a 9.70	Limi sabbiosi	35 - 45		30°-31°	139
8	da 9.70 a 13.10	Argille limose	7 - 12	0.35-0.55		27
9	da 13.10 a 13.90	Limi sabbiosi	35 - 100		30°-32°	263
10	da 13.90 a 15.50	Argille limose con torba	4 - 10	0.25-0.40		33
11	da 15.50 a 16.90	Limi sabbioso-argillosi	9 - 15 25 - 35	0.45-0.70	29°-30°	51 190
12	da 16.90 a 17.70	Limi sabbiosi	35 - 60		30°-31°	168
13	da 17.70 a 24.00	Limi argillosi	7 - 12	0.35-0.60		42
14	da 24.00 a 26.40	Limi torbosi, argille limose, torbe	12 - 35	0.65-1.20		78
15	da 26.40 a 28.80	Sabbie	70 - 170		32°-35°	414
16	da 28.80 a 30.10	Limi argillosi	11 - 16	0.65-0.80		50

La falda si attesta a -0,45 m dal p.c.

Il modello geotecnico utilizzato per il calcolo della portanza e dei cedimenti è unico per le due stratigrafie rilevate: il miglioramento del terreno permette infatti di uniformare le caratteristiche meccaniche delle due tipologie di terreno identificate.

7 VALUTAZIONE CAPACITÀ PORTANTE

Nella stima della capacità portante si utilizzano i seguenti valori:



peso specifico efficace:	$\gamma_1 = 1555 \text{ daN/mc}$
peso specifico saturo:	$\gamma_{\text{sat}} = 2635 \text{ daN/mc}$
coesione	$c' = 50 \text{ kN/mq}$
profondità falda:	$Z_w = 0 \text{ m}$
lato fondazione	$B = 58 \text{ m}$
lunghezza fondazione	$L = 58 \text{ m}$
profondità di posa	$D = 0 \text{ cm}$

Lo strato di posa delle fondazioni è comune ai due modelli geotecnici rilevati (uniformi per i primi 2 m).

Per la stima del carico limite è stata utilizzata la formula di Brinch – Hansen per terreni coesivi saturi:

$$q_{\text{lim}} = c_u^* \cdot N_c^0 \cdot s_c^0 \cdot d_c^0 \cdot i_c^0 \cdot b_c^0 \cdot g_c^0 + \sigma_{v0}$$

$$N_c^0 = \pi + 2 = 5.14$$

$$s_c^0 = 1 + 0.2 \frac{B}{L}$$

$$d_c^0 = 1 + 0.4 \frac{D}{B} \quad \text{per } B \geq D$$

$$d_c^0 = 1 + 0.4 \tan^{-1} \frac{D}{B} \quad \text{per } B < D$$

$$i_c^0 = 1 - \frac{mH}{BLc_u N_c} ; \quad m = \frac{2+B/L}{1+B/L}$$

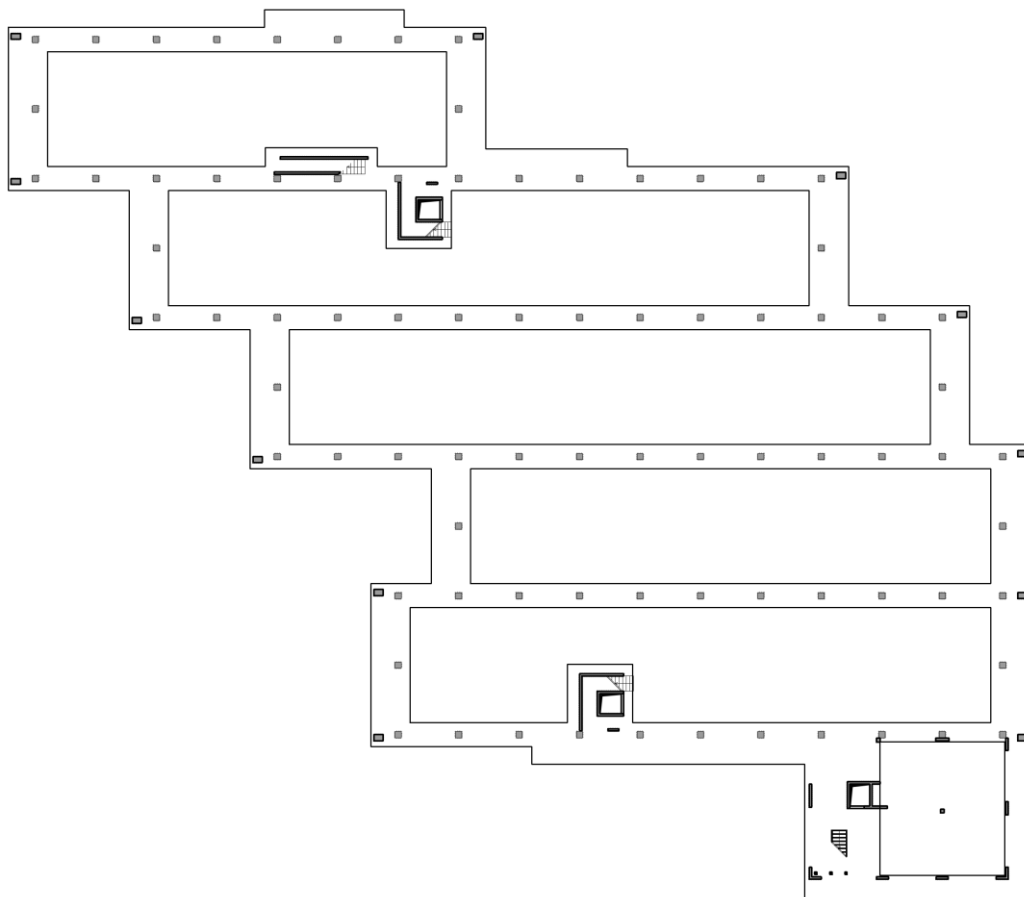
$$b_c^0 = 1 - \frac{2\alpha}{\pi + 2} ; \quad g_c^0 = 1 - \frac{2\omega}{\pi + 2}$$

(*) Valore medio mobilitato lungo la superficie di rottura

Il carico limite è pari a: $q_{\text{lim}} = 3,07 \text{ daN/cm}^2$

Per le verifiche di resistenza si utilizza l'Approccio 2 (A1-M1-R3): il valore di calcolo del carico limite va diviso per il fattore di sicurezza 2,3.

Le fondazioni dell'edificio sono del tipo a platea dello spessore di 60 cm, ribassate a 30 cm nella sola zona interna del bar per esigenze architettoniche e nella zona centrale delle aree adibite a rimessaggio barche.



Pianta piano terra

Per la modellazione strutturale, si è optato per schematizzare il terreno con un suolo elastico alla Winkler; la rigidezza delle molle è valutata sulla base di dati da letteratura.

Il Viggiani indica il campo di variabilità di $k_1 = 1,8 - 3,5$ daN/cmc per valori di $c_u = 50-100$ kPa

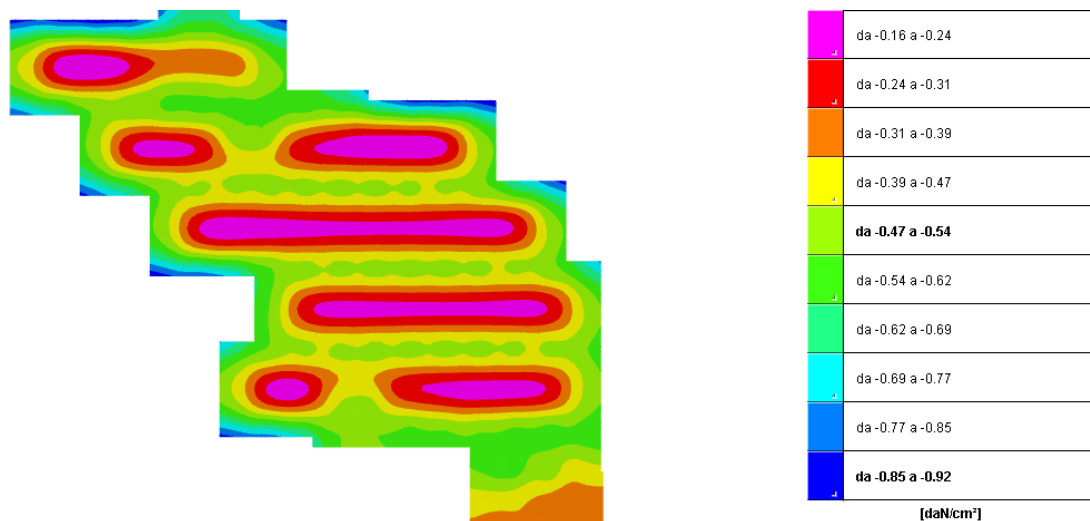
La correlazione di Terzaghi e Peck:

$$k = k_1 [(B+b)/(2B)]^2 \quad \text{per } b=0 \quad \text{porta a:} \quad k = 0,25 k_1$$

Nell'ipotesi più cautelativa si sceglie $k = 1,8 \times 0,25 = 0,45$ daN/cmc

Nel modello di calcolo le fondazioni sono state modellate come elemento piastra vincolato con molle elastiche alla Winkler con rigidezza 0,45 daN/cmc.

Si riporta di seguito l'involuppo delle sollecitazioni di pressione sul terreno desunte da modello di calcolo globale (per informazioni su codice di calcolo e metodo di modellazione si veda l'elaborato "Relazione di calcolo delle strutture").



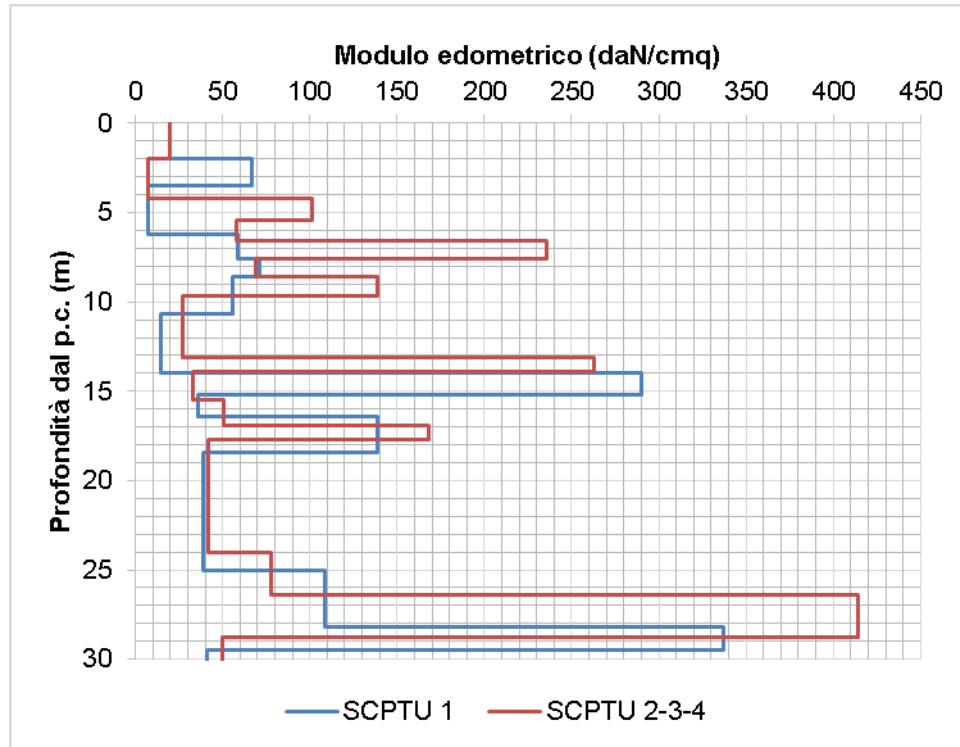
Massime pressioni sul terreno combinazioni SLU-SLV

Il valore massimo di calcolo (involuppo SLU -SLV) è pari a **0,92** daN/cm² < $3,07 / 2,3 = 1,33$ daN/cm².
Le verifiche risultano soddisfatte.

8 STIMA DEI CEDIMENTI

8.1 STATO DI FATTO

Si riporta di seguito un grafico schematico del modulo edometrico per ogni strato, al variare della profondità, per i due modelli geotecnici:



Sui nota la sostanziale somiglianza dei due modelli negli strati superficiali. E' evidente che per quanto riguarda i cedimenti, i livelli più soffici hanno pari caratteristiche nei due modelli geotecnici: tale fatto fa presumere che i cedimenti siano omogenei.

Di seguito si riportano i valori di carico distribuito per caso di carico:

g1	2150 daN/mq
g2	400 daN/mq
variabile categoria E:	600 daN/mq
variabile categoria C:	500 daN/mq
variabile categoria H	50 daN/mq
neve:	$(144+72)/2 = 108$ daN/mq
SLE R	0,37 daN/cm²
SLE F	0,34 daN/cm²
SLE QP	0,33 daN/cm²

Per la stima del cedimento finale, si utilizza la trattazione di Poulos e Davis (1974), per la combinazione SLE Rara

$$R_1 = [(L/2)^2 + z^2]^{0.5}$$

$$R_2 = [(B/2)^2 + z^2]^{0.5}$$

$$R_3 = [(L/2)^2 + (B/2)^2 + z^2]^{0.5}$$

$$dx = q/(2 \cdot \pi) \cdot \arctan[L/4 \cdot B/2/(z \cdot R_3) - L/2 \cdot B/2 \cdot z/R_3/R_1^2]$$

$$dy = q/(2 \cdot \pi) \cdot \arctan[L/4 \cdot B/2/(z \cdot R_3) - L/2 \cdot B/2 \cdot z/R_3/R_2^2]$$

$$dz = 4 \cdot q/(2 \cdot \pi) \cdot \arctan[L/4 \cdot B/2/(z \cdot R_3) + L/2 \cdot B/2 \cdot z/R_3 \cdot 1/R_1^2 + 1/R_2^2]$$

$$dztot = [dz - v \cdot (dx + dy)]/E$$

SCPTU 2-3-4

Strato	Litologia	Quota cambio di strato (m dal p.c.)	E (kPa)	v	Cedimento (cm)
1	riporto	2.0	2000		1.77
2	argilla	4.2	700	0.40	8.52
3	limo	5.4	10100	0.30	0.33
4	argilla	6.6	5800	0.40	0.53
5	limo	7.6	23600	0.30	0.11
6	limo	8.6	6900	0.30	0.38
7	limo	9.7	13900	0.30	0.21
8	argilla	13.1	2700	0.40	3.18
9	limo	13.9	26300	0.30	0.08
10	argilla	15.5	3300	0.40	1.19
11	limo	16.9	5100	0.30	0.68
12	limo	17.7	16800	0.30	0.12
13	limo	24.0	4200	0.30	3.51
14	limo	26.4	7800	0.30	0.67
15	sabbia	28.8	41400	0.00	0.12
16	limo	30.1	5000	0.30	0.52
CEDIMENTO TOTALE CALCOLATO					21.91

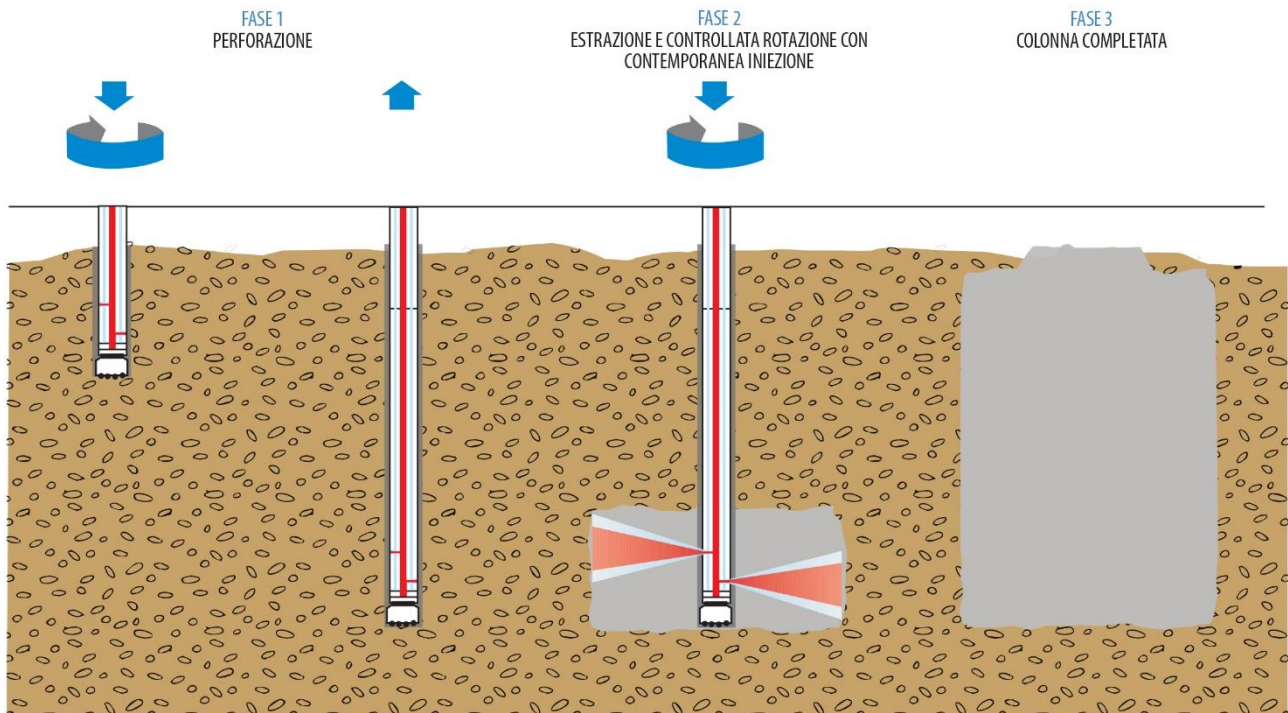
SCPTU 1

Strato	Litologia	Quota cambio di strato (m dal p.c.)	E (kPa)	v	Cedimento (cm)
1	riporto	2.0	2000		1.77
2	limo	3.5	6700	0.30	0.64
3	argilla	6.2	700	0.40	10.26
4	limo	7.6	5900	0.30	0.64
5	sabbia	8.6	7100		0.42
6	limo	10.7	5600	0.30	0.98
7	argilla	14.0	1500	0.40	5.53
8	sabbia	15.2	29000		0.11
9	argilla	16.4	3600	0.40	0.81
10	limo	18.4	13900	0.30	0.35
11	limo	25.0	3900	0.30	3.91
12	limo	28.2	10900	0.30	0.62
13	sabbia	29.5	33700		0.08
14	limo	30.6	4100	0.30	0.53
CEDIMENTO TOTALE CALCOLATO					26.64

I cedimenti sono troppo elevati per essere ammissibili, si prevede di attestare il piano di posa delle fondazioni a -100 cm dal p.c. e di consolidare il terreno argilloso con modulo edometrico più scadente (da 2/3,5 a 4,2/6,2 m dal p.c.).

8.2 TERRENO CONSOLIDATO CON JET GROUTING

Si prevede di consolidare tramite iniezioni Jet Grouting, atte a garantire 1 colonna di cls del diametro reso di 70 cm ogni circa 10 mq, che attraversa gli strati da -2 m a -9 m.



Nel calcolo dei cedimenti si prende in considerazione una profondità di 2 m oltre la testa palo (circa 3 diametri).

Stima dei cedimenti combinazione SLE QUASI PERMANENTE:

LITOLOGIA	QUOTA CAMBIO DI STRATO	E	N	CEDIMENTO
-	m	kN/mq	-	cm
riporto	2	2.000		2,41
limo	9	1.211.331		0,02
argilla	10,7	5.600	0,30	0,71
limo	11	1.500	0,40	0,42
CEDIMENTO TOTALE CALCOLATO				3,55

LITOLOGIA	QUOTA CAMBIO DI STRATO	E	N	CEDIMENTO
-	m	kN/mq	-	cm
riporto	2	2.000		2,41
argilla	9	1.211.331		0,02
limo	9,7	13.900	0,30	0,12
argilla	11	2.700	0,40	1,09
CEDIMENTO TOTALE CALCOLATO				3,62

I cedimenti sono ammissibili.