

ISTITUTO AUTONOMO PER LE CASE POPOLARI
DELLA PROVINCIA DI PALERMO
COMUNE DI PALERMO

Interventi di realizzazione di due strutture coperte a servizio del mercato storico di Ballarò all'interno del quartiere dell'Albergheria nel Centro Storico del Comune di Palermo.

RELAZIONE GEOTECNICA

Il Consulente Geotecnico

L'Impresa

Il Responsabile Unico del Procedimento

PREMESSA

La presente relazione riguarda i lavori di realizzazione di due strutture coperte a servizio del mercato storico di Ballarò all'interno del quartiere dell'Albergheria nel centro storico di Palermo. Tali strutture consistono in tettoie con struttura portante metallica e copertura in lastre metalliche e/o teli di materiale tessile molto leggero.

L'area interessata è la Piazza del Carmine, sede del mercato storico di Ballarò e ricade nel centro storico di Palermo nel quartiere Albergheria, normato da apposito Piano particolareggiato approvato con Decreto n.581/DRU del 6/08/93, in zona posta sotto tutela archeologica dalla Soprintendenza con note n.1418 del 29/04/1987, n.1882 del 5/06/1987, 1732 del 9/04/2002, e lo stesso è assoggettato ope legis, in quanto di proprietà comunale, alle disposizioni di tutela dell'art.12 contenute nel D.Lgs.42/2004 "Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio", per cui la Soprintendenza BB.CC.AA. di Palermo ha dato Autorizzazione n.1923/S15.3 del 10/04/2018 al fine della tutela monumentale dell'edificio, ai sensi degli artt.21 e 22 del D.Lgs.42/2004 ed a condizione per la valenza archeologica del sito.

Nel presente studio vengono utilizzati i risultati di diverse indagini geognostiche e di laboratorio su campioni estratti dal sottosuolo eseguite per conto dello IACP di Palermo da parte della ditta SIDERCEM s.r.l. con sede in via Grassi 7, Caltanissetta laboratorio specializzato in prove sui terreni ed indagini geognostiche. Questi ultimi risultati sono nella presente utilizzati per le proprietà geomeccaniche e geofisiche dei vari terreni e rocce del sottosuolo, nonché per la caratterizzazione geofisica dello stesso, i calcoli di portanza e cedimento delle strutture fondali scelte.

Pertanto, in seguito all'incarico ricevuto, il sottoscritto ha proceduto ad effettuare la ricognizione dell'area, la scelta del tipo di fondazione, l'indicazione del piano di posa delle stesse, la verifica alla rottura del terreno di fondazione allo stato limite ultimo, sulla scorta delle indagini effettuate nell'area, i cui relativi risultati sono stati quivi esposti, elaborati, ed utilizzati per il presente studio.

La normativa applicata è il D.M.14/01/2008 e la Circolare n.619 del 2/02/2009, in quanto in quanto trattasi di opera pubblica del cui progetto strutturale è stato incaricato lo scrivente con

nota n.19716 del 6/12/2017 e pertanto rientrante nella casistica di terza fattispecie ex art.2 comma 1 del D.M.17/01/2018 recante disposizioni transitorie.

MORFOLOGIA

L'area in oggetto è ubicata nel centro storico di Palermo, nel quartiere dell'Albergheria in una zona poco acclive prossima alla costa marina.

L'area si colloca all'interno di un ambiente morfologico pianeggiante denominato Piana di Palermo, all'interno della quale si sviluppa il tessuto urbano della Città di Palermo.

La morfologia prevalente è quella pianeggiante, costituita dai terreni quaternari di natura calcarenitica e argilloso-sabbiosa.

L'attuale assetto morfologico della Piana di Palermo, abbastanza regolare, con pendenze del 10-15%, è il risultato dell'azione del mare e di quella dei corsi d'acqua che la incidevano più o meno profondamente. Conseguenza di tali azioni è una serie di pianori a diversa quota, con dislivelli di qualche metro, raccordati con delle scarpate lungo le quali è stata storicamente impostata la rete viaria urbana ed extraurbana.

Dalla cartografia disponibile presso l'Assessorato Regionale al Territorio e Ambiente, aggiornata al D.A.R.T.A. del marzo 2007, l'area in esame non presenta pericolosità o rischi idraulici e geomorfologici.

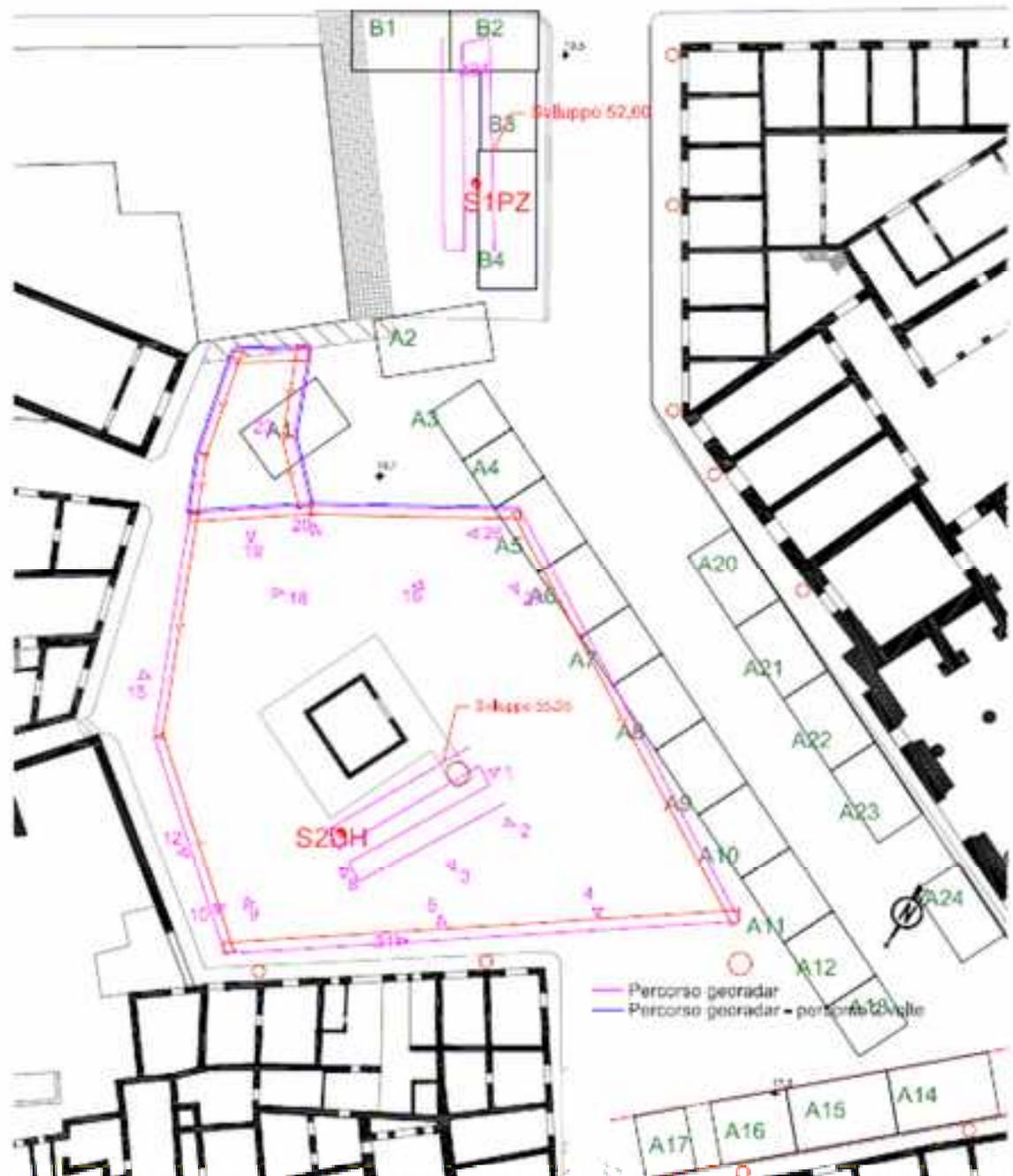
Non si notano nell'area fenomeni franosi, né dissesti nel sottosuolo o fenomeni di subsidenza.

Unica nota da segnalare è la presenza di una cavità ipogea accertata da un sondaggio eseguito nel sottosuolo all'angolo tra la via Naso e la Piazza del Carmine ed acquisito nella pubblicazione "Palermo – geologia del centro storico – atlante geologico stratigrafico" di Pietro Todaro edito da Dario Flaccovio Editore.

INDAGINI IN SITU – INDAGINI DI LABORATORIO

Per caratterizzare il sottosuolo su cui insisteranno le tettoie del mercato in piazza del

Carmine, sono stati utilizzate le seguenti indagini effettuate dallo IACP di Palermo nell'area dell'intervento.



- 2 sondaggi meccanici a rotazione, a carotaggio continuo, indicati con le sigle S2DH – S1PZ entrambi ubicati in piazza del Carmine, rispettivamente il primo, profondo 30 m, in prossimità di una cabina di trasformazione Enel ed il secondo, profondo 15 m, sul marciapiede a pianta trapezoidale prossimo alla via Naso;

- 6 prove penetrometriche dinamiche del tipo SPT in corrispondenza del sondaggio S2DH e tre in corrispondenza del sondaggio S1PZ;
- indagini georadar sui siti interessati dalle fondazioni delle tettoie onde individuare le presenza dei sottoservizi;
- indagine sismica downhole in 1 perforazione di sondaggio (S2DH);
- risultanze del rilevamento della falda idrica tramite 1 piezometro posto nel foro del sondaggio S1PZ;
- analisi prove di laboratorio su un campione indisturbato CI1 prelevato in corrispondenza del sondaggio S1PZ, due campioni rimaneggiati Crim2 e Crim2ed uno indisturbato CI1 in corrispondenza del sondaggio S2DH, volte a definire i parametri meccanici e fisici degli stessi comprendenti:

- Descrizione macroscopica del campione;
- Determinazione del contenuto d'acqua naturale per essiccamento in stufa;
- Determinazione del Peso dell'Unità di Volume;
- Determinazione del peso specifico dei grani;
- Determinazione della composizione granulometrica mediante staccatura per via umida del materiale trattenuto allo staccio n° 200 della serie ASTM ($\varnothing=0,075$ mm), mentre per il passante è stata eseguita la determinazione tramite sedimentazione;
- Prova di taglio diretto del tipo consolidata drenata (CD).

Si riassumono nello specifico le prove di laboratorio effettuate ed i valori fisici, granulometrici e geomeccanici conseguiti:

Sondaggio S1Pz campione CI1 profondità 1,65 - 2,00 m							
g	g _s	g _d	w _n	e	n	c'	f
kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³	%			kN/m ²	°
19,86	27,17	18,08	9,9	0,503	0,335	9,41	41,2
Ghiaia Sabbia Limo Argilla							
%	%	%	%				
35,83	32,37	21,14	10,66				

Sondaggio S2DH campione Crim1 profondità 1,00 - 1,30 m

g	g s	g d	w n	e	n	c'	f °
kN/m3	kN/m3	kN/m3	%				kN/m2 °
	27,18		10,8				
Ghiaia Sabbia Limo Argilla							
%	%	%	%				
39,98	41,78	13,02	5,21				

Sondaggio S2DH campione Crim2 profondità 2,00 - 2,40 m

g	g s	g d	w n	e	n	c'	f °
kN/m3	kN/m3	kN/m3	%				kN/m2 °
	27,15		14,3				
Ghiaia Sabbia Limo Argilla							
%	%	%	%				
70,34	16,12	7,86	5,68				

Sondaggio S2DH campione CI1 profondità 24,00 – 24,50 m

g	g s	g d	w n	e	n	c'	f °
kN/m3	kN/m3	kN/m3	%				kN/m2 °
22,25	26,94	19,5	14,1	0,382	0,276		
Ghiaia Sabbia Limo Argilla							
%	%	%	%				
56,13	31,99	8,76	3,12				

Dal sondaggio S1Pz spinto fino a 15 m di profondità, si evince:

in superficie e fino a 1,40 m di profondità, escludendo i 10 cm più superficiali del conglomerato cementizio del marciapiede, uno stato di colore marrone chiaro di sabbia con ghiaia ed inclusi litici, con clasti eterometrici da subangolari e subarrotondati;

da 1,40 a 2,00 m di profondità, uno strato di colore marrone di sabbia limoso ghiaiosa con clasti eterometrici da subangolari e subarrotondati;

da 2,00 a 7,00 m di profondità, uno strato di colore giallo ocra di ghiaia sabbiosa con clasti eterometrici ed angolari, con presenza di livelli molto addensati e livelli di materiale lapideo colore giallo ocra carotato integro;

da 7,00 a 8,10 m di profondità, uno strato di colore giallo ocra di sabbia ghiaiosa molto addensata con clasti eterometrici da subarrotondati ad arrotondati;

da 8,10 a 13,10 m di profondità, uno strato di colore giallo ocra di materiale lapideo arenitico, carotato in spezzoni decimetrici o in forma di breccia angolare ed eterometrica con livelli debolmente sabbiosi;

da 13,10 a 15,00 m (fondo foro) di profondità, uno strato di colore giallo ocra di sabbia fine, a tratti debolmente ghiaiosa, moderatamente addensata.

In tale sondaggio è stata misurata la profondità della falda idrica a -11,60 m dal piano campagna.

Dal sondaggio S2DH spinto fino a 30 m di profondità, si evince:

in superficie e fino a 0,70 m di profondità uno strato di colore marrone di sabbia limoso ghiaiosa, con clasti eterometrici da subangolari a subarrotondati;

da 0,70 a 1,80 m di profondità, uno strato di colore variabile da grigio a marrone di sabbia con ghiaia molto addensata con clasti eterometrici da subangolari a subarrotondati e litici eterometrici;

da 1,80 a 3,00 m di profondità, uno strato di colore giallo ocra di ghiaia sabbiosa contenente litici arenitici di colore giallo ocra;

da 3,00 a 4,00 m di profondità, uno strato di colore giallo ocra di ghiaia con sabbia fine con clasti eterometrici ed angolari;

da 4,00 a 9,50 m di profondità, uno strato di colore giallo ocra di materiale lapideo arenitico a grado di cementazione variabile, carotato integro o a livelli ghiaioso sabbiosi contenente clasti eterometrici ed angolari;

da 9,50 a 21,00 di profondità, uno strato di colore giallo oca di sabbia medio fine da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa con livelli debolmente limosi, moderatamente addensata, con inclusi litici eterometrici angolari;

da 21,00 a 30 m (fondo foro) di profondità, uno strato di colore grigio di sabbia fine limosa alternata a limo sabbioso argilloso consistente.

Dai dati delle resistenze meccaniche e dai dati geofisici della prova down hole più avanti descritta, nel sondaggio S2DH, si evidenziano buone caratteristiche meccaniche e dell'addensamento dei granuli sia nelle sabbie e ghiaie molto addensate più superficiali, sia nel sottostante banco calcarenitico, mentre le stesse diminuiscono nei sottostanti strati di sabbie fini ghiaiose e più sotto limose alternate ai limi sabbiosi.

Stima dei parametri geotecnici

Angolo di Attrito

METODO DIRETTO - DE MELLO (1971)

Litologie sabbiose

Quota falda [m]:	11,60	In presenza di falda
------------------	-------	----------------------

Profondità [m]	Nspt [colpi/piede]	γ [kg/m ³]	σ_{vo} [kg/cm ²]	zw [m]	uo [kg/cm ²]	σ'_{vo} [kg/cm ²]	N'spt [colpi/piede]	ϕ [gradi]
1,60	100	1986	0,32	0	0,00	0,32	100	36
12,55	19	1986	2,49	12,55	0,10	2,40	17	29
27,30	9	2225	6,07	27,3	1,57	4,50	12	27

Ove è stata apportata una correzione per i terreni sotto falda pari a

$$N'_{SPT} = 15 + 0,5 \times (N_{SPT} - 15)$$

Dai dati delle resistenze meccaniche, nel sondaggio S1PZ, si evidenziano buone caratteristiche meccaniche e dell'addensamento dei granuli sia nelle sabbie e ghiaie molto addensate più superficiali, mentre le stesse diminuiscono nei sottostanti strati di sabbie fini ghiaiose e più sotto limose alternate ai limi sabbiosi.

Stima dei parametri geotecnici

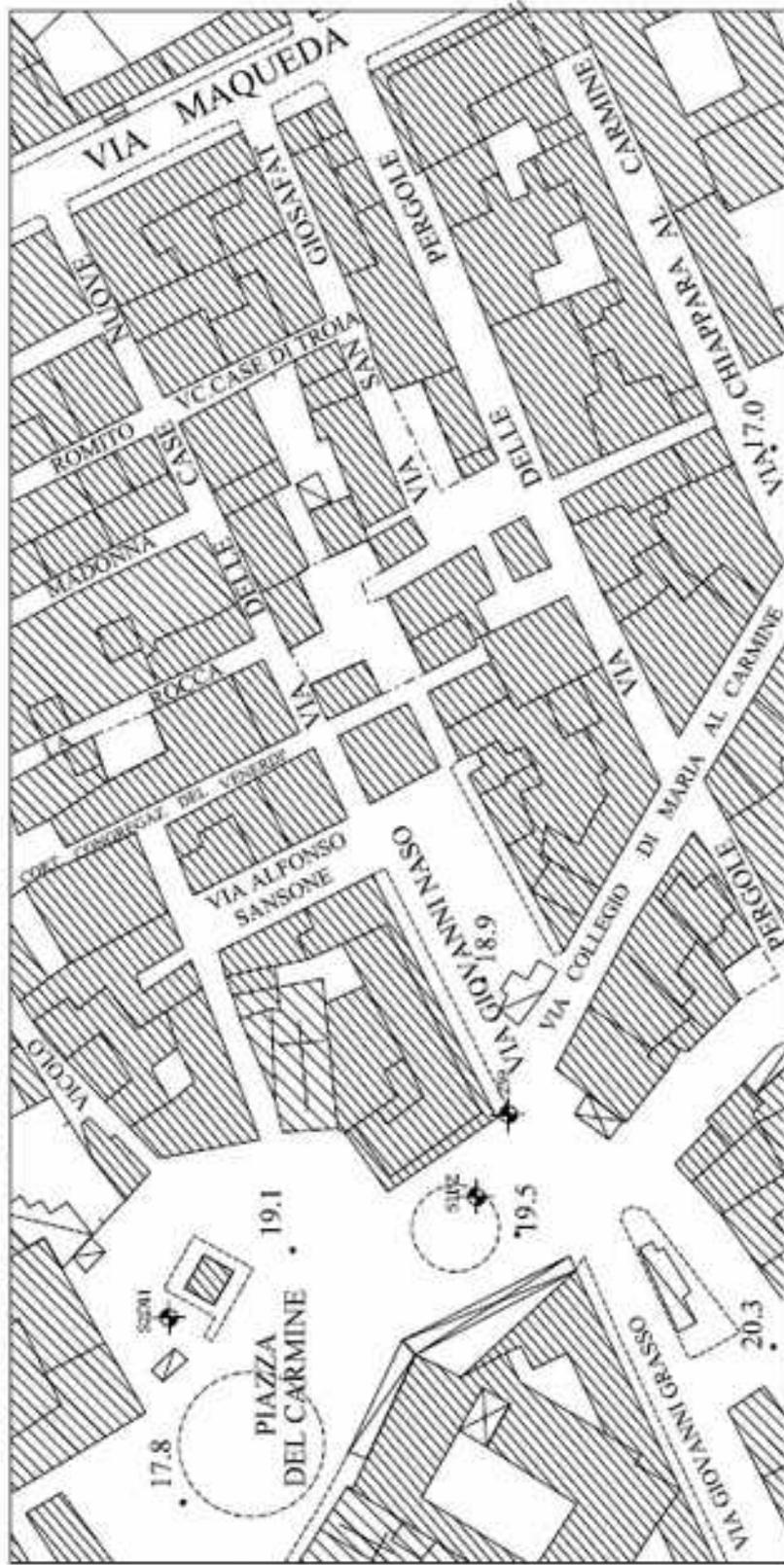
Angolo di Attrito

METODO DIRETTO - DE MELLO (1971)

Litologie sabbiose

Quota falda [m]:		11,60							In presenza di falda	
Profondità	Nspt	γ	σ_{vo}	zw	uo	σ'_{vo}	N'spt	ϕ		
[m]	[colpi/piede]	[kg/m ³]	[kg/cm ²]	[m]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	[colpi/piede]	[gradi]		
2,00	48	1986	0,40	0	0,00	0,40	48	34		
7,00	100	1986	1,39	0	0,00	1,39	100	36		
14,10	19	1986	2,80	14,1	0,25	2,55	17	29		

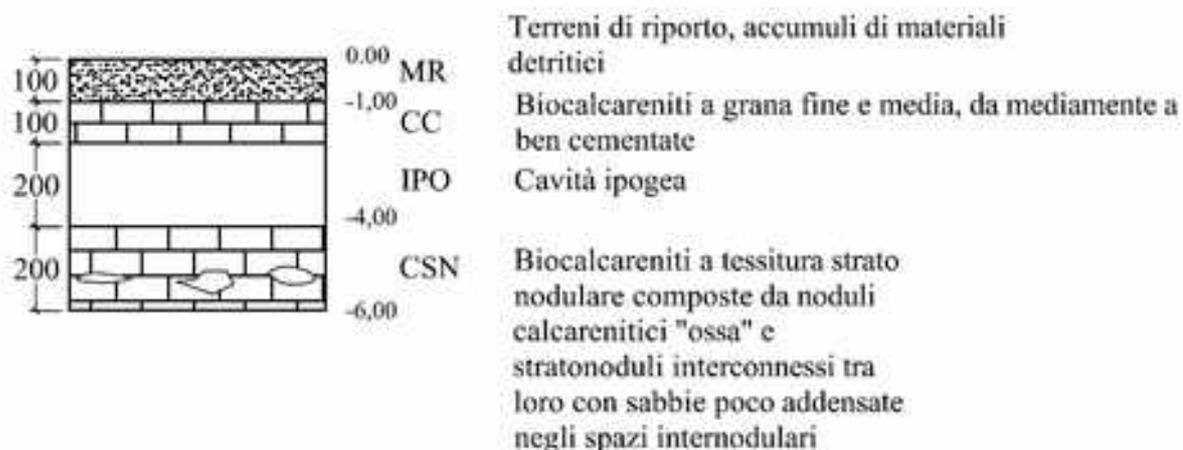
PLANIMETRIA UBICAZIONE SONDAGGI



-  SH1 SONDAGGIO GEONOSTICO ATTREZZATO A DOWN HOLE
-  SH2 SONDAGGIO GEONOSTICO ATTREZZATO CON PERIZOMETRO
-  SH3 SONDAGGIO GEONOSTICO ACQUISITO
-  SH4 AREA OGGETTO D'INTERVENTO

Dal sondaggio acquisito 259 all'angolo tra la via Naso e la Piazza del Carmine, tratto dalla pubblicazione "Palermo – geologia del centro storico – atlante geologico stratigrafico" di Pietro Todaro edito da Dario Flaccovio Editore, si ricava la seguente colonna stratigrafica.

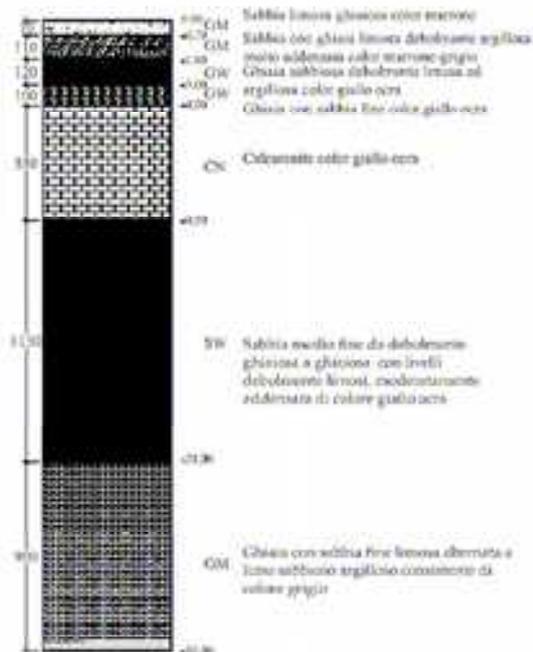
Stratigrafia sondaggio 259



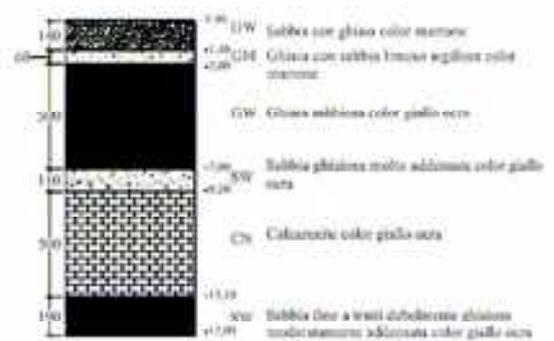
Quindi si nota una cavità ipogea che però non interessa la zona di rilievo dell'indagine georadar, indagine che comunque non ha rilevato cavità estese, ma solamente le solette di alcuni pozzetti di sottoservizi, come evidenziato nel relativo paragrafo e nel rapporto di prova sulle indagini geognostiche della SIDERCEM.

Pertanto, sulla scorta delle indagini geognostiche e di laboratorio eseguite nei due sondaggio S1Pz, S2DH le seguenti stratigrafie:

Stratigrafia sondaggio S2D4



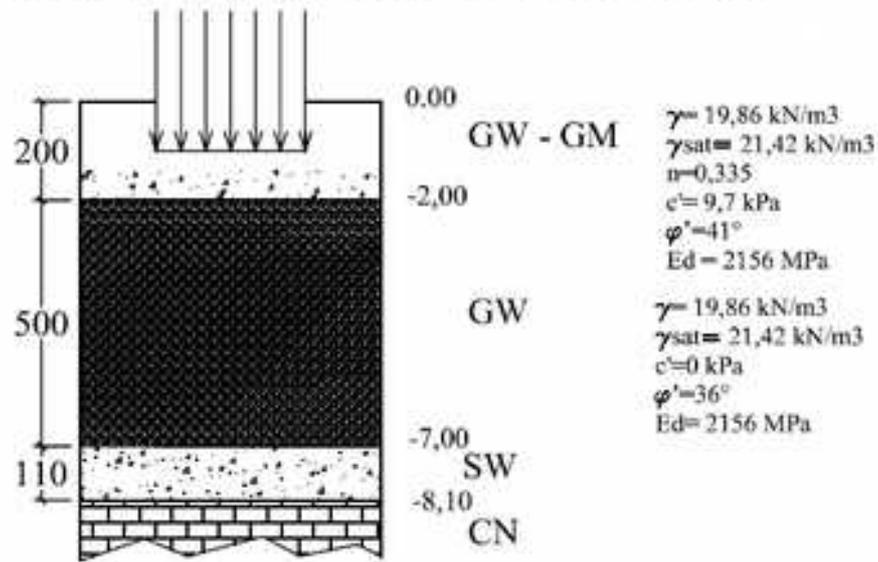
Stratigrafia sondaggio S1PZ



Si assume in definitiva il seguente modello geotecnico di riferimento da adottare per il calcolo delle fondazioni superficiali, assumendo per lo strato più superficiale di sabbie e ghiaie limose le caratteristiche fisiche e meccaniche ($c'=9,7$ kPa, $\phi=41^\circ$, $\gamma=1986$ kg/m³, $n=0,335$) desunte nel sondaggio S1PZ dalle prove di laboratorio, mentre per lo strato sottostante di ghiaia sabbiosa assumono i parametri di resistenza desunti dalle prove SPT ($c'=0$ kPa $\phi' = 36^\circ$).

Per il primo sismostrato si assume un valore $E_{ed}=2156$ MPa

Modello geotecnico di riferimento



Caratterizzazione sismica

La caratterizzazione sismica del sito viene eseguita sulla base della prova down hole eseguita nel sondaggio S1DH in piazza del Carmine in prossimità di vecchia cabina Enel di trasformazione.

Primo sismostrato: Sotto uno strato di circa 0,65 m di sabbia limoso ghiaiosa con clasti eterometrici di colore marrone abbiamo sabbie e ghiaie per la maggior parte dello strato molto addensate con livelli contenenti limi di colore giallo ocra dello spessore di 3,40 m, totale spessore strato = 4,05 m, caratterizzati da una velocità sismica media delle onde longitudinali $v_l = 971,22 \text{ m/s}$ e velocità delle onde di taglio media $v_s = 609,94 \text{ m/s}$.

Secondo sismostrato: Materiale lapideo calcarenitico a grado di cementazione variabile, carotato integro o a livelli sabbiosi con clasti eterometrici dello spessore di 7,10 m. Per tale strato si è registrata una velocità sismica media delle onde longitudinali $v_l = 2028,57 \text{ m/s}$ e velocità delle onde di taglio media $v_s = 1349,81 \text{ m/s}$.

Terzo sismostrato: Sabbia medio fine da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa con livelli

debolmente limosi, moderatamente addensata con presenza di litici eterometrici di colore giallo ocra dello spessore di 6,70. Per tale strato si è registrata una velocità sismica media delle onde longitudinali $v_p = 1856,35$ m/s e velocità delle onde di taglio media $v_s = 649,28$ m/s.

Quarto sismostrato: Sabbia fine limosa alternata a limo sabbioso argilloso, consistente di colore grigio compreso tra -17,87 e -30,03 m di profondità investigata. Per tale strato si è registrata una velocità sismica media delle onde longitudinali $v_p = 1845,22$ m/s e velocità delle onde di taglio media $v_s = 604,98$ m/s.

Riesce pertanto per più strati

$$V_{s30} = 30 / \sum (h_i / v_{si})$$

E quindi:

Prova Down hole - Sondaggio S1DH

z	vp	vs	E	hi/vsi
[m]	[m/s]	[m/s]	[Mpa]	
4,05	971	610	1997	0,006639
11,15	2029	1350	10063	0,005259
17,87	1856	649	2737	0,010354
30	1845	605	2331	0,02005
			sommano	0,042303

$$V_{s30} = 30 / S (h_i / v_{si}) \quad \text{m/s}$$

709

Riesce pertanto $V_{s30} = 709$ m/s.

Pertanto, in base al punto 3.2 delle Norme tecniche sulle costruzioni di cui al D.M.14/01/2008, essendo $V_{s30} > 360$ m/s il sottosuolo può classificarsi di categoria "B" ai fini delle azioni sismiche.

Essendo inoltre la zona subpianeggiante, andrà utilizzato il coefficiente di amplificazione topografico relativo alla categoria T1, pari ad 1,00, mentre il coefficiente di amplificazione stratigrafico andrà calcolato con l'espressione di normativa relativa al suolo B.

SCELTA DEL TIPO DI FONDAZIONE

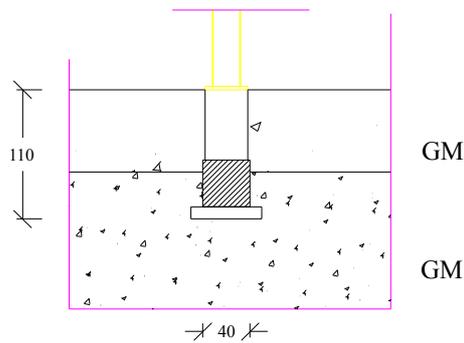
Dalle indagini georadar effettuate sugli allineamenti dei pilastri delle tettoie non si rileva la presenza di cavità, a parte alcuni pozzetti di sottoservizi di cui sono state rilevate le rispettive solette.

Pertanto, si è evidenziato uno spessore variabile da 1,80 a 2,00 di sabbia limosa o con ghiaia di colore marrone di caratteristiche geomeccaniche idonee a sostenere i carichi come acclarato dalla prova di laboratorio CI1 nel sondaggio P1z e dalla prova SPT andata a rifiuto nel sondaggio S2DH, sotto il quale si ritrovano la ghiaia sabbiosa di colore giallo ocra fortemente addensata, e più sotto lo strato di calcarenite.

Stante quanto sopra ci si orienta su una soluzione fondale superficiale costituita da un reticolo di travi di fondazione in c.a. colleganti le basi dei pilastri delle tettoie del mercato, poggiate direttamente su detto strato di sabbia limosa o con ghiaia più superficiale di caratteristiche geomeccaniche idonee a sopportare i modesti carichi trasmessi dalle tettoie, e facilmente raggiungibile con scavi limitati, ed eventualmente con approfondimenti limitati di sottofondazione nell'area di impronta dei pilastri.

Si riporta di seguito lo schema tipo della trave di fondazione.

SCHEMA TIPO TRAVE FONDAZIONE



CALCOLO PORTANZA FONDAZIONE

CARICO LIMITE DI UNA FONDAZIONE SUPERFICIALE

(portanza)

ROTTURA GENERALE

Carico limite: il carico oltre il quale si verifica la rottura del terreno di posa delle fondazioni

Caso delle travi rovesce (fondazione nastriforme)

Consideriamo una trave di fondazione di larghezza B, con un piano di posa alla profondità D, dal piano di calpestio o dal piano di campagna, detta c la coesione del terreno e ϕ l'angolo d'attrito del terreno del piano di posa

risulta_(TERZAGHI)

$$1) q_{lim} = Nq \gamma_1 x D + N_c c + N \gamma x \gamma x B/2$$

ove

γ = peso specifico del terreno sotto il piano di posa

γ_1 = " " sopra " "

D = profondità del piano di posa

B = larghezza della fondazione

c = coesione del terreno di posa

ove

il primo termine rappresenta l'effetto stabilizzante del terreno ai lati della fondazione

il secondo termine rappresenta il contributo delle forze di coesione

il terzo termine il contributo delle forze d'attrito

Le ipotesi assunte da Terzaghi sono:

-fondazione nastriforme

-attrito tra terreno e fondazione

-carico baricentrico

-piano di posa e piano di campagna sono orizzontali

-terreno omogeneo

-deformazione piana

-rottura generale

In molti testi di geotecnica è riportato il diagramma dal quale si possono desumere

valori di N_c, N_q, N_ϕ

Mentre i valori di N_c, N_q, N_ϕ sono ottenuti con le seguenti espressioni

$$N_q = \tan^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \phi)}$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

NORME TECNICHE 2008

D.M. 14/01/2008 NTC

Vengono introdotti n.2 APPROCCI

APPROCCIO 1 :COMBINAZIONE 1:(A1+M1+R1)

COMBINAZIONE2:(A2+M2+R2)

APPROCCIO 2:COMBINAZIONE:(A1+M1+R3)

TABELLA 6.2.I. NTC

Si considerano i casi più sfavorevoli

I CARICHI VERTICALI ED I MOMENTI sono maggiorati (A1) "coefficienti gammaeffe" γ_f

PERMANENTI $\times 1.3$

PERMANENTI NON STRUTTURALI $\times 1.5$

VARIABILI $\times 1.5$

I CARICHI VERTICALI ED I MOMENTI sono maggiorati (A2) "coefficienti gammaeffe" γ_f

PERMANENTI $\times 1$

PERMANENTI NON STRUTTURALI $\times 1.3$

VARIABILI $\times 1.3$

TABELLA 6.2.II NTC

Tangente dell' " angolo d" attrito diviso 1 (M1) " coefficienti gammaemme" γ_m

Coesione diviso 1 (M1)

Tangente dell' " angolo d" attrito diviso 1.25 (M2)

Coesione diviso 1.25 (M2)

TABELLA 6.4.I NTC

Capacità portante diviso 1.0 (R1) "coefficienti gammaerre" γ_r

(portanza) diviso 1.8 (R2)

diviso 2.3 (R3)

la formula precedente (1) ,a proposito della tangente e cotangente e della coesione

viene modificata con i valori della TABELLA 6.2.II

Con l'introduzione di questi coefficienti ,le azioni sono aumentate e la portanza è

diminuita.ovviamente a vantaggio della sicurezza

$E_d \leq R_d$

In allegato è riportata la verifica della portanza superficiale condotta in termini di tensioni efficaci per la combinazione dei carichi più sfavorevole.

CONCLUSIONI

Dai risultati delle informazioni raccolte, dalle indagini georadar in situ, dalle indagini geognostiche e di laboratorio svolte in aree vicine al sito oggetto d'intervento, si è evidenziato uno spessore variabile da 1,80 a 2,00 di sabbia limosa o con ghiaia di colore marrone, sotto il quale si ritrovano la ghiaia sabbiosa di colore giallo ocra fortemente addensata, e più sotto lo strato di calcarenite.

Sulla scorta delle indagini di laboratorio ed in sito, attesa la modesta entità dei carichi trasmessi in fondazione dalla struttura sovrastante, e le caratteristiche fisico meccaniche dello strato più superficiale di sabbia limosa o con ghiaia più superficiale, si ritiene sufficiente poggiare il reticolo di travi di fondazione in c.a. in detto strato facilmente raggiungibile con scavi limitati, ed eventualmente con approfondimenti limitati di sottofondazione nell'area di impronta dei pilastri. La realizzazione di dette fondazioni non impone particolari problemi costruttivi, a parte l'alta vigilanza della Soprintendenza BB.CC.AA. per la valenza archeologica del sito, per cui gli scavi andranno eseguiti sotto la sorveglianza della sezione archeologica della Soprintendenza.

Il Consulente Geotecnico

Ing. Giammanco Raimondo Daniele

Fondazioni Dirette
Verifica in tensioni efficaci

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

D = Profondità del piano di appoggio

e_B = Eccentricità in direzione B ($e_B = Mb/N$)

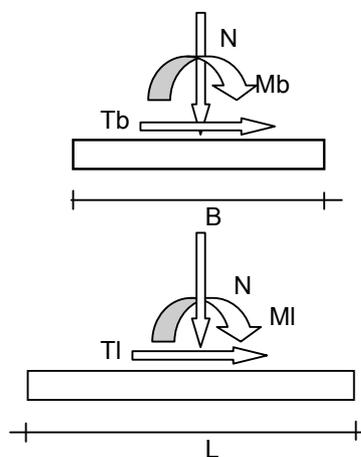
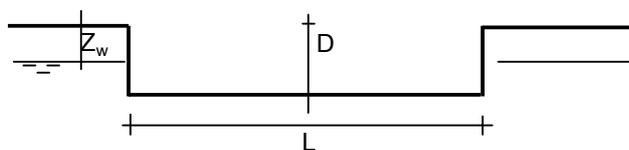
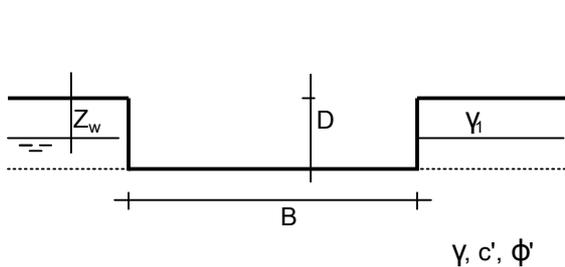
e_L = Eccentricità in direzione L ($e_L = Ml/N$) (per fondazione nastriforme $e_L = 0$; $L^* = L$)

B^* = Larghezza fittizia della fondazione ($B^* = B - 2 \cdot e_B$)

L^* = Lunghezza fittizia della fondazione ($L^* = L - 2 \cdot e_L$)

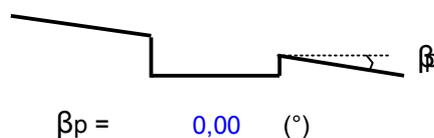
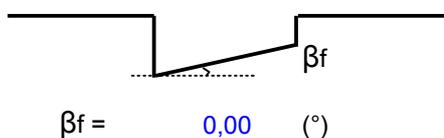
(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

Metodo di calcolo			coefficienti parziali				resistenze		
			azioni		proprietà del terreno				
			permanenti	temporanee variabili	$\tan \phi'$	c'	q_{lim}	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	
	A2+M2+R2	●	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80	1,00	
	SISMA	○	1,00	1,00	1,25	1,25	1,80	1,00	
	A1+M1+R3	○	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30	1,10	
	SISMA	○	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10	
Tensioni Ammissibili			○	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Definiti dal Progettista			○	1,35	1,50	1,00	1,00	1,40	1,00



(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

- B = 0,40 (m)
- L = 16,75 (m)
- D = 1,00 (m)



AZIONI			
	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	120,00	0,00	120,00
Mb [kNm]	13,00		13,00
MI [kNm]	18,00		18,00
Tb [kN]	6,00		6,00
TI [kN]	13,00		13,00
H [kN]	14,32	0,00	14,32

Peso unità di volume del terreno

$$\gamma_1 = 19,86 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 19,86 \quad (\text{kN/mc})$$

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$$c' = 9,70 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\phi' = 41,00 \quad (^\circ)$$

Valori di progetto

$$c' = 7,76 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\phi' = 34,82 \quad (^\circ)$$

Profondità della falda

$$Z_w = 11,60 \quad (\text{m})$$

$$e_B = 0,11 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0,15 \quad (\text{m})$$

$$B^* = 0,18 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 16,45 \quad (\text{m})$$

q : sovraccarico alla profondità D

$$q = 19,86 \quad (\text{kN/mq})$$

γ : peso di volume del terreno di fondazione

$$\gamma = 19,86 \quad (\text{kN/mc})$$

N_c, N_q, N_γ : coefficienti di capacità portante

$$N_q = \tan^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg} \phi')}$$

$$N_q = 32,54$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \phi'$$

$$N_c = 45,36$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

$$N_\gamma = 46,65$$

s_c, s_q, s_γ : fattori di forma

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1,01$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \phi' / L$$

$$s_q = 1,01$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B / L$$

$$s_\gamma = 1,00$$

i_c, i_q, i_γ : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,99 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 24,78 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,01 \quad m = 1,18 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B^* L^* c' \cotg \phi'))^m$$

($m=2$ nel caso di fondazione nastroforme e $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$ in tutti gli altri casi)

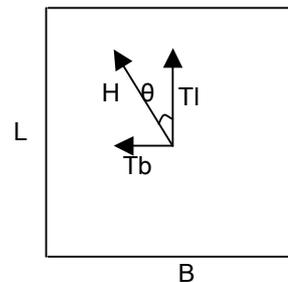
$$i_q = 0,89$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 0,89$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B^* L^* c' \cotg \phi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0,81$$



d_c, d_q, d_γ : fattori di profondità del piano di appoggio

per $D/B^* \leq 1$; $d_q = 1 + 2 D \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 / B^*$

per $D/B^* > 1$; $d_q = 1 + (2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2) * \arctan (D / B^*)$

$$d_q = 1,36$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \phi')$$

$$d_c = 1,37$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1,00$$

b_c, b_q, b_y : fattori di inclinazione base della fondazione

$$b_q = (1 - \beta_r \tan \phi')^2 \quad \beta_r + \beta_p = \quad 0,00 \quad \beta_r + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = \quad 1,00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \phi')$$

$$b_c = \quad 1,00$$

$$b_y = b_q$$

$$b_y = \quad 1,00$$

g_c, g_q, g_y : fattori di inclinazione piano di campagna

$$g_q = (1 - \tan \beta_p)^2 \quad \beta_r + \beta_p = \quad 0,00 \quad \beta_r + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = \quad 1,00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan \phi')$$

$$g_c = \quad 1,00$$

$$g_y = g_q$$

$$g_y = \quad 1,00$$

Carico limite unitario

$$q_{lim} = \quad 1285,24 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Pressione massima agente

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = \quad 39,79 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Verifica di sicurezza capacità portante

$$q_{lim} / \gamma_R = \quad 714,02 \quad \geq \quad q = \quad 39,79 \quad (\text{kN/m}^2)$$

VERIFICA A SCORRIMENTO

Carico agente

$$H_d = \quad 14,32 \quad (\text{kN})$$

Azione Resistente

$$S_d = N \tan(\phi') + c' B^* L^*$$

$$S_d = \quad 106,85 \quad (\text{kN})$$

Verifica di sicurezza allo scorrimento

$$S_d / \gamma_R = \quad 106,85 \quad \geq \quad H_d = \quad 14,32 \quad (\text{kN})$$