

12 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOTECNICHE DEL TERRENO

Per le caratteristiche geologiche e geotecniche del terreno si allega una sintetica relazione redatta dal tecnico incaricato dall'Amministrazione.

1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dal Comune di Sant'Agostino, é stata eseguita una campagna di indagine geognostica, al fine di determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione interessati dall'edificazione della futura Caserma dei Carabinieri in via Donatori di Sangue/viale Europa in località Sant'Agostino (FE).

Lo studio prevede la creazione di un modello geologico del terreno sede dell'opera e la classificazione del sito per la progettazione sismica come prescritto dal D.M. 14 Gennaio 2008.



Figura 2.1 – Ubicazione area di indagine (fonte: <http://maps.google.it/>)

2 INDAGINI ESEGUITE

2.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

In data 26/06/2013 sono state eseguite dalla n°2 prove penetrometriche statiche, spinte alla profondità di -20,00 metri da p.c. Per ciascun orizzonte stratigrafico individuato sono stati determinati i seguenti parametri geotecnici (analisi in condizioni non drenate):

STRATO IDENTIFICATO	PROFONDITA' STRATO da p.c. [m]	γ [KN/m ³]	γ_{sat} [KN/m ³]	C_u [kPa]	C_{uk} [kPa]	M_o [kPa]
CPT1						
1° STRATO	0,00 – 4,00	18,53	19,32	66,68	41,03	4620,89
2° STRATO	4,00 - 8,00	17,45	18,24	41,03	33,59	3617,67
3° STRATO	8,00 – 15,00	18,53	19,32	80,53	57,49	4742,49
4° STRATO	15,00 – 20,00	20,00	20,79	135,58	105,74	6629,29
CPT2						
1° STRATO	0,00 – 3,00	18,53	19,32	61,11	38,75	4666,98
2° STRATO	3,00 - 8,00	16,96	17,75	36,99	30,93	3015,54
3° STRATO	8,00 – 14,40	18,83	19,61	89,82	63,47	4682,67
4° STRATO	14,40 – 20,00	19,81	20,59	126,90	89,68	5687,86

Tabella 4.1 – Parametri geotecnici elaborati dalle prove CPT

Il livello della falda freatica all'interno dei fori è stata rilevata alla profondità di circa -2,10 m dal p.c. nella CPT1 e a -1,90 m dal p.c. nella CPT 2.

2.2 INDAGINE MASW

In data 22/06/2013 è stata eseguita un'indagine sismica con metodologia MASW attiva e passiva per la determinazione del parametro V_{s30} (valutato fino alla profondità di -30,00 metri da p.c.).

La successione litostratigrafica emersa è la seguente:

Strato	h [m]	z [m]	V_s fin [m/s]	V_p [m/s]	Presenza della falda
Strato 1	2,0	-2,0	129	211	assente
Strato 2	3,0	-5,0	128	653	presente
Strato 3	3,0	-8,0	118	602	
Strato 4	4,0	-12,0	133	678	
Strato 5	3,8	-15,8	170	867	
Strato 6	4,2	-20,0	185	943	
Strato 7	4,0	-24,0	253	1290	
Strato 8	/	-∞	268	1367	

Considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di -30,00 metri da p.c., è stata determinata la velocità delle Vs30, ricavata dalla formula riportata nel D.M. del 14 Gennaio 2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” che risulta essere pari a

$$V_{s30} = 168 \text{ m/s}$$

I terreni di fondazione interessati dalla progettazione sismica, come prescritto al paragrafo 3.2.2 dal D.M. 14 Gennaio 2008, appartengono a: **suolo di fondazione di tipo D.**

2.3 ESECUZIONE SONDAGGIO E PRELIEVO CAMPIONI GEOTECNICI

In data 26/06/2013 è stato eseguito n° 1 sondaggio a carotaggio continuo (denominato S1), spinto alla profondità di -20,00 metri da p.c., che ha permesso il riconoscimento stratigrafico dei terreni indagati e il prelievo di n°1 campione rimaneggiato (S1/C1) e n°1 campione indisturbato tipo Shelby (S1/C1).

Sul campione rimaneggiato S1/C1 (3,00/3,50 metri dal p.c.) sono state eseguite le seguenti prove:

➤ *analisi granulometrica*

Nome campione	S1 C1
Intervallo di prelievo (m)	3,00-3,50
Ghiaia	0%
Sabbia	89%
Limo e Argille	11%

È stato inoltre definito il seguente **coefficiente di uniformità (U_c)**:

$$D_{60} = 0,2 \quad D_{10} = 0,068 \quad \text{da cui} \quad U_c = 2,9412$$

➤ *prova di taglio diretto* per la determinazione dei seguenti parametri geotecnici:

CAMPIONE	S1 C1 (3,00-3,50 m)
Coesione drenata (kPa)	28,64
Angolo d'attrito (° sess)	31

Sul campione indisturbato S1/C2 (7,40-8,00 metri da p.c.) sono state eseguite le seguenti prove:

➤ *Limiti di Atterberg*

CAMPIONE	S1 C2 (7,40-8,00 m)
LIMITI DI ATTERBERG	
Limite liquido (%)	73
Limite plastico (%)	29
Umidità naturale (%)	54,1
Indice plastico (%)	44
Indice di consistenza	0,44
Carta di plasticità di Casagrande	Il campione viene classificato come “Argilla poco compatta a tratti organica”

➤ **Prova edometrica**

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA						
PARAMETRI INIZIO PROVA						
Natura del campione			Argilla poco consistente			
Peso dell'unità di volume (kN/m³)			15,85			
Peso dell'unità di volume del terreno secco (kN/m³)			10,29			
Contenuto d'acqua naturale (%)			54,1			
Peso specifico dei granuli (kN/m³)			26,06			
Indice dei vuoti inizio prova			1,532			
PARAMETRI DETERMINATI						
Nome campione	Profondità di prelievo (m)	Tensione verticale efficace (kPa)	Modulo edometrico (kPa)	Coefficiente di consolidazione primaria (Cv) (cmq/sec)	Coefficiente di consolidazione secondaria (Ca)	Permeabilità (cm/sec)
S1 C1	7,40-8,00	24,518	2318	/	/	/
		49,035	1961	1,32E-03	1,26E-05	4,11E-08
		98,070	1850	8,22E-04	1,85E-05	4,44E-08
		196,140	1582	3,21E-04	7,68E-05	1,97E-08
		392,280	2615	3,30E-04	9,44E-05	1,16E-08
		784,560	5564	3,48E-04	6,33E-05	6,14E-09
		1569,120	12259	3,70E-04	5,16E-05	2,96E-09

3 ANALISI DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

La successione litostratigrafica dedotta dal sondaggio eseguito ha rilevato la predominanza di litotipi a carattere coesivo e l'assenza di "strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda" (par. 7.11.3.4.3 NTC-08), pertanto in prima approssimazione è possibile escludere fenomeni di liquefazione. Ai fini cautelativi è stato sottoposto a verifica a liquefazione anche il livello rilevato nella CPT 2 tra -2,60/-3,00 metri, mediante la correlazione di *Robertson e Wride (1997)*.

N. CPT	Prof. livello indagato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Fattore di sicurezza a liquefazione
2	-2,60/-3,00	22,5	0,54	1,457

La verifica effettuata ha escluso la possibilità di liquefazione dello strato indagato.

4 MODELLO GEOLOGICO ED ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO

Dai dati emersi dalle prove penetrometriche effettuate e dall'esecuzione del sondaggio è stato possibile determinare il seguente modello geologico, relativo al terreno di fondazione dell'opera in progetto, nel quale vengono riportati i valori medi (fm) determinati per ciascun orizzonte identificato, secondo le prescrizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC-08).

— **ORIZZONTE 1: Da 0,00 m. a - 3,00/- 4,00 m. da p.c.:**

Il sondaggio evidenzia un banco di argilla limosa nocciola compatta fino a -1,50 metri e di limo argilloso nocciola fino al letto dello strato, avente mediocri capacità portante:

- Peso nell'unità di volume (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{medio}} = 18,53 \text{ kN/m}^3$
- Peso nell'unità di volume saturo (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{sat}} = 19,32 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata (valore medio da CPT): $Cu_{\text{medio}} = 63,89 \text{ kPa}$
- Coesione non drenata caratteristica (valore medio da CPT): $Cu_k = 39,89 \text{ kPa}$
- Modulo edometrico (valore medio da CPT): $Mo = 4643,93 \text{ kPa}$

Nel settore centrale dell'area è presumibilmente presente una lente di terreno incoerente di spessore minimo, rilevato in corrispondenza del sondaggio alla profondità di -3,00/-3,80 metri da p.c. (costituito da limo sabbioso/sabbia fine nocciola-ocra) ed in corrispondenza della CPT2 alla profondità di -2,60/-3,00 metri (sabbie e limi argillosi).

— **ORIZZONTE 2: Da - 3,00/- 4,00 m. a - 7,00/8,00 m. da p.c.:**

Il sondaggio evidenzia un banco di argilla limosa grigio chiara a tratti debolmente sabbiosa, avente scarse capacità portanti:

- Peso nell'unità di volume (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{medio}} = 17,21 \text{ kN/m}^3$
- Peso nell'unità di volume saturo (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{sat}} = 17,99 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata (valore medio da CPT): $Cu_{\text{medio}} = 39,01 \text{ kPa}$
- Coesione non drenata caratteristica (valore medio da CPT): $Cu_k = 32,26 \text{ kPa}$
- Modulo edometrico (valore medio da CPT): $Mo = 3316,60 \text{ kPa}$

— **ORIZZONTE 3: Da - 7,00/8,00 m. a - 14,40/15,00 m. da p.c.:**

Il sondaggio evidenzia un banco di argilla plastica grigio chiara con intercalazioni decimetriche di materiale organico e livelli torbosi, avente buona capacità portante:

- Peso nell'unità di volume (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{medio}} = 18,68 \text{ kN/m}^3$
- Peso nell'unità di volume saturo (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{sat}} = 19,46 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata (valore medio da CPT): $Cu_{\text{medio}} = 85,17 \text{ kPa}$
- Coesione non drenata caratteristica (valore medio da CPT): $Cu_k = 60,48 \text{ kPa}$
- Modulo edometrico (valore medio da CPT): $Mo = 4712,58 \text{ kPa}$

— **ORIZZONTE 4: Da - 14,40/15,00 m. a - 20,00 m. da p.c.:**

Il sondaggio evidenzia un banco di argilla grigia compatta avente buona capacità portante:

- Peso nell'unità di volume (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{medio}} = 19,90 \text{ kN/m}^3$
- Peso nell'unità di volume saturo (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{sat}} = 20,69 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata (valore medio da CPT): $Cu_{\text{medio}} = 131,24 \text{ kPa}$
- Coesione non drenata caratteristica (valore medio da CPT): $Cu_k = 97,71 \text{ kPa}$

➤ Modulo edometrico (valore medio da CPT):

Mo = 6158,57 kPa

