



1			24/11/14		
Rev	Nome file	Descrizione	Data	Redatto	Appr.

REGIONE VENETO

PROVINCIA DI VENEZIA

COMUNE DI PORTOGRUARO

INTERVENTI URGENTI DI CONSOLIDAMENTO DELLE FONDAZIONI DELLA TORRE CIVICA DI PORTOGRUARO

PROGETTO ESECUTIVO



RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

N. ELABORATO

R02

DATA NOVEMBRE 2014

SCALA

PROGETTISTI

Progettazione generale, geotecnica e
delle opere di fondazione

Prof. Ing. Francesco Colleselli

colleselli & p.
INGEGNERIA GEOTECNICA
Via Vigonovese, 115 - 35127 Padova
Tel 049 8705204-953 - Fax 049 7628139
e-mail: info@colleselligeotecnica.it
www.colleselligeotecnica.itCollaborazione progettazione geotecnica e
delle opere di fondazione

Ing. Giuseppe Colleselli

Via Vigonovese, 115 - 35127 Padova

Documentazione contabile e coord.
sicurezza in fase di progettazione

Ing. Arturo Busetto

Ing. Busetto Arturo
STUDIO TECNICOVicolo Forni Vecchi, n° 1/A Pordenone
Tel. 0434.208166 Fax 0434.27005
e-mail: info@busettoarturo.itProgettazione delle strutture
in elevazione

Ing. Fabio Urban

Via Ippolito Nievo 12 - 33033 Codroipo - UD

CONSULENTI

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRENTO
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
MECCANICA E STRUTTURALEGruppo di lavoro:
Dr. Daniele Zonta
Ing. Emiliano Debiasi
Ing. Marco Molinari
Ing. Davide Trapani

SOMMARIO

1	PREMESSE	2
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
2.1	Riferimenti geografici	4
2.2	Cenni geomorfologici e paleogeografici	5
2.3	Litologia	6
2.4	Brevi cenni idrogeologici	6
2.5	Inquadramento sismico dell'area	7
3	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	8
3.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE E CAROTAGGI	8
3.2	PARAMETRI CARATTERISTICI	13
	ALLEGATO: INDAGINI IN SITO	14

1 PREMESSE

La Torre Civica o Torre Campanaria, di proprietà del Comune di Portogruaro, si erge sul lato sinistro della concattedrale di Sant'Andrea e chiude ad Ovest piazza Duomo.

Secondo alcuni studiosi la costruzione risale al XII-XIII secolo, ritenendola contemporanea all'antica chiesa di Sant'Andrea, abbattuta nel 1793 per far posto al nuovo Duomo.

La torre, dell'altezza di circa 59 m, ha un impronta quadrata con lato alla base di 7.3 m circa: sulla base di quanto disponibile da fonti storiche, le fondazioni sono continue lungo il perimetro, di larghezza pari a 2.5÷3 m circa ed impostate a 3 m circa di profondità dal piano campagna, in allargamento di 0.8 m circa rispetto all'impronta di base della torre.

La peculiarità di questa costruzione è la sua notevole pendenza verso Nord-Est: l'inclinazione, dovuta ad una rotazione rigida della fondazione della Torre, ha origini molto antiche. Basta osservare che la muratura in prossimità della cella campanaria, oltre ad avere una diversa tessitura, presenta anche una diversa inclinazione, più verticale rispetto alla parte sottostante a causa di una sopraelevazione avvenuta tra il 1877 e il 1879.

Secondo un rilievo topografico dell'ing. Arturo Busetto, in data 17/01/2001 la Torre presentava un fuori piombo di 1.2 m circa in corrispondenza dello spigolo Nord-Est del poggolo sovrastante la cella campanaria, posto ad un'altezza di 36.74 m dal suolo.

Secondo un recente studio condotto da un Gruppo di Ricerca dell'Università degli Studi di Trento (2007) basato sull'elaborazione dei dati acquisiti tra il 2003 e il 2007, *“si conferma che lo spostamento globale della Torre segue, con molta approssimazione, un andamento a spirale, con verso antiorario, e direzione di spostamento NE. [...] Lo spostamento complessivo dall'inizio del monitoraggio risulta pari a 10.18 mm. [...] Visti i dati acquisiti finora, la presenza di un trend di spostamento di 2mm/anno può essere data per certa.”*

La struttura del campanile è stata oggetto di svariati interventi di consolidamento dei paramenti murari (anni 1962, 1976 e 2005).

A partire dal 2003 sono stati inoltre condotti numerosi studi dello stato delle strutture murarie stesse.

Nel 2008 l'Amministrazione Comunale di Portogruaro ha affidato allo scrivente il compito di pianificare una campagna di indagini geognostiche per la formulazione del profilo geotecnico del sottosuolo in corrispondenza della torre e per individuare lo stato di

conservazione della muratura e delle palificate di fondazione: tali indagini sono state condotte nel Marzo 2009 a cura di *Geotecnica Veneta S.r.l.*

Nella presente relazione, oltre all'inquadramento geologico dell'area in esame, vengono descritti i risultati della indagini geognostiche condotte e definito il modello geotecnico del sottosuolo.

2 INQADRAMENTO GEOLOGICO

2.1 RIFERIMENTI GEOGRAFICI

La Torre Civica oggetto dell'intervento di consolidamento si trova nel nucleo storico di Portogruaro, ubicato sulla sinistra idrografica del Fiume Lemene, ad una quota di circa 4 m s.l.m. La costruzione, che si sviluppa in elevazione per una sessantina di metri ha i seguenti riferimenti geografici (da CTR Sezione 107030, Figura 2.1):

Coordinate	Latitudine	Longitudine
Nazionali Gauss-Boaga, fuso Ovest	N 5076347	E 1798377
Geografiche piane (ED50)	45,77688°	12,83857°
Geografiche (WGS 84)	45° 46' 33,6"	12° 50' 15,4"

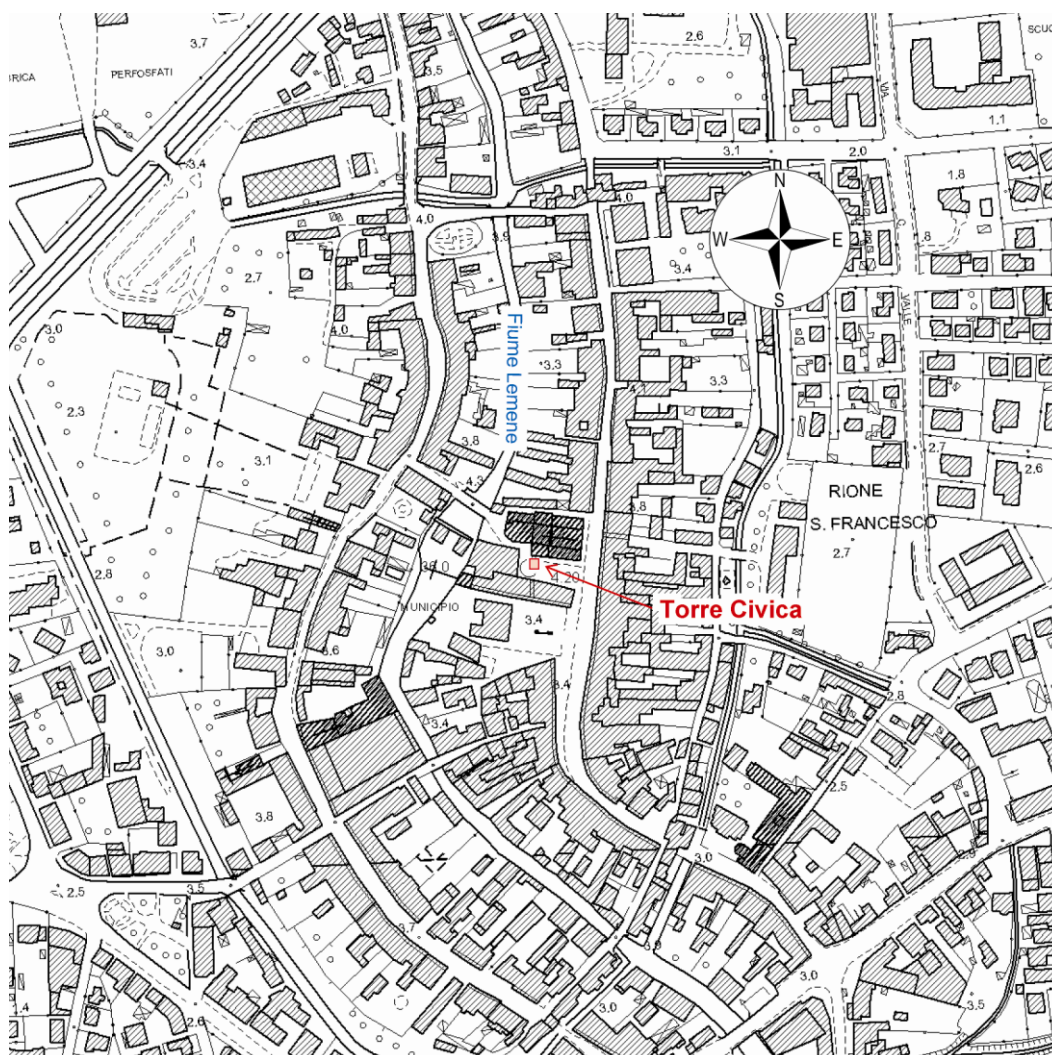


Figura 2.1 Stralcio CTR – scala 1:5.000

2.2 CENNI GEOMORFOLOGICI E PALEOGEOGRAFICI

Come noto, l'intervento in progetto riguarda una zona da tempi storici urbanizzata, quasi pianeggiante, senza spiccati elementi di risalto morfologico, se non quelli di origine antropica e con quote altimetriche del piano campagna naturale di poco superiori al livello medio del mare.

Più in generale la stessa area, posta al limite nord-orientale della Provincia di Venezia e al confine con il Friuli Venezia Giulia, è compresa nella "bassa pianura veneta", perciò a valle della "linea delle risorgive". Si tratta di un vasto tratto di pianura caratterizzato da alluvioni quaternarie fluvio-glaciali che si succedono nel sottosuolo per varie centinaia di metri (900 ÷ 1.000 m e sino a circa 1500 m nella zona di Chioggia).

A questi depositi continentali si intercalano ora terreni in facies marina, legati alle trasgressioni e regressioni succedutesi nel tempo, ora saltuari depositi tipici di ambienti lacustri, palustri e lagunari.

Dell'intero deposito quaternario, la struttura dei 300 m circa più superficiali è dovuta per buona parte all'attività alluvionale dei fiumi più importanti (Brenta-Bacchiglione, Piave, Livenza, Tagliamento) che hanno interagito con il mare Adriatico e risale al Pleistocene superiore ed all'Olocene; l'attività fluviale si è esplicata con una continua opera di livellazione, realizzata mediante una progressiva deposizione con conseguente ostruzione degli alvei, a cui sono seguite esondazioni che a loro volta andavano hanno colmato le depressioni formatesi tra alveo e alveo.

Contemporaneamente all'attività legata all'apporto dei fiumi, si sono verificati fenomeni di sollevamento delle terre emerse, conseguenti allo scioglimento dei ghiacciai soprastanti e di assestamento dei depositi alluvionali più recenti, per costipamento degli stessi.

L'effetto di tali attività nel territorio in esame, almeno nella parte più superficiale del deposito quaternario, è la formazione di orizzonti a sviluppo prevalentemente lentiforme, con grande variabilità sia orizzontale che verticale.

In particolare la zona ora occupata dalla città di Portogruaro si trovava, sempre nel post-glaciale in una zona leggermente depressa, compresa tra le ampie conoidi alluvionali del Piave e del Tagliamento, dove si depositavano i materiali relativamente meno grossolani trasportati dal Livenza.

I terreni che si incontrano sono perciò prevalentemente fini, passando da sabbie a limi ad argille ma non mancano livelli ghiaiosi, dovuti a rami temporanei di divagazione durante piene eccezionali del Tagliamento.

2.3 LITOLOGIA

Come accennato e verificato con l'esecuzione delle indagini geognostiche (n° 2 sondaggi meccanici a carotaggio continuo), nell'area in esame è presente, dopo un primo livello di riporto, una successione stratigrafica con spiccate variazioni litologiche sia verticali che orizzontali che derivano dalle accennate dinamiche di formazione di questo tratto di pianura.

Si tratta (sino alla profondità indagata di circa 25 m) essenzialmente di depositi quaternari costituiti da alternanze di sabbie limose, limi sabbiosi, argille più o meno limose e ghiaie.

La stessa successione stratigrafica può essere riepilogata nei seguenti livelli (con quota di riferimento piano campagna a circa 4.20 m s.l.m.):

<i>livello</i>	<i>profondità</i>	<i>descrizione</i>
A	0.00 m	riporto costituito, dopo la pavimentazione in porfido, da sabbia grossa con elementi di ghiaia, residui di demolizione e limi sabbiosi
B	1.90 m	sabbia media e fine limosa, con livelli limosi
C	3.60 ÷ 4.00 m	limo argilloso e argille, con resti vegetali e frammenti di conchiglie
D	10.80 ÷ 10.95 m	ghiaia con matrice sabbiosa e limosa, sabbia media e grossa con elementi di ghiaia e ghiaia media e grossa debolmente sabbiosa
E	15.30 ÷ 16.70 m	limo argilloso
F	21.30 ÷ 21.50 m	sabbia media e fine limosa
G	22.30 ÷ 23.50 m 25.00 m	limo debolmente argilloso e sabbia fine limosa

2.4 BREVI CENNI IDROGEOLOGICI

Come accennato, il centro storico di Portogruaro è attraversato dal Fiume Lemene, che scorre a una quarantina di metri ad occidente della Torre Civica.

Nello stesso corso d'acqua, all'origine di risorgiva e che successivamente drena il territorio di Gruaro, poco a valle confluisce il Fiume Reghena e quindi sfocia nella Laguna di Caorle.

Sempre nel centro storico di Portogruaro è presente un primo livello di falda che è stato misurato, nel piezometro del tipo "a tubo aperto" con tratto filtrante in corrispondenza del livello ghiaioso "D", ad una profondità di - 3.30 m dal piano campagna (circa 0.90 m s.l.m.).

2.5 INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

Con Ordinanza n. 3274/2003¹ il Comune di Portogruaro è stato inserito tra le zone 3. In merito alla "pericolosità sismica di base" (Ordinanza n. 3519/2006² ripresa nell'Allegato A del DM 14/01/2008), la località oggetto dell'intervento risulta compresa, come da citate coordinate geografiche (Figura 2.2 a pagina successiva), tra punti con accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (riferita a suoli rigidi caratterizzati da VS30 > 800 m/s) di $a_g = 0,100 - 0,125$ g (cod. ID 11201 e 11203) e di $a_g = 0,075 - 0,100$ g (cod. ID 11423 e 11424).

Sulla base dell'attuale suddivisione del territorio italiano (ZS9)³ in zone sismogenetiche, questo ambito amministrativo si trova a sud della zona 905 (fascia pedemontana tra Bassano del Grappa e il confine con il Friuli-Venezia Giulia).

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate
LONGITUDINE: 12,83857
LATITUDINE: 45,77688

☐ Ricerca per comune
REGIONE: Veneto
PROVINCIA: Venezia
COMUNE: Portogruaro

Elaborazioni grafiche
Grafici spettri di risposta
Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche
Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
Sito esterno al reticolo
Interpolazione su 3 nodi
Interpolazione corretta

Interpolazione
media ponderata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

Figura 2.2 Da programma sperimentale "Spettri di risposta versione 1.03" – Fase 1 individuazione della pericolosità del sito

- ¹ Ordinanza n. 3274 del 20.03.2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri (*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*)
- ² ORDINANZA N. 3519 DEL 28.04.2006 DELLA PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI (*CRITERI GENERALI PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE SISMICHE E PER LA FORMAZIONE E L'AGGIORNAMENTO DEGLI ELENCHI DELLE MEDESIME ZONE*)
- ³ Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo, a cura di C. Meletti e G. Valensise, marzo 2004

3 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

3.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE E CAROTAGGI

Nel corso delle indagini geognostiche, condotte come detto nel Marzo 2009 a cura di *Geotecnica Veneta S.r.l.*, sono stati eseguiti n°2 sondaggi a carotaggio continuo (S.1 ed S.2 ubicati in *Figura 3.1*), spinti sino a -25 m di profondità dal piano campagna, e n°3 carotaggi inclinati all'interno della fondazione della torre, finalizzati all'identificazione dei materiali che la costituiscono e del loro stato di conservazione.

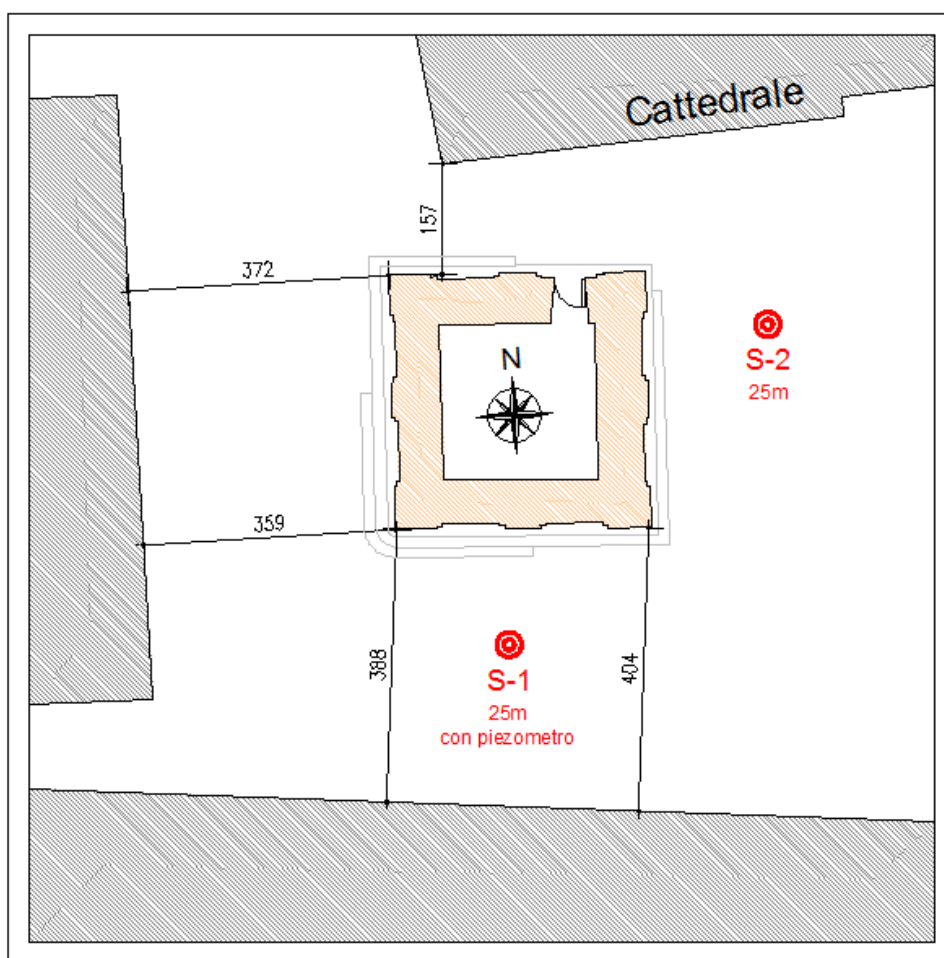


Figura3.1: Planimetria sondaggi

Il sondaggio S.1 è stato condotto in corrispondenza del lato Sud della Torre Civica, mentre il sondaggio S.2 in prossimità dell'angolo Nord-Est.

Durante l'esecuzione dei sondaggi, sono state condotte n°6 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT (Standard Penetration Test) negli strati incoerenti, sono state effettuate misure di consistenza con il Pocket Penetrometer e con il Torvane negli strati coesivi, sono stati prelevati n°5 (3 per S.1 e 2 per S.2) campioni rimaneggiati sottoposti in laboratorio ad analisi di classificazione e n°6 (3 per S.1 e 3 per S.2) campioni indisturbati sottoposti in laboratorio a prove di classificazione (granulometria, contenuto naturale d'acqua, limiti di Atterberg), a prove di espansione laterale libera (ELL) ed a prove di compressione edometrica.

Il foro di sondaggio S.2 è stato attrezzato con un piezometro del tipo a tubo aperto con tratto finestrato tra -9m e -15m dal piano campagna.

La situazione stratigrafica può essere così descritta, considerando le profondità a partire dal piano delle pavimentazioni esterne.

- Al di sotto della pavimentazione in porfido (-0.1 m) e di uno strato di riporto dello spessore di 0.4÷1.0 m, costituito prevalentemente da sabbia grossa con elementi di ghiaia, sino ad una profondità variabile da -1.9 m (S.1) a -1.0 m (S.2) circa, si individua uno strato di ghiaia eterometrica sabbiosa e limosa, con all'interno ciottoli e blocchi di cotto e calcestruzzo. Si nota la presenza di uno strato di limo sabbioso tra -1.0 m e -1.9 m di profondità che va rastremandosi tra S.2 ed S.1.
- Successivamente e sino a -3.6 ÷ -4.0 m circa di profondità si ha uno strato di sabbia fine e media limosa sciolta, caratterizzata da un numero di colpi dati dalla prova SPT $N_{SPT} = 4$; in corrispondenza del sondaggio S.2 si sono riscontrati due livelli di limo con sabbia da -3.2 m a -3.4 m e da -3.8 m a -3.9 m di profondità.
- Si trova in seguito, sino ad una profondità variabile tra -10.8 m e -10.95 m, uno strato di limo argilloso. Dalla profondità di -6.0 m circa si individua limo argilloso con livelli torbosi e con presenza di frustoli e frammenti vegetali e di tritume conchigliare. In corrispondenza del sondaggio S.2 si riscontra presenza di occasionali frustoli vegetali già dalla profondità di -4.0 m circa. Lo strato si presenta generalmente con caratteristiche di consistenza medio-basse: $Pen=60\div110$ kPa e $Tor=15\div36$ kPa. Nella fascia compresa tra -6.0 m e -7.5 m di profondità si sono misurati valori di consistenza medi: $Pen=80\div220$ kPa e $Tor=15\div69$ kPa. I valori

misurati in corrispondenza del sondaggio S.2 sono in media leggermente più bassi rispetto a quelli misurati in corrispondenza del sondaggio S.1. Le prove di laboratorio hanno indicato valori medi della plasticità (limite di liquidità $W_L=45\div 53$; indice di plasticità $I_p=21\div 27$), con contenuto naturale d'acqua W_N inferiore o prossimo al limite di liquidità. Nello strato compreso tra i 6.0 m ed i 7.5 m di profondità si hanno valori di plasticità medio-alti (limite di liquidità $W_L=45\div 53$; indice di plasticità $I_p=21\div 27$) con contenuto naturale d'acqua W_N compreso tra 34.7% e 63.5%. Dalla prova edometrica svolta si individua un indice di compressibilità c_c pari a 0.74 e un coefficiente di consolidazione $c_v=7.0\times 10^{-9} \div 8.9\times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, mentre dalle prove di compressione ad espansione laterale libera (ELL) si ha q_u variabile tra 37.5 kPa e 155.5 kPa.

– Successivamente e sino a -13.7 m (S.1) ÷ -15.3 m (S.2) circa di profondità si trova uno strato di ghiaia eterometrica con matrice sabbiosa e limosa, caratterizzato da valori di N_{SPT} compresi tra 25 e 28.

– In seguito si nota una differenza tra il terreno indagato con il sondaggio S.1 e quello indagato con il sondaggio S.2. In S.1 tra -13.7 m e -16.7 m di profondità si trova uno strato di sabbia media e grossa con elementi di ghiaia talvolta predominanti (fino a -14.8 m di profondità) e quindi ghiaia media e grossa debolmente sabbiosa (fino a -16.7 m di profondità). In S.2 tra -15.3 m e -16.8 m di profondità si rileva un'alternanza di strati limo-argillosi, argillosi e di sabbia fine.

– Fino a -21.3 m ÷ -21.5 m di profondità si trova uno strato di limo argilloso. Lo strato si presenta generalmente con caratteristiche di consistenza medie: $Pen=90\div 200\text{kPa}$ e $Tor=30\div 74 \text{ kPa}$. Le prove di laboratorio hanno indicato valori medio-bassi della plasticità (limite di liquidità $W_L=38$; indice di plasticità $I_p=9$), con contenuto naturale d'acqua W_N inferiore al limite di liquidità. Dalla prova edometrica si evidenzia un indice di compressibilità c_c pari a 0.17 e un coefficiente di consolidazione $c_v=1.4\times 10^{-7}\div 9.3\times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, mentre dalle prove di compressione ad espansione laterale libera (ELL) si ha q_u variabile tra 88.1 kPa e 93.7 kPa.

– Successivamente, fino ad una profondità variabile tra -22.3 m e -23.5 m, si individua uno strato di sabbia media e fine limosa poco addensata ($N_{SPT}=7\div 11$).

– Di seguito, fino alla profondità indagata, si osserva la presenza di limo debolmente argilloso e di sabbia fine limosa.

Nel piezometro posto all'interno del sondaggio S.2, in data 11/03/09 è stato misurato il livello di falda alla profondità di -3.3 m dal piano campagna.

La stratigrafia è riepilogata nella seguente *Figura3.2*, in cui sono anche riportati i risultati delle prove condotte per i vari strati di terreno: le quote sono riferite al piano dei piazzali. I campioni indisturbati sono indicati con 1-2-3, mentre quelli rimaneggiati con A-B-C.

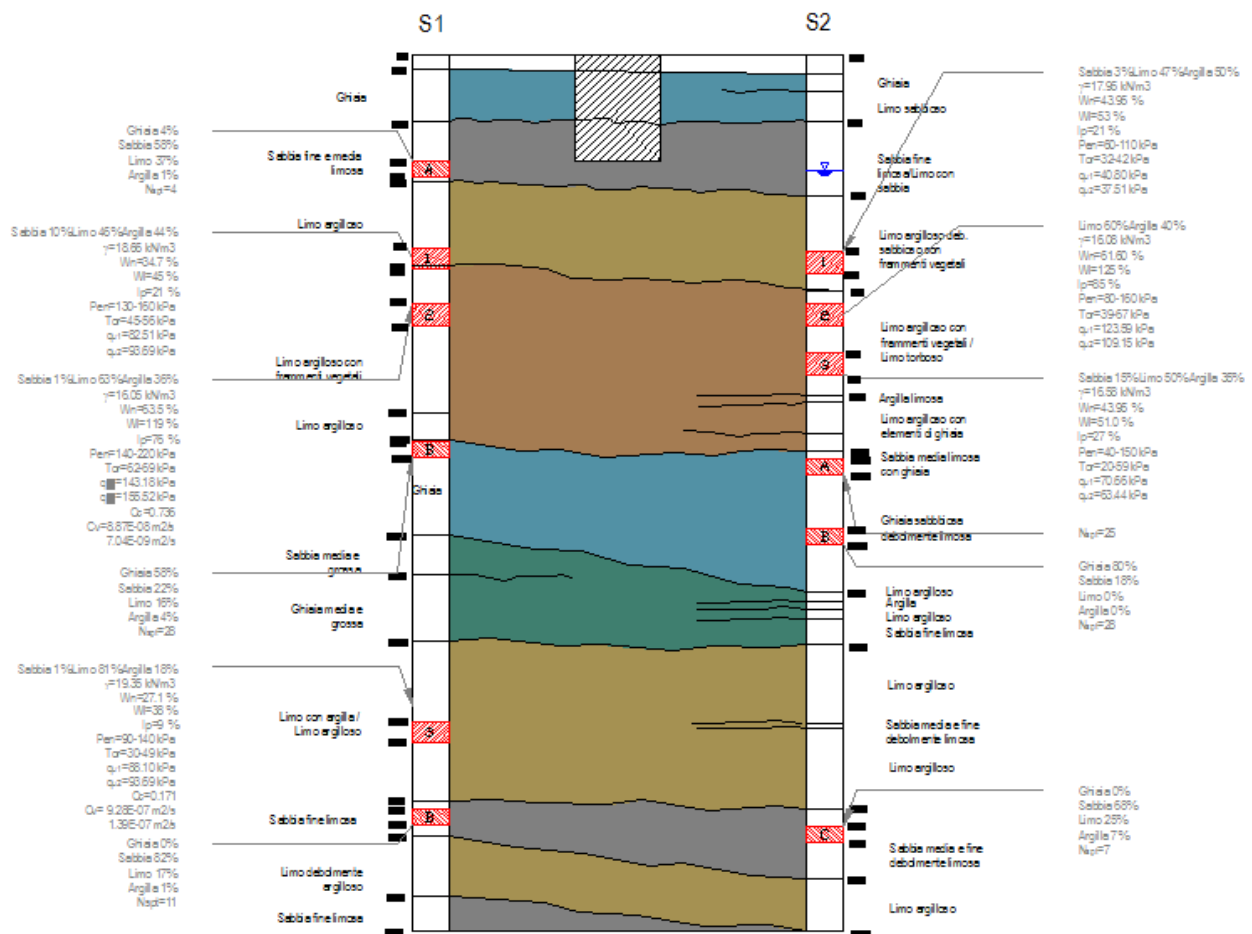


Figura3.2: Schema stratigrafico

Per la definizione dello stato di conservazione delle strutture murarie della Torre, sono stati eseguiti n°3 carotaggi inclinati di 23° rispetto alla verticale e ortogonali rispetto all'orizzontale: il carotaggio S-A è stato eseguito sul lato Ovest della Torre a circa 3.3 m dallo spigolo Nord-Ovest, il carotaggio S-B è stato eseguito sul lato Sud della Torre a circa 1.8 m

dallo spigolo Sud-Est, il carotaggio S-C è stato eseguito sul lato Est della Torre a circa 2.0 m dallo spigolo Nord-Est.

I risultati dei carotaggi si possono così descrivere.

- Fino ad una profondità variabile tra -0.5 m e -0.8 m circa si trova una pavimentazione data da un blocco di arenaria a grana minuta, caratterizzata da un R.Q.D.=100% (Rock Quality Designation).
- Di seguito, fino ad una profondità di circa -1.0 m, si trova la muratura in cotto con malte cementizie. Esaminando i carotaggi S-A ed S-B si nota un buono stato di conservazione e valori medi di R.Q.D. (50%). Esaminando il carotaggio S-C si osserva, invece, malta cementizia con frammenti di cotto (R.Q.D.= 0%).
- Successivamente, fino ad una profondità di -2.0÷-2.2 m, si individua uno strato di blocchi di calcare grigio e di pietra d'Istria intervallati da malta cementizia. Si nota una maggiore fratturazione degli elementi lapidei in corrispondenza del carotaggio S-C. I valori di R.Q.D. registrati risultano medio-alti per i carotaggi S-A ed S-B (20% ÷ 100%), bassi per il carotaggio S-C (0% - 16%).
- Di seguito, fino ad una profondità variabile tra -2.8 m e -3.1 m, si individua uno strato di muratura in cotto e blocchi di calcare grigio e di pietra d'Istria. Si nota una maggiore fratturazione della muratura in corrispondenza del carotaggio S-C. I valori di R.Q.D. registrati risultano medi per i carotaggi S-A ed S-B (50% ÷ 70% circa), bassi per il carotaggio S-C (0% - 14%).
- Successivamente si individua il tavolato di legno complessivamente in buono stato di conservazione di spessore variabile tra -0.3 m e -0.5 m.
- Di seguito, sino a -4.0 m ÷ -4.1 m di profondità, si individuano pali di legno in mediocre-pessimo stato di conservazione infissi in uno strato di sabbia fine con limo. Tale strato è caratterizzato da valori del Pocket Penetrometer variabili tra 100 kPa e 170 kPa.
- Fino alla profondità massima di indagine (-4.6m) si trova limo argilloso.

3.2 PARAMETRI CARATTERISTICI

In base ai risultati delle indagini condotte sono stati definiti la seguente stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici di progetto:

Profilo stratigrafico e parametri geotecnici										
Tipo	Spess.	Da	A	γ_{unsat}	γ_{sat}	γ'	ϕ'_k	c'_k	E	ν
[-]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[MPa]	[-]
Strato 01	4.5	0.0	-4.5	17.0	19.0	9.0	30	0	15	0.30
Strato 02	2.5	-4.5	-7.0	17.0	19.0	9.0	27	5	8	0.30
Strato 03	4.0	-7.0	-11.0	16.0	18.0	8.0	24	3	5	0.35
Strato 04	5.0	-11.0	-16.0	18.0	20.0	10.0	35	0	35	0.20
Strato 05	5.5	-16.0	-21.5	17.0	19.0	9.0	27	5	10	0.30
Strato 06	1.5	-21.5	-23.0	17.0	19.0	9.0	30	0	18	0.30
Strato 07	2.0	-23.0	-25.0	17.0	19.0	9.0	27	5	10	0.30

Tabella: Profilo stratigrafico e parametri geotecnici

dove:

- γ_{unsat} = peso di volume del terreno non saturo;
- γ_{sat} = peso di volume del terreno saturo;
- γ' = peso di volume del terreno immerso;
- ϕ'_k = angolo di resistenza al taglio caratteristico;
- c'_k = coesione efficace caratteristica;
- E = modulo elastico di Young del terreno;
- ν = modulo di Poisson del terreno.

prof. ing. Francesco Colleselli

dott. geol. Eugenio Colleselli



ALLEGATO: INDAGINI IN SITO