



GLOBAL POWER GENERATION E&C

RELAZIONE TECNICA

Document / Documento

PBPCX12979

Sheet
Pagina1 of
di 17PROJECT
Progetto

CENTRALE TEODORA

Porto Corsini - RAVENNA

Security Index
Indice SicurezzaRiservato
AziendaleTITLE
Titolo

EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA

APPROFONDIMENTI SUL PROBLEMA LIQUEFAZIONE

CLIENT
Cliente

ENEL PRODUZIONE S.p.A



JOB no.

Document no.

CLIENT SUBMITTAL
Inoltro al ClienteFOR APPROVAL
Per ApprovazioneFOR INFORMATION
ONLY
Per InformazioneNOT REQUESTED
Non RichiestoSYSTEM
Sistema

00B

DOCUMENT TYPE
Tipo Documento

TL

DISCIPLINE
Disciplina

C

FILE
File

PBPCX12979 00

REV

DESCRIPTION OF REVISIONS / Descrizione delle revisioni

00

PRIMA EMISSIONE

CONSULET
SERVIZI S.R.L.

GEOTECHNICAL ENGINEERING & GEOLOGY

COMMESSA JOB	DATA Date	IDENTIFICATIVO DOCUMENT CODE	REDATTO PREPARED	CONTROLLATO CHECKED	APPROVATO APPROVED
249	28/07/22	R.249-41.00	Riva - Garassino	A. Garassino	A. Garassino


via Elia Lombardini, 10 - 20143 Milano

phone: +39 02-38.24.82.30 - e-mail: geo.consulet@consulet.it

00	28.07.22	TR										
REV	Date Data	Scope Scopo	Prepared by Preparato	Co-operations Collaborazioni						Approved by Approvato	Issued by Emesso	

Questo documento è proprietà di Enel E&C. E' severamente proibito riprodurre anche in parte il documento o divulgare ad altri le informazioni contenute senza la preventiva autorizzazione scritta.

This document is property of Enel E&C. It is strictly forbidden to reproduce this document, wholly or partially, and to provide any related information to others without previous written consent.

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document Documento n. PBPCX12979
	PROBLEMATICA LIQUEFAZIONE	REV. 00 28.07.22 Sheet 2 of Pagina 2 di 17

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	3
2.	DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO	5
2.1	DOCUMENTI.....	5
2.2	NORMATIVE.....	5
3.	IL TERRENO	6
4.	PRESCRIZIONI	9
5.	IL PROBLEMA	10
6.	STUDIO DI APPROFONDIMENTO	12
7.	CONCLUSIONI	15
	BIBLIOGRAFIA.....	17

1. INTRODUZIONE

Nel comune di Ravenna, all'interno dell'area della centrale "Teodora" in località Porto Corsini, è prevista la costruzione di un impianto per lo stoccaggio dell'ammoniaca.

La figura 1.1 mostra il costruendo impianto che sarà realizzato nella centrale, situata nelle immediate vicinanze del mare; la figura 1.2, invece, mostra la sezione dell'edificio dell'impianto in cui compaiono anche le tracce della struttura della rampa.

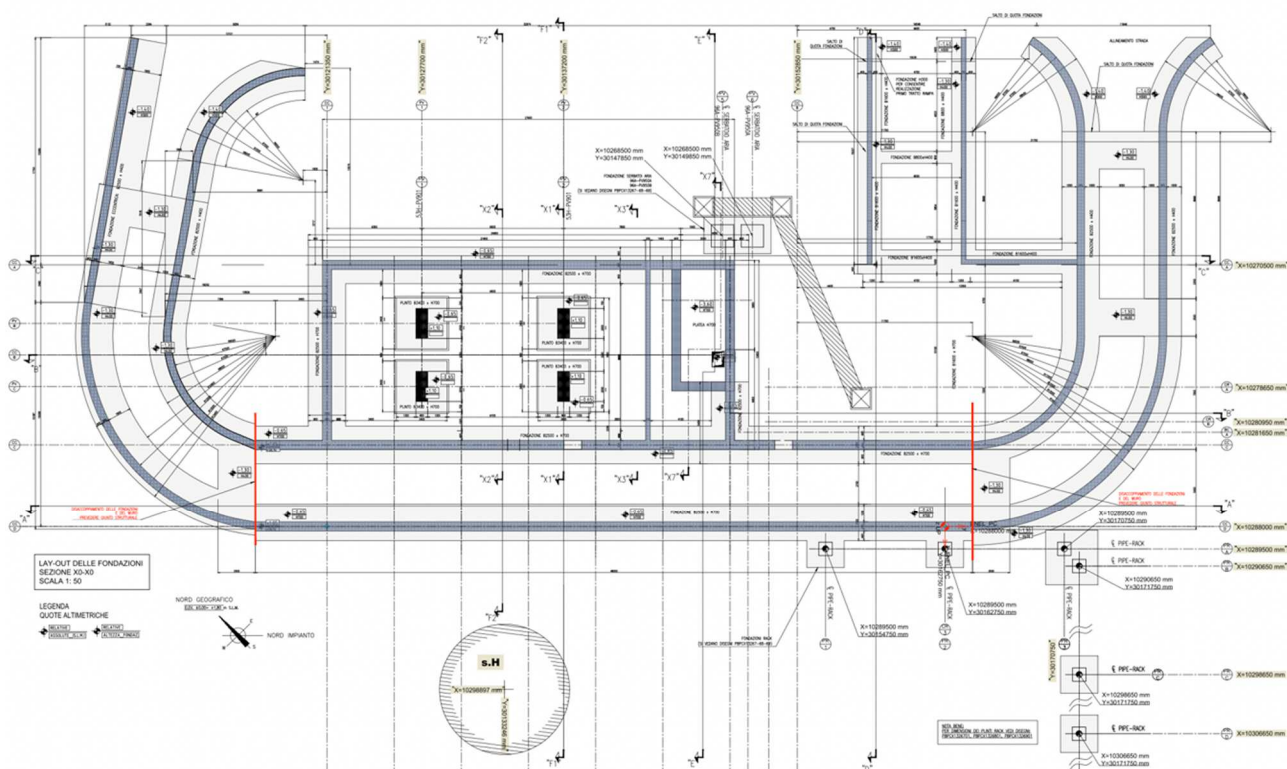


Figura 1.1 - Planimetria dell'impianto ammoniaca

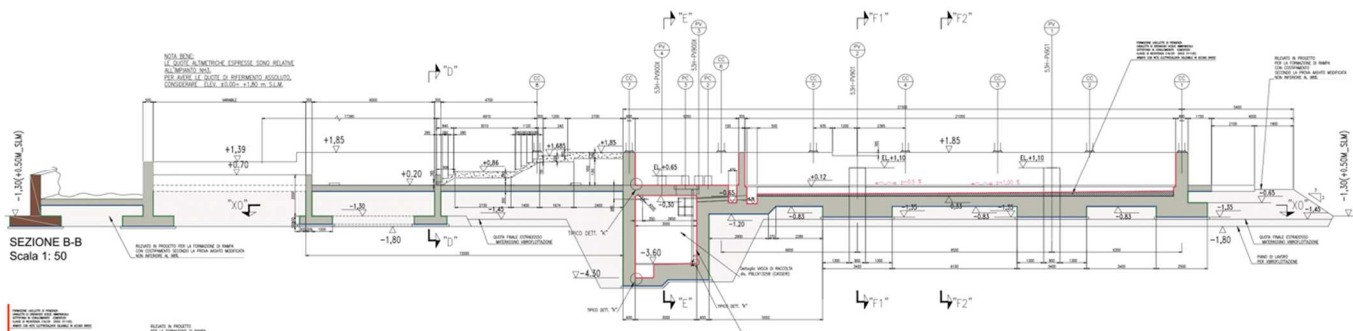



Figura 1.2 - Sezione dell'impianto

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12979
	PROBLEMATICA LIQUEFAZIONE	REV. 00 28.07.22 Sheet <i>Pagina</i> 4 of <i>di</i> 17

Il piazzale di centrale si trova mediamente a quote di poco inferiori a +1 m s.l.m.; per questo motivo, a protezione da eventuali inondazioni, il piano finito dell'edificio in progetto verrà innalzato e portato alla quota di +1.80 m s.l.m. mediante la realizzazione di un rilevato in materiale di caratteristiche adeguate. Il nuovo impianto sarà posizionato sopra il rilevato.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione, sulla base dell'elaborazione dei dati ricavati da indagini geognostiche pregresse e recenti, è stata effettuata e documentata nella relazione geotecnica di Rif. [3], appositamente redatta dagli scriventi cui si rimanda per maggiori approfondimenti.



Figura 1.3 - La centrale ENEL Teodora a Porto Corsini (RA)

Gli studi effettuati hanno evidenziato come il rischio di liquefazione dei terreni sia presente nei primi 10 m dal piano di campagna attuale, ove è previsto che tale rischio venga annullato da misure di mitigazione consistenti in colonne di ghiaia, e di come il rischio di liquefazione sia presente anche più in profondità in livelli di spessore veramente piccolo che solo il dettaglio permesso dalle prove penetrometriche CPTU ha consentito di individuare.

Scopo degli approfondimenti degli studi oggetto della presente relazione è di accertare se il rischio di liquefazione di questi livelletti profondi sia reale e se il verificarsi di tale eventualità rivesta un pericolo per l'opera costruita sopra.

Questo documento è proprietà di Enel E&C. E' severamente proibito riprodurre anche in parte il documento o divulgare ad altri le informazioni contenute senza la preventiva autorizzazione scritta.

This document is property of Enel E&C. It is strictly forbidden to reproduce this document, wholly or partially, and to provide any related information to others without previous written consent.

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12979
	PROBLEMATICA LIQUEFAZIONE	REV. 00 28.07.22 Sheet 5 of <i>Pagina</i> di 17

2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO


Nel corso della presente relazione si farà riferimento ai documenti ed alle norme nel seguito elencati.

2.1 DOCUMENTI

- Rif.[1] **CONSULET SERVIZI S.r.l.** – 2021 – PBPCX12973
Centrale Elettrica Teodora, Ravenna - Edificio stoccaggio di ammoniaca. Relazione geologica.
- Rif.[2] **CONSULET SERVIZI S.r.l.** – 2021 – PBPCX12975
Centrale Teodora, Porto Corsini – Edificio stoccaggio di ammoniaca. Sezione stratigrafica A-A'.
- Rif.[3] **CONSULET SERVIZI S.r.l.** – 2021 – PBPCX12974
Centrale Elettrica Teodora, Ravenna - Edificio stoccaggio di ammoniaca. Relazione di caratterizzazione geotecnica.
- Rif.[4] **CONSULET SERVIZI S.r.l.** – 2021 – PBPCX12858 00
Centrale Elettrica Teodora, Ravenna – Edificio stoccaggio di ammoniaca. Trattamento di vibroflottazione – Campi prova e indicazioni preliminari.
- Rif.[5] **CONSULET SERVIZI S.r.l.** – 2021 – PBPCX12857 00
Centrale Elettrica Teodora, Ravenna – Edificio stoccaggio di ammoniaca. Trattamento di vibroflottazione – Relazione tecnica.

2.2 NORMATIVE

- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto 17 Gennaio 2018: Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni (NTC)».
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- EC8-5 (EN 1998-5, 2005): "Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici"

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12979
	PROBLEMATICA LIQUEFAZIONE	REV. 00 28.07.22 Sheet <i>Pagina</i> 6 of <i>di</i> 17

3. IL TERRENO

Sono stati individuati i seguenti livelli in successione a partire dal piano di campagna:

RIPORTO: Materiale di riporto, di natura sabbioso-ghiaiosa, debolmente limosa. Il suo spessore è di circa 70÷80 cm.

LIVELLO L1: Limo argilloso, da debolmente sabbioso a sabbioso.
E' rinvenuto da sotto lo strato di riporto fino alla profondità di 2.5÷3.2 m dal piano campagna attuale.

LIVELLO L2: Sabbia fine, limosa, localmente debolmente argillosa. Estremamente sciolta in corrispondenza del sondaggio S1.

Lo strato ha uno spessore di circa 6 m e si riscontra mediamente fino alla profondità di 8.5÷9.0 m dal p.c.

LIVELLO L3: Limo da con argilla ad argilloso, debolmente sabbioso. La componente sabbiosa risulta particolarmente significativa oltre i 26 m di profondità, come riscontrato nella prova CPTu.

Questo strato ha uno spessore di 18÷19 m ed ha base alla profondità di 27÷27.5 m dal p.c.

LIVELLO L4: Argilla debolmente limosa, intercalata a straterelli sabbiosi.

La presenza di livelli sabbiosi è desunta dalle sole prove CPTU, recenti e pregresse; in particolare da queste ultime si rileva una prevalente componente sabbiosa sino a circa 32 m di profondità, non confermata però nel sondaggio S1 del 2021.

Il livello è stato riscontrato nelle indagini del 2021 da 27÷27.5 m dal p.c. fino a fondo foro (30 m da p.c.).

Livelli di falda

Durante la campagna geognostica condotta nel 2021 sono stati misurati livelli di falda che si attestano a profondità di circa 1.5 m da p.c.; a favore di sicurezza si prende a riferimento il livello medio del mare (circa 1 m dal piano campagna).

Di seguito, nella figura 3.1, si riporta la stratigrafia di progetto riferita all'area in cui verrà localizzato l'intervento.

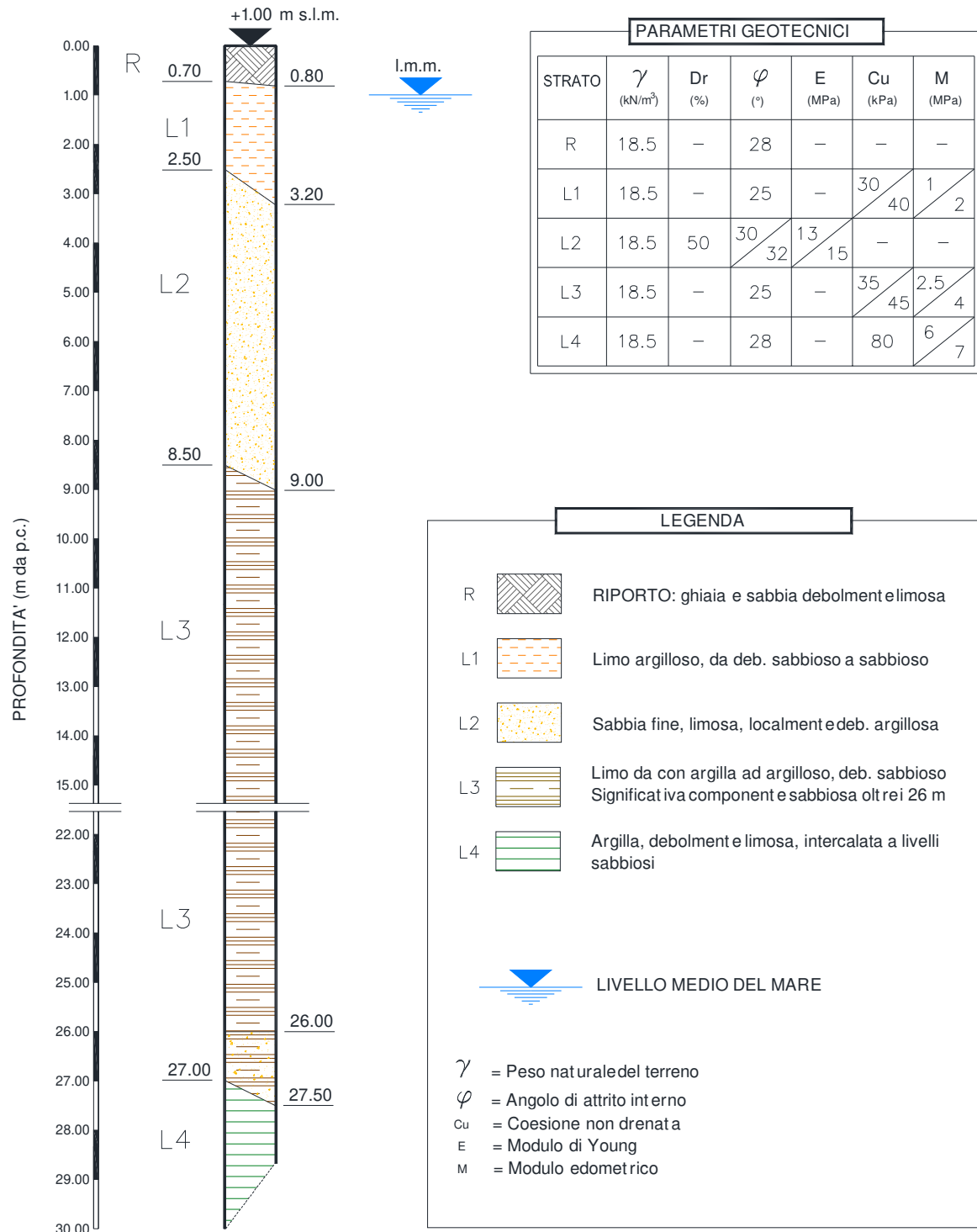



Figura 3.1 - Stratigrafia di riferimento per l'area di intervento

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12979
	PROBLEMATICA LIQUEFAZIONE	REV. 00 28.07.22 Sheet 8 of <i>Pagina</i> di 17

All'interno del livello L3 coesivo sono poi stati individuati livelletti sabbiosi di spessore modesto. Queste lenti sottili si incontrano nell'area oggetto di studio alle profondità indicate nella tabella 3.I

L'analisi di liquefazione fatta a suo tempo aveva indicato come anche queste lenti risultassero potenzialmente liquefacibili (Figura 3.2), cosa che ha portato la Commissione VIA a redigere una prescrizione.

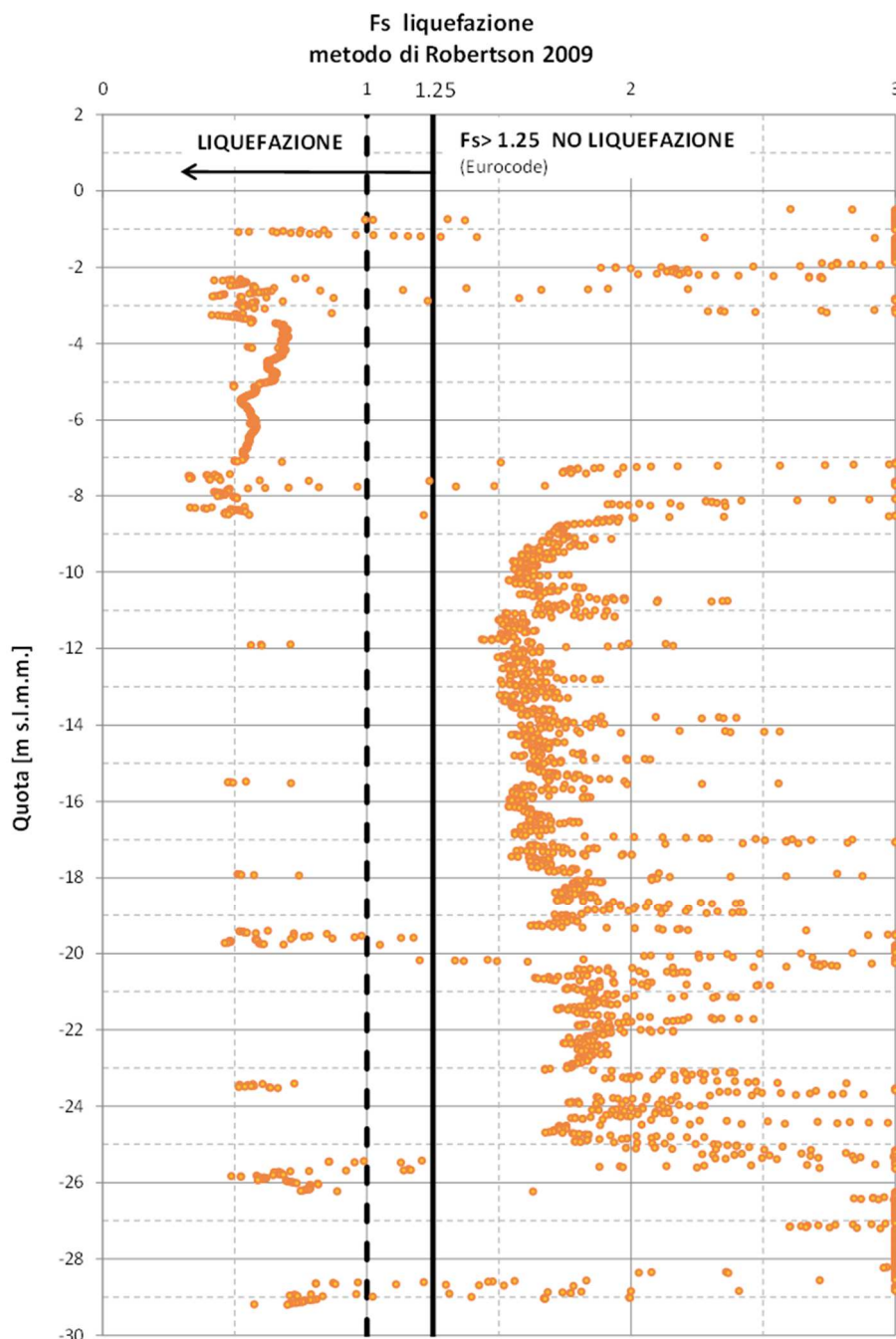



Figura 3.2 - Risultato dello studio di liquefazione

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document Documento n. PBPCX12979
	PROBLEMATICA LIQUEFAZIONE	REV. 00 28.07.22 Sheet Pagina 9 of di 17

	PROFONDITÀ s.l.m.		SPESSORE
	da (m)	a (m)	(cm)
1	11,90	11,95	≈ 5
2	15,48	15,52	< 5
3	19,45	19,80	≈ 35
4	23,41	23,53	≈ 12
5	25,65	26,25	≈ 60
6	28,60	29,20	≈ 60

Tabella 3.I - Lenti sabbiose presenti all'interno del livello coesivo L3


4. PRESCRIZIONI

In data 23.01.2022 la Sottocommissione VIA nell'esame del "Progetto di upgrade impianto per la Centrale Teodora" di Porto Corsini (RA) – Proponente: ENEL Produzione S.p.A. emetteva la seguente disposizione:

Tenuto conto delle caratteristiche litostratigrafiche e idrogeologiche del sito di progetto e del potenziale sismico sufficientemente energetico, che indicano, alla luce delle verifiche al momento eseguite, suscettibilità alla liquefazione dei terreni entro il volume significativo e, in particolare, dello strato L2 prevalentemente sabbioso (di cui alla relazione geologica) posto nel sito di fondazione a profondità fra 2,5 e 9 m dal p.c., ma pure nelle sottostanti lenti sabbiose presenti fino a 30 m di profondità, la progettazione successiva dovrà prevedere fondazioni profonde su pali che attraversino gli strati sottostanti L3 e L4 fino a detta profondità, salvo successive verifiche che dimostrino la non suscettibilità a detto fenomeno a profondità inferiori, fermo restando che in ogni caso, per il principio di precauzione, i pali dovranno essere fondati a profondità non inferiori a 20 m dal p.c..

NOTA:

Le NT 2018 recitano: *Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso.*

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12979
	PROBLEMATICA LIQUEFAZIONE	REV. 00 28.07.22 Sheet <i>Pagina</i> 10 of <i>di</i> 17

5. IL PROBLEMA

Il volume significativo è rappresentato dalla estensione dell'opera e dalla profondità fino alla quale si fa risentire il carico applicato che convenzionalmente si identifica con quella profondità alla quale la sollecitazione aggiunta risulta inferiore al 10% del carico geostatico.

Le sollecitazioni scaricate dalle strutture dell'impianto valgono (comunicazione del Progettista):

- Plinti di Fondazione Serbatoi stoccaggio NH3 $\sigma_t = 8.6 \text{ kN/mq}$
- Travi di Fondazione Edificio stoccaggio NH3 $\sigma_t = 10 \text{ kN/mq}$
- Plinti di Fondazione paline rack $\sigma_t = 4 \text{ kN/mq}$
(con vento, che è il carico dimensionante per le fondazioni, si ha 10 kN/mq).

Supponendo che tutto l'edificio di dimensioni approssimative $20 \text{ m} \times 16 \text{ m}$ imponga uniformemente il massimo carico di 10 kPa , maggiorato del coefficiente di sicurezza parziale 1.5 , la profondità di influenza non si estende sotto i 10 m .

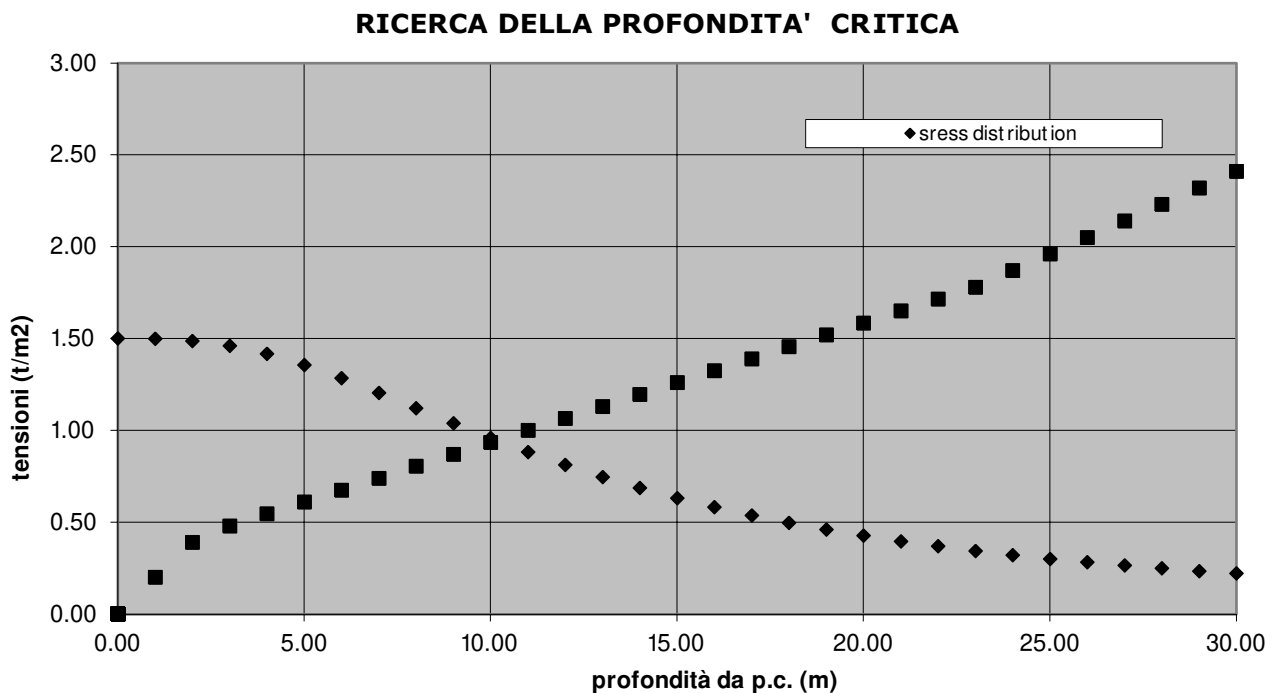



Figura 5.1 - Ricerca della profondità critica al di sotto della quale la presenza della nuova costruzione non produce variazioni significative dello stato di sollecitazione


	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document Documento n. PBPCX12979
	PROBLEMATICA LIQUEFAZIONE	REV. 00 28.07.22 Sheet Pagina 11 of di 17

Nel caso specifico tuttavia si intende verificare la sicurezza nei confronti della liquefazione la cui condizione critica in funzione della profondità è evidenziata nella figura 3.2 ripresa dalla relazione geologica di Rif. [1].

La sicurezza nei confronti della liquefazione per i primi 10 m sarà garantita dall'esecuzione del trattamento di vibroflottazione dimensionato nel documento di Rif. [5].

Nella figura 3.2 citata compaiono come potenzialmente liquefacibili anche straterelli sottili più in profondità, oltre quello che sarebbe il volume significativo convenzionalmente identificato.

La prescrizione della sottocommissione VIA riguarda proprio la presenza di questi straterelli di spessore molto modesto ma che in caso di liquefazione possono dare origine a cedimenti che si risentirebbero anche in superficie. Si ritiene quindi di interesse per la nuova costruzione anche la verifica degli effetti della liquefazione di questi livelletti al fine di garantire comunque la sicurezza dell'impianto.

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12979	
	PROBLEMATICA LIQUEFAZIONE	REV. 00 28.07.22	Sheet <i>Pagina</i> 12 of <i>di</i> 17

6. STUDIO DI APPROFONDIMENTO

Avendo mitigato il rischio di liquefazione presente nei primi 10 m con un intervento mirato di vibroflottazione, che avrà anche una funzione portante rispetto ai carichi trasmessi dall'edificio, si vuole esaminare quali possono essere le conseguenze per l'impianto nel caso che i livellotti profondi entrassero in liquefazione. In particolare, con riferimento alla figura 3.1 che mostra il coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione al variare della profondità, verranno stimati i cedimenti per le intercalazioni presenti a quota (circa) -19.5 m, -23.5 m, -25.5 e -29.0 m dal livello medio del mare (già più precisamente definite in tabella 3.I).

Il calcolo dei cedimenti sarà effettuato secondo la procedura di Tokimatsu e Seed (1987), mediante i grafici riportati nelle figure 6.1 e 6.2.

Occorre innanzitutto determinare il fattore di "sforzo di taglio effettivo ipotetico" γ_{eff} (G_{eff}/G_{max}) con l'equazione:

$$\gamma_{eff} (G_{eff}/G_{max}) = (0.65 \cdot a_{max} \cdot \sigma_v \cdot r_d) / (g \cdot G_{max})$$

in cui:

- a_{max} = picco di accelerazione orizzontale in superficie prodotto dal terremoto, determinata nel Rif.[1] e pari a 0.3114 g;
- σ_v = tensione verticale litostatica totale alla profondità considerata;
- r_d = coefficiente di riduzione delle tensioni (dettagliatamente definito nel Rif.[1]);
- g = accelerazione di gravità;
- G_{max} = modulo di taglio del terreno a piccole deformazioni, funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s e della densità del terreno $\rho \rightarrow G_{max} = \rho \cdot V_s^2 = 55.6$ MPa
- $V_s = 171$ m/s da Rif.[1]

Il fattore γ_{eff} (G_{eff}/G_{max}) è quindi variabile in funzione della profondità; il valore medio rappresentativo dei terreni alle profondità di interesse è 10^{-4} .

Utilizzando il grafico di figura 6.1 si ottiene il corrispondente valore di $\gamma_{eff} = 1.5 \cdot 10^{-4}$.

Assumendo $\gamma_{eff} = \gamma_c$ (con γ_c = deformazione di taglio ciclica) si valuta la deformazione volumetrica ε_c dovuta alla compattazione post liquefazione con il grafico di figura 6.2 $\rightarrow \varepsilon_c = 8 \cdot 10^{-1}$ %

Poiché tale grafico è stato definito per terremoti con magnitudo 7.5, il valore di calcolato deve essere corretto in base alle indicazioni di tabella 6.I.

Questo documento è proprietà di Enel E&C. E' severamente proibito riprodurre anche in parte il documento o divulgare ad altri le informazioni contenute senza la preventiva autorizzazione scritta.

This document is property of Enel E&C. It is strictly forbidden to reproduce this document, wholly or partially, and to provide any related information to others without previous written consent.

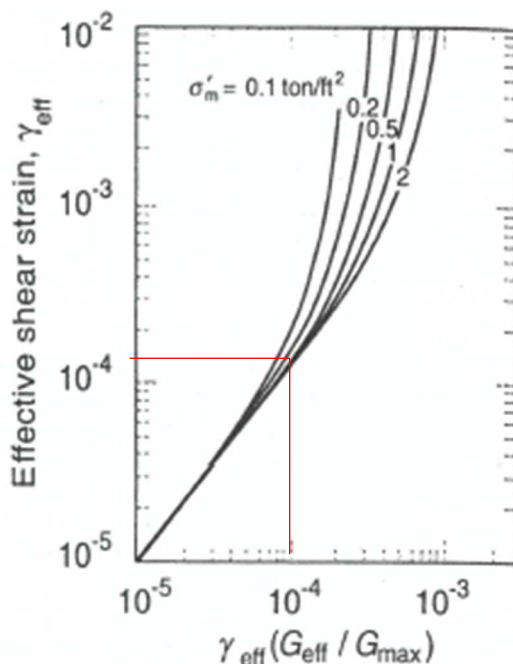
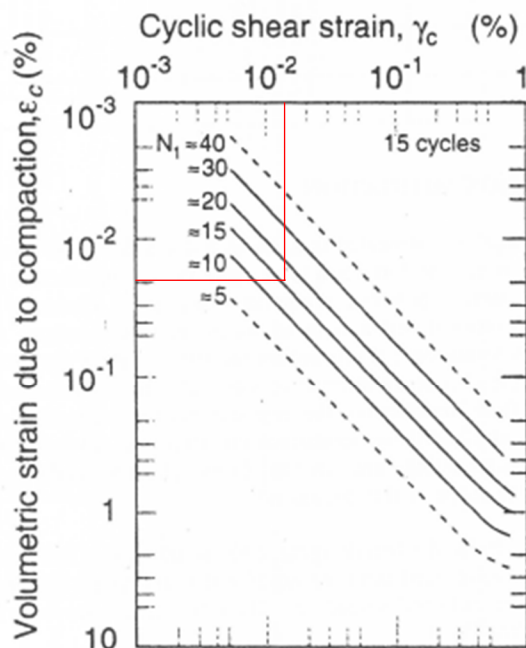



Figura 6.1 – Grafico per la valutazione di γ_{eff} secondo Tokimatsu e Seed (1987)



Relationship between volumetric strain, cyclic shear strain, and penetration resistance for unsaturated sands (Tokimatsu and Seed, 1987, reprinted by permission of ASCE).

Figura 6.2 – Grafico per la valutazione di ϵ_c secondo Tokimatsu e Seed (1987)

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document Documento n. PBPCX12979
	PROBLEMATICA LIQUEFAZIONE	REV. 00 28.07.22 Sheet Pagina 14 of di 17

Magnitudo	Coeff. correttivo
8.5	1.25
7.5	1.0
6.75	0.85
6.0	0.6
5.25	0.4

Tabella 6.I – Coefficienti correttivi di ε_c
secondo Tokimatsu e Seed (1987)

Poiché la magnitudo di progetto definita nel Rif. [1] è 6.14, il coefficiente correttivo, ottenuto per interpolazione lineare, per ε_c è pari a 0.65.


Per ciascuno strato potenzialmente liquefacibile, di spessore H, il cedimento Δz è calcolato come:

$$\Delta z = 2 \cdot \varepsilon_{c \text{ corretta}} \cdot H = 2 \cdot 0.65 \cdot 8 \cdot 10^{-1} \% \cdot H = 0.0104 \cdot H$$

Le lenti individuate hanno spessori variabili circa da 12 cm a 60 cm (si veda la tabella 3.I):

- per H = 12 cm $\rightarrow \Delta z = 0.0104 \cdot 0.12 = 1.25$ mm
- per H = 35 cm $\rightarrow \Delta z = 0.0104 \cdot 0.35 = 3.65$ mm
- per H = 60 cm $\rightarrow \Delta z = 0.0104 \cdot 0.60 = 6.2$ mm

Sommando quindi i cedimenti delle n°4 intercalazioni sabbiose presenti sotto i 15 m di profondità si ottiene un cedimento complessivo di 17.3 mm, del tutto compatibile con la stabilità delle strutture.

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12979
	PROBLEMATICA LIQUEFAZIONE	REV. 00 28.07.22 Sheet <i>Pagina</i> 15 of <i>di</i> 17

7. CONCLUSIONI

Per individuare la tipologia di fondazione per l'Edificio Ammoniaca è stato fatto uno studio geotecnico che ha trattato anche il fenomeno della liquefazione degli strati sabbiosi.

Il risultato ha portato alla redazione del grafico riportato nella figura 3.2 nella quale si vede che lo strato sabbioso presente fino alla profondità di 8÷9 m risulta potenzialmente liquefacibile.

Per tale motivo si prevede di eseguire un intervento di miglioramento del terreno, che dovrà interessare tutto lo spessore degli strati ove risulta presente materiale potenzialmente liquefacibile (formazione L2 costituita da sabbia limosa), cioè fino alla profondità di circa 9 m dal piano campagna esistente.

Considerate le caratteristiche geotecniche dei terreni in sito, si è prevista la mitigazione del rischio di liquefazione mediante un intervento di vibroflottazione, tecnologia consistente, nel caso specifico, nella realizzazione di colonne in ghiaia disposte su di una maglia regolare aventi il compito di migliorare le caratteristiche di addensamento dei terreni in sito e al contempo di creare vie preferenziali per lo smaltimento delle pressioni interstiziali, in modo da riportare il fattore di sicurezza ai valori richiesti dalla normativa.

Sono anche presenti in profondità livelletti di spessore minimo, spessore stimato poi prudenzialmente per eccesso nella tabella 3.I, che risulterebbero ugualmente liquefacibili.

Si era valutato che, anche se trovati potenzialmente liquefacibili, la liquefazione negli atti non potesse avvenire perché:

- il metodo di calcolo per profondità superiori a 15 m diventa meno preciso,
- perché gli straterelli sono molto sottili,
- perché gli stessi tendono ad essere lenticolari,
- perché sono confinati tra strati non liquefacibili.

Giustamente essendo l'ammoniaca un elemento che non deve spandersi al suolo, su sollecitazione della Sottocommissione VIA, è stato fatto uno studio di approfondimento, specifico per le condizioni quali quelle in esame di strati di spessore limitato chiusi tra due strati non liquefacibili.


A favore di sicurezza gli strati potenzialmente liquefacibili sono quindi stati considerati infinitamente estesi.

Questo ulteriore studio, considerando comunque che questi strati vadano in liquefazione, ha valutato che il cedimento del blocco di terreno sopra che ne deriverebbe è dell'ordine di 17÷18 mm e quindi pienamente accettabile dalla struttura che su di esso poggia.

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document Documento n. PBPCX12979
	PROBLEMATICA LIQUEFAZIONE	REV. 00 28.07.22 Sheet Pagina 16 of di 17

Il blocco di terreno che sta sopra agli straterelli liquefacibili, pur nello scenario più severo, opera anche un effetto benefico di redistribuzione, per cui i differenziali saranno nulli o comunque non apprezzabili.

CONSULET SERVIZI S.r.l.

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document Documento n. PBPCX12979
	PROBLEMATICA LIQUEFAZIONE	REV. 00 28.07.22 Sheet Pagina 17 of di 17

BIBLIOGRAFIA

Tokimatsu K., Seed H.B.

“Evaluation of settlements in sands due to Earthquake Shaking.”

Journal of Geotechnical Engineering, ASCE Vol. 113 - 1987.

U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration

“Geotechnical Engineering Circular n°3. Design guidance: Geotechnical Earthquake Engineering for Highways”. Vol. 1 – 1997 (Publication n° FHWA-SA-97-076)

T. L. Youd, Chair, Member, ASCE, I. M. Idriss, Co-Chair, Fellow, ASCE, Ronald D. Andrus, Ignacio Arango, Gonzalo Castro, John T. Christian, Richardo Dobry, W. D. Liam Finn, Leslie F. Harder Jr., Mary Ellen Hynes, Kenji Ishihara, Joseph P. Koester, Sam S. C. Liao, William F. Marcuson III, Geoffrey R. Martin, James K. Mitchell, Yoshiharu Moriwaki, Maurice S. Power, Peter K. Robertson, Raymond B. Seed, and Kenneth H. Stokoe II

“Liquefaction resistance of soils: Summary Report from the 1966 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils” – ASCE Journal Geotechnical Geoenvironmental Engineering – 2001

J.D. Bray, R.W. Boulanger, K. Tokimatsu, M. Cubrinovski, S.L. Kramer, T. O’Rourke, E. Rathje, R.A. Green, P. K. Robertson and C. Z. Beyzael:

“Liquefaction Induced Ground Movements Effects” – U.S. – New Zealand _ Japan International Workshop – Berkeley, California 2016