

PROJECT
Progetto

CENTRALE LA CASELLA
Castel San Giovanni (PC)

Security Index
Indice Sicurezza

**Riservato
Aziendale**

TITLE
Titolo

EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA
STIMA CEDIMENTI RESIDUI DA LIQUEFAZIONE POST
TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE A SECCO BOTTOM FEED

CLIENT
Cliente

ENEL PRODUZIONE S.p.A.



JOB no. Document no.

CLIENT SUBMITTAL
Inoltro al Cliente

FOR APPROVAL
Per Approvazione

FOR INFORMATION
ONLY
Per Informazione

NOT REQUESTED
Non Richiesto

SYSTEM
Sistema

00B

DOCUMENT TYPE
Tipo Documento

TL

DISCIPLINE
Disciplina

C

FILE
File

PBLCX1297400.docx

REV

DESCRIPTION OF REVISIONS / Descrizione delle revisioni

00 PRIMA EMISSIONE



COMMESSA JOB	DATA Date	IDENTIFICATIVO DOCUMENT CODE	REDATTO PREPARED	CONTROLLATO CHECKED	APPROVATO APPROVED
252	04/05/23	R.252-33.00	C. Riva	A. Garassino	A. Garassino

e-mail: geo.consulet@consulet.it

00	18/05/23	TR										
			CONSULET									
REV	Date Data	Scope Scopo	Prepared by Preparato	Co-operations Collaborations						Approved by Approvato	Issued by Emesso	

	LA CASELLA (PC)	Document <i>Documento n.</i> PBLCX12974
	CEDIMENTI DA LIQUEFAZIONE POST VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 18.05.23 Sheet 2 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 16

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	3
1.1	PRESCRIZIONE DELLA COMMISSIONE TECNICA DI VIA	3
2.	DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO	5
2.1	DOCUMENTI.....	5
2.2	NORMATIVE.....	5
3.	STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO E STRATI LIQUEFACIBILI	6
4.	TRATTAMENTO IN PROGETTO ED EFFETTO DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO	10
5.	STUDIO DI APPROFONDIMENTO	12
6.	CONCLUSIONI	15
	BIBLIOGRAFIA.....	16

	LA CASELLA (PC)	Document <i>Documento n.</i> PBLCX12974
	CEDIMENTI DA LIQUEFAZIONE POST VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 18.05.23 Sheet 3 of 16 <i>Pagina di</i>

1. INTRODUZIONE

Nel comune di Castel San Giovanni (PC), all'interno dell'area della centrale "E. Amaldi" in località La Casella, è prevista la costruzione di un impianto per lo stoccaggio dell'ammoniaca.

A prescindere dal materiale che costituirà il rilevato fondazionale, che dovrà necessariamente avere idonee caratteristiche geomeccaniche, il terreno sul quale sorgerà l'impianto è costituito da una successione di livelli ora sabbiosi, ora limo-sabbiosi, passanti a sabbioso-ghiaiosi oltre i 10 m di profondità dall'attuale piano campagna (si vedano le sezioni di Rif. [2]).

L'analisi del rischio di liquefazione, descritta nel dettaglio nel Rif. [1], ha mostrato che esso è presente sull'area, anche nella zona di pertinenza dell'impianto.

Per tale motivo si è preventivato di eseguire un intervento di miglioramento del terreno, che dovrà interessare tutto lo spessore degli strati ove risulta presente materiale potenzialmente liquefacibile, cioè fino alla profondità di circa 10 m dal piano campagna esistente.

Nello specifico nel Rif. [4] si è valutato che la realizzazione, mediante la tecnica di vibroflottazione a secco bottom feed, di colonne in ghiaia disposte secondo una maglia triangolare di lato 1.80 m, consente la riduzione del rischio di liquefazione pari a circa il 30% dell'attuale. Come mostrato anche nelle pagine a seguire, tale intervento, pur mitigando in modo considerevole il rischio di liquefazione, a seguito di sismi particolarmente elevati non riesce, tuttavia, ad eliminarlo completamente: sulla base dei risultati di alcune prove SPT è stata stimata la permanenza di un rischio residuo, localizzato in livelli di piccolo spessore, anche a seguito del trattamento.

Scopo degli studi di approfondimento descritti nella presente relazione è di accertare, in ottemperanza alla prescrizione di Commissione Tecnica di VIA, se il verificarsi di eventuali fenomeni di liquefazione di questi livelletti rivesta un pericolo per l'opera costruita sopra.

1.1 PRESCRIZIONE DELLA COMMISSIONE TECNICA DI VIA

In data 06.02.2023 la Commissione Tecnica di VIA nell'esame del "Progetto di upgrade impianto per la Centrale Edoardo Amaldi" di La Casella (PC) – Proponente: ENEL Produzione S.p.A. emetteva la seguente disposizione:

"Quanto agli aspetti geologico-tecnici, gli approfondimenti eseguiti sulla suscettibilità alla liquefazione (...)

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.

	LA CASELLA (PC)	Document <i>Documento n.</i> PBLCX12974
	CEDIMENTI DA LIQUEFAZIONE POST VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 18.05.23 Sheet 4 of 16 <i>Pagina di</i>

(...) I terreni trattati con vibroflottazione, pur vedendo significativamente incrementati i fattori di sicurezza alle diverse quote, mostrano comunque livelli residui di criticità, risultanti dai valori SPT, a profondità comprese fra le quote 46 m e 48 m s.l.m.m. con valori nell'intervallo $0,75 < F_s < 1$ e a quota 51,5 m s.l.m.m. con valore prossimo a $F_s = 0,5$. Al riguardo, valutato che detta residua criticità determini un livello basso di rischio, accettabile rispetto ai benefici attesi dalla realizzazione dell'intero progetto di "upgrade" della centrale, risulta comunque necessario calcolare se i cedimenti, eventualmente differenziali, attesi nel rilevato in caso di liquefazione degli strati sottostanti al rilevato siano compatibili con l'integrità delle diverse strutture (serbatoi, vasche, edificio, ecc.), in caso negativo implementando il progetto di vibroflottazione, per es. aumentando diametro colonne e/o diminuendo l'interasse o, se necessario, individuando altre soluzioni progettuali, ripetendo le verifiche fino a ottenere valori dei fattori di sicurezza almeno superiori all'unità ($F_s > 1$) e preferibilmente in linea con quanto previsto dall'Eurocodice 8 ($F_s > 1,25$).

	LA CASELLA (PC)	Document <i>Documento n.</i> PBLCX12974
	CEDIMENTI DA LIQUEFAZIONE POST VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 18.05.23 Sheet 5 of 16 <i>Pagina di</i>

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 – PBLCX12970 00
Centrale La Casella – Edificio stoccaggio di ammoniaca. Relazione geologica.
- Rif.[2] **CONSULET SERVIZI S.r.l.** – 2021 – PBLCX12972 00
Centrale La Casella – Edificio stoccaggio di ammoniaca. Sezioni stratigrafiche A-A e B-B.
- Rif.[3] **CONSULET SERVIZI S.r.l.** – 2021 – PBLCX12971 00
Centrale La Casella – Edificio stoccaggio di ammoniaca. Relazione geotecnica.
- Rif.[4] **CONSULET SERVIZI S.r.l.** – 2023 – PBLCX12965 00
Centrale La Casella – Edificio stoccaggio di ammoniaca. Trattamento di vibroflottazione bottom feed – Progetto di intervento.
- Rif.[5] **CONSULET SERVIZI S.r.l.** – 2023 – PBLCX12966 00
Centrale La Casella – Edificio stoccaggio di ammoniaca. Trattamento di vibroflottazione bottom feed – Specifica Tecnica
- Rif.[6] **CONSULET SERVIZI S.r.l.** – 2023 – PBLCX12967 00
Centrale La Casella – Edificio stoccaggio di ammoniaca. Trattamento di vibroflottazione a secco bottom feed – Campi prova e indicazioni preliminari.

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"

	LA CASELLA (PC)	Document <i>Documento n.</i> PBLCX12974
	CEDIMENTI DA LIQUEFAZIONE POST VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 18.05.23 Sheet <i>Pagina</i> 6 of 16 <i>di</i>

3. STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO E STRATI LIQUEFACIBILI

La Relazione Geotecnica di Rif. [3] riporta per il sottosuolo che costituisce il terreno di fondazione del nuovo impianto una suddivisione in più strati.

Ad un primo strato di copertura, costituito da materiale eterogeneo ma prevalentemente granulare che raggiunge i 2.5 m di profondità (strato 1), fa seguito un limo argilloso, localmente sabbioso, con uno spessore di circa 2 m (strato 2), che proseguendo verso il basso diventa dapprima sabbia limosa (strato 3) e solo oltre i 10 m di profondità diviene più grossolana ed a tratti ghiaiosa (livello 4).

In figura 3.1 è mostrata la stratigrafia di progetto, stralciata dal Rif. [3], comprensiva anche di una caratterizzazione del materiale di riporto antropico che andrà a costituire il rilevato necessario per innalzare il piano campagna attuale a + 57.05 m sul livello del mare, quota del piazzale finito. La posizione della falda in caso di piena del Po è localizzata alla quota di 53 m s.l.m., ossia si trova a circa 1,5 m dal piano campagna attuale e a circa 4 m da quello finale.

Per maggiore approfondimento si consulti la relazione geotecnica citata in cui l'argomento è trattato diffusamente.

Con riferimento alla figura 3.1 e a quanto spiegato nel dettaglio nella Relazione Geologica di Rif. [1], il livello potenzialmente liquefacibile è quello delle sabbie limose (strato 3), che limitatamente all'edificio in progetto risultano mediamente comprese tra 50 e 45 m s.l.m. (l'analisi di liquefazione estesa ad altre aree di centrale individua locali approfondimenti del tratto a rischio).

Nelle figure 3.2 e 3.3 sono mostrati i coefficienti di sicurezza nei confronti del rischio di liquefazione calcolati rispettivamente utilizzando i dati ricavati da prove SPT e da prove CPTu realizzate in prossimità dell'area di intervento. Come si evince dalla planimetria contenuta nel Rif. [2], le verticali di indagini più vicine all'area di fondazione, e quindi più significative, sono il sondaggio SPZ16 e la CPTu 4.

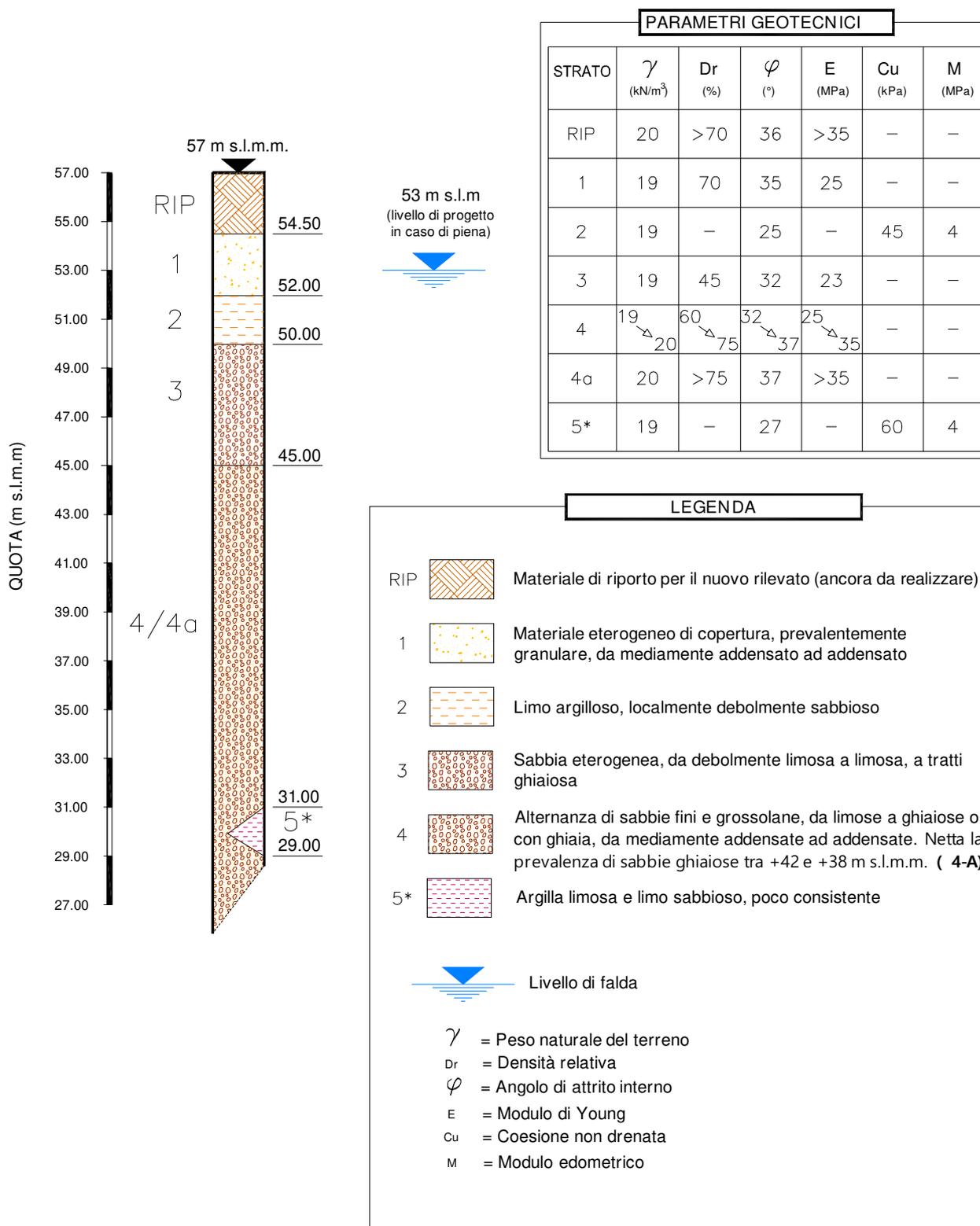


Figura 3.1 – Stratigrafia di riferimento per le aree di intervento

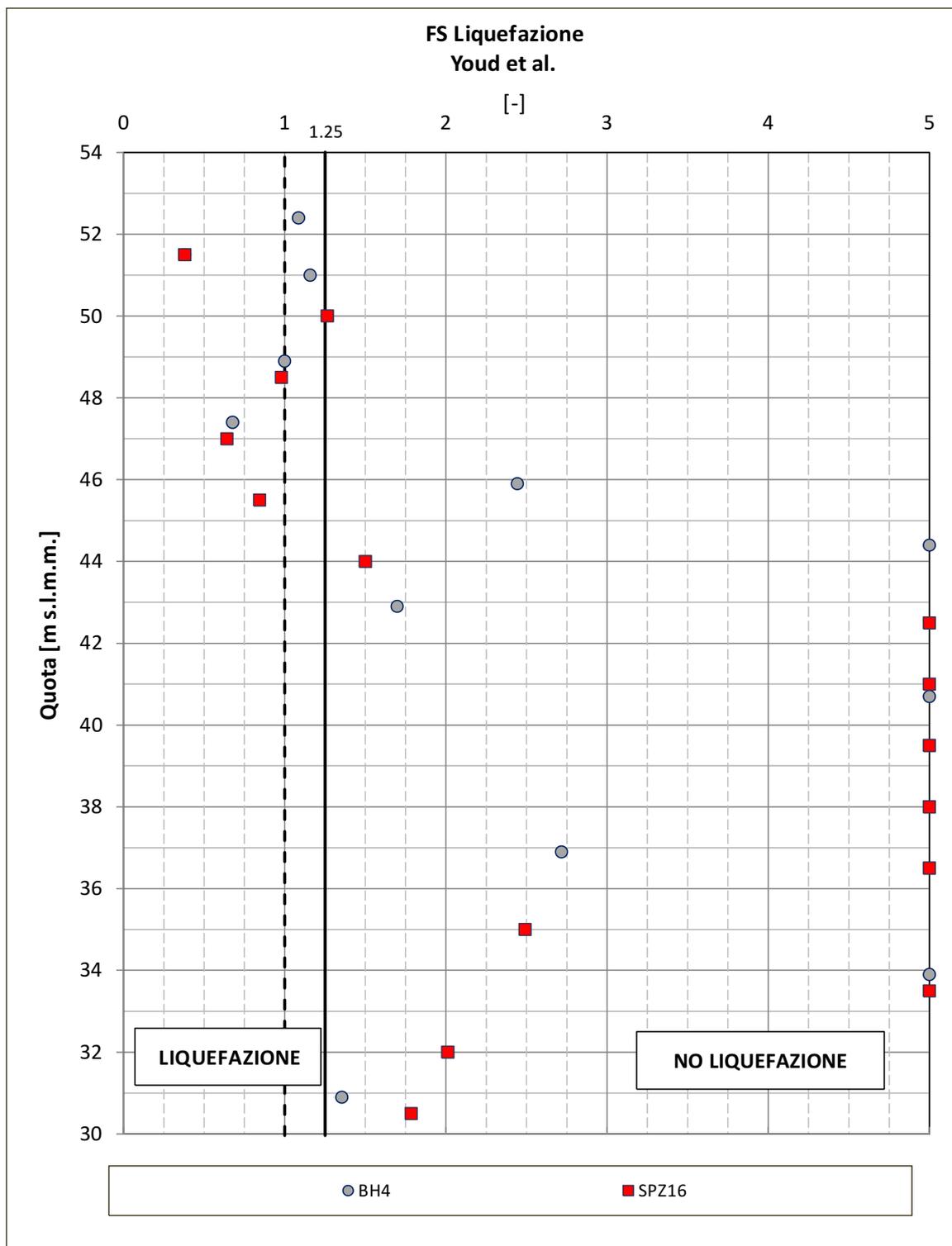


Figura 3.2 - Fattore di Sicurezza nei confronti del rischio di liquefazione - da SPT
(in rosso i dati relativi alla verticale più vicina all'area di intervento)

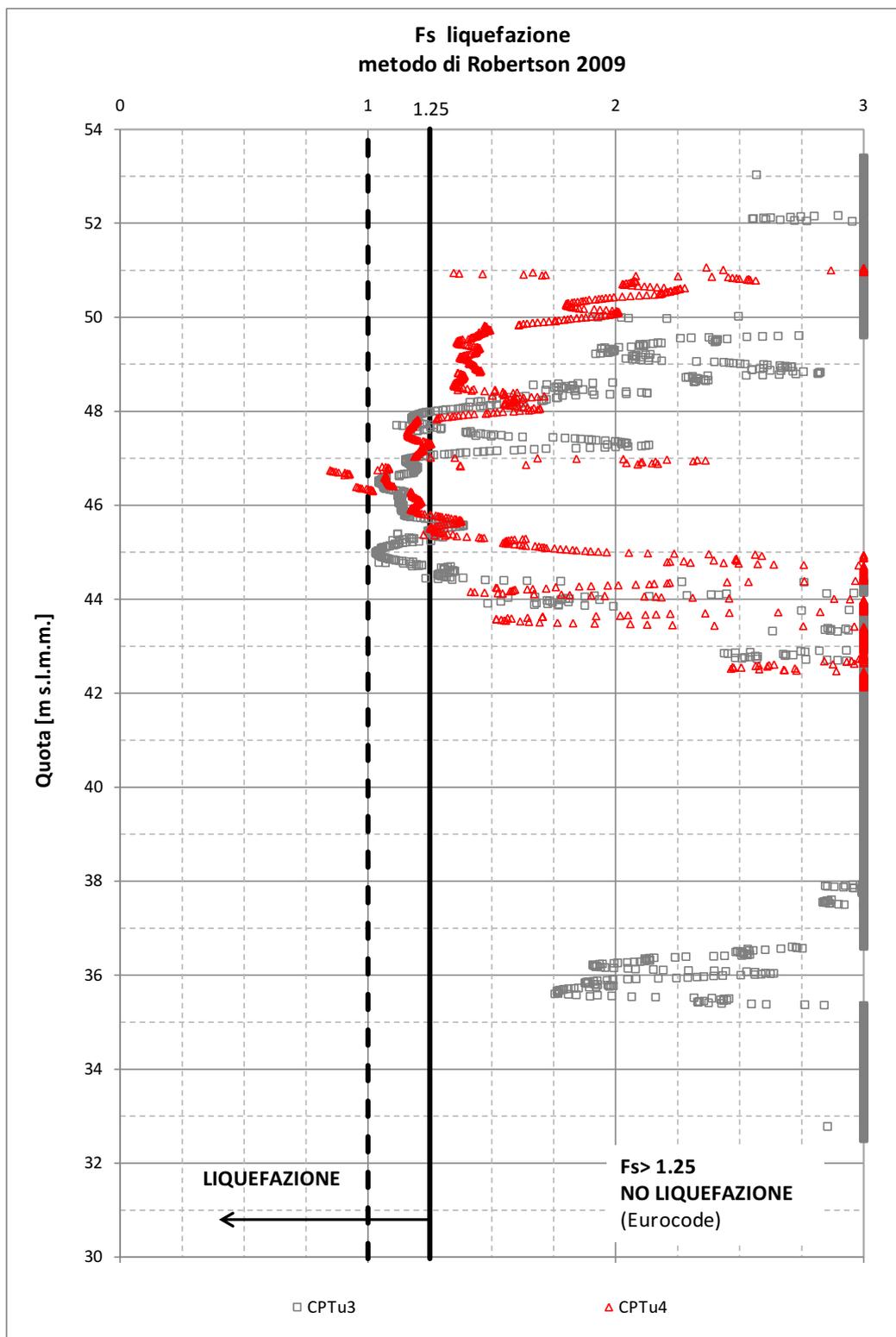


Figura 3.3 - Fattore di Sicurezza nei confronti del rischio di liquefazione – da CPTu

(in rosso i dati relativi alla verticale più vicina all'area di intervento)

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.

	LA CASELLA (PC)	Document Documento n. PBLCX12974
	CEDIMENTI DA LIQUEFAZIONE POST VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 18.05.23 Sheet 10 of 16 Pagina di

4. TRATTAMENTO IN PROGETTO ED EFFETTO DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO

In base alle caratteristiche geotecniche dei terreni naturali presenti in prossimità dell'area di fondazione dell'edificio in progetto, la tipologia di trattamento ritenuta più idonea al fine di ridurre il rischio di liquefazione è quella della vibroflottazione/vibrosostituzione.

Nello specifico si è stabilito di realizzare, mediante tecnologia a secco bottom feed, colonne in ghiaia di diametro 60 cm, disposte secondo una maglia triangolare di lato 1.80 m, in modo da ridurre il rischio di liquefazione del 30% rispetto all'attuale.

Nella figura 4.1 sono illustrati graficamente i coefficienti di sicurezza alla liquefazione stimati da progetto per il terreno post-trattamento.

L'intervento proposto, pur non annullandolo completamente, risulta teoricamente sufficiente a ridurre drasticamente il potenziale di liquefazione: i valori calcolati di $F_s < 1.25$ sono ora solo puntuali, isolati, senza la continuità verticale che caratterizzava le valutazioni precedentemente fatte sul terreno naturale. Tra questi, i più critici livelletti con $F_s < 1$ sono riscontrati solo dalle SPT alle quote di 51.5 m slm e 47.5 ÷ 47.0 m s.l.m.

Quota m s.l.m.	Spessore livello cm	Tipo di prova	FS stimato post trattamento
51.5	30	SPT	0.54
47.5 ÷ 47	30 + 30	SPT	0.91 ÷ 0.96
46.75	5	CPT	1.2 < F_s < 1.25
45.5	30	SPT	1.2

Tabella 4.I – Livelli potenzialmente liquefacibili anche dopo il trattamento di vibroflottazione

La prescrizione della sottocommissione VIA riguarda proprio la presenza di questi straterelli di spessore molto modesto ma che in caso di liquefazione potrebbero dare origine a cedimenti che si risentirebbero anche in superficie.

Nel prosieguo si valuteranno, pertanto, gli effetti della liquefazione di questi livelletti al fine di garantire comunque la sicurezza dell'impianto.

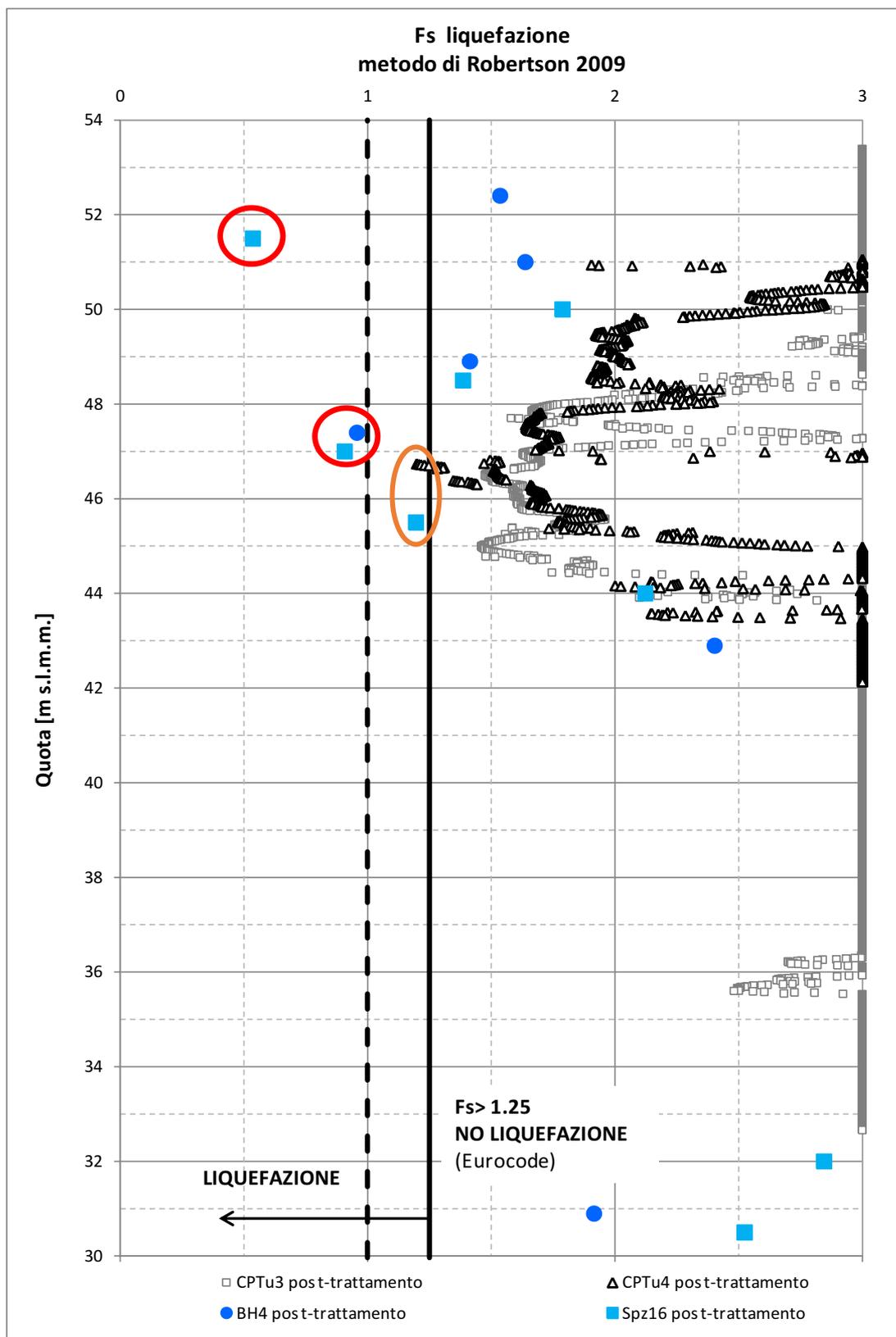


Figura 4.1 - Fattore di Sicurezza a liquefazione da SPT e CPT

Valore teorico stimato post trattamento

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.

	LA CASELLA (PC)	Document Documento n. PBLCX12974
	CEDIMENTI DA LIQUEFAZIONE POST VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 18.05.23 Sheet Pagina 12 of di 16

5. 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 livelletti localizzati, individuati nel precedente capitolo, entrassero in liquefazione.

In particolare, con riferimento alla figura 4.1 che mostra il coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione al variare della profondità, verranno stimati i cedimenti per le intercalazioni presenti a 51.5 m s.l.m. e tra 47.5 ÷ 45.5 m s.l.m (già più precisamente definite in tabella 3.I).

Il calcolo dei cedimenti sarà effettuato mediante il grafico riportato nella figura 5.1, stralciato dall'articolo di Zhang, Robertson, and Brachman (2002).

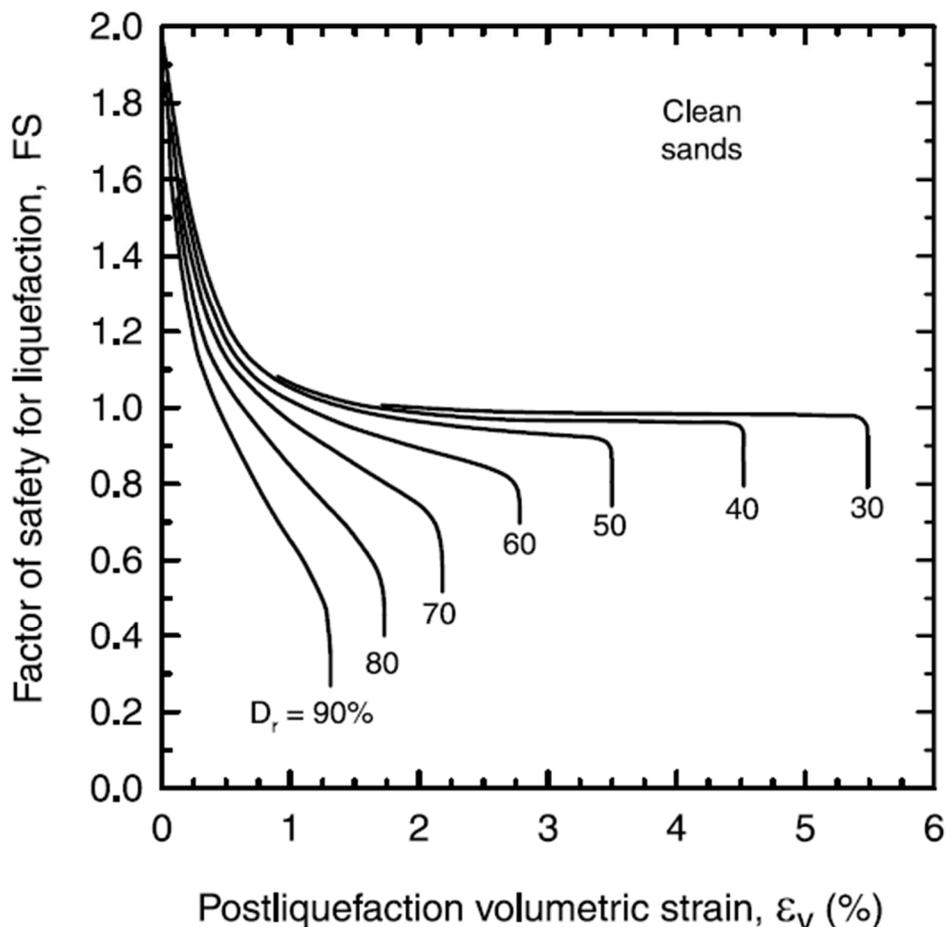


Figura 5.1 – Relazione tra F_s , D_r e ϵ_v

	LA CASELLA (PC)	Document Documento n. PBLCX12974
	CEDIMENTI DA LIQUEFAZIONE POST VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 18.05.23 Sheet Pagina 13 of 16 di

Per ciascuno strato potenzialmente liquefacibile, di spessore H, il cedimento Δz sar  poi calcolato come:

$$\Delta z = \varepsilon_v \cdot H$$

Occorre innanzitutto determinare la densit  relativa (D_r) dei livelli in esame, pre e post trattamento: i valori del terreno in sito si ricavano dal grafico di figura 5.2, stralciato dalla relazione geotecnica di Rif. [3], mentre quelli del terreno trattato si stimano considerando un miglioramento del 30% (i valori corrispondenti sono riassunti nella tabella sottostante).

La prova SPT a 51.5 m s.l.m.   stata eseguita in sedimenti limoso-argillosi per i quali non   ragionevole definire una D_r pre-trattamento; la D_r post trattamento invece   ragionevolmente quantificata nel 35%.

Quota m s.l.m.	Spessore livello cm	D_r PRE-trattamento	D_r POST-trattamento
51.5	30	--	35%
47.5 � 47	30 + 30	35%	46%
46.75	5	40%	52%
45.5	30	41%	53%

Tabella 5.I – Valori di D_r pre e post trattamento

In funzione dei suddetti valori di D_r , degli spessori e dei F_s indicati in tabella 4.I, si ricavano mediante il grafico di figura 5.I i cedimenti riassunti nella sottostante tabella 5.II. Sommando i cedimenti di tutte intercalazioni potenzialmente liquefacibili si ottiene un cedimento complessivo di 3.5 cm, compatibile con la stabilit  delle strutture.

quota m slm	D_r posttrattamento %	ε_v %	spessore liq. mm	cedimento mm
51.5	38	5	300	15
47.5	50	2.25	300	6.75
47	50	3.85	300	11.55
46.75	60	0.5	50	0.25
45.5	58	0.5	300	1.5

Tabella 5.II – Cedimenti calcolati nel caso di liquefazione post trattamento

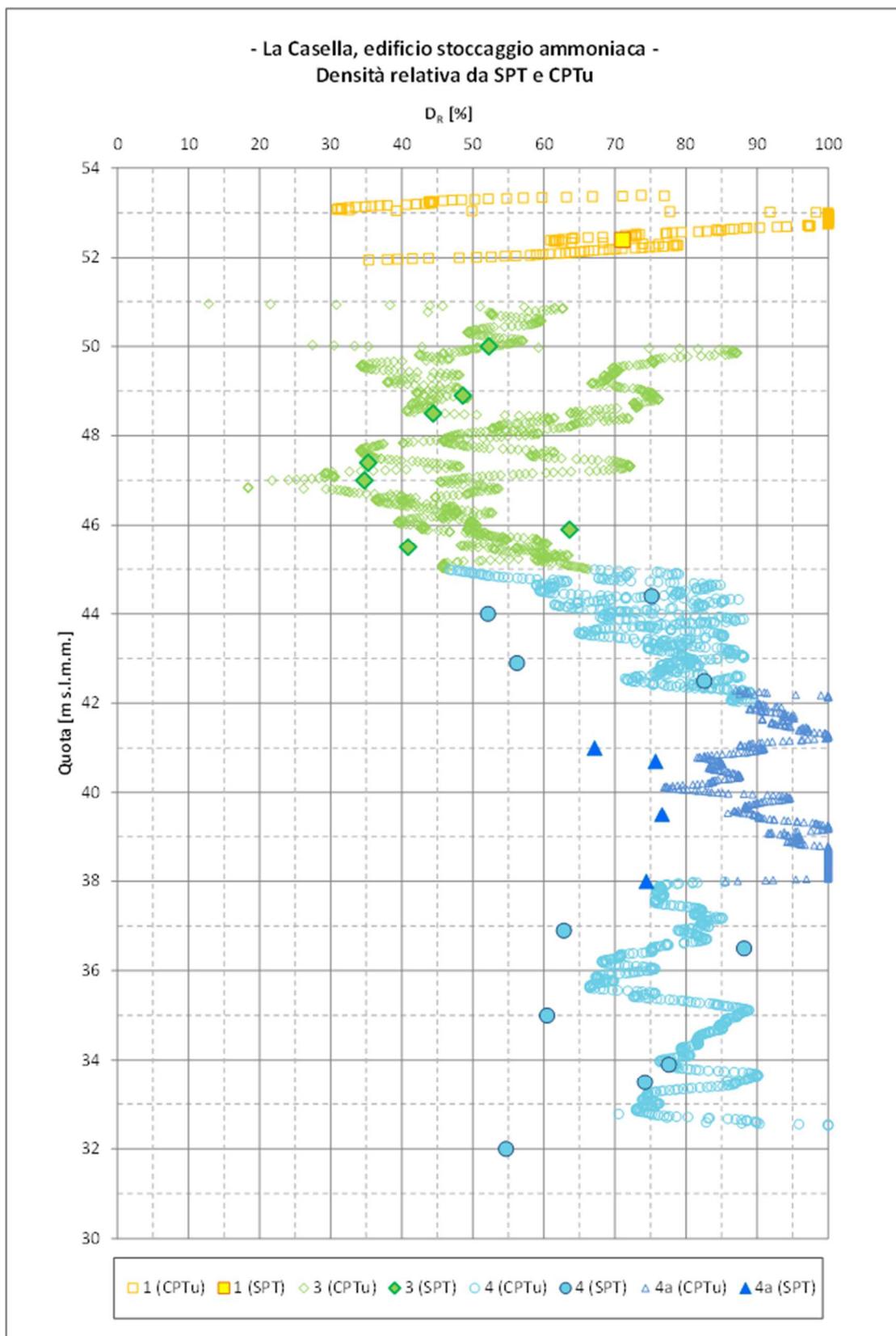


Figura 5.2 – Densità relativa del terreno naturale (da Rif. [3])

	LA CASELLA (PC)	Document <i>Documento n.</i> PBLCX12974
	CEDIMENTI DA LIQUEFAZIONE POST VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 18.05.23 Sheet <i>Pagina</i> 15 of 16 <i>di</i>

6. CONCLUSIONI

In località La Casella, di Castel San Giovanni (PC), all'interno dell'area della centrale "E. Amaldi" è prevista la costruzione di un impianto per lo stoccaggio dell'ammoniaca.

Il terreno di fondazione, sino a circa 10 m di profondità dall'attuale piano campagna, presenta una successione di materiali limoso-sabbiosi localmente poco addensati, potenzialmente liquefacibili in caso di sisma.

Al fine di aumentare la densità di queste formazioni è previsto un trattamento di vibroflottazione, con formazione di inclusioni rigide, le colonne di ghiaia, aventi proprietà nettamente migliori del terreno naturale.

Tale trattamento permetterà di ridurre significativamente il rischio di liquefazione, ma non di azzerarlo: alcune lenti localizzate risulterebbero dai calcoli ancora teoricamente liquefacibili nonostante l'intervento in progetto.

In una prima fase progettuale, era stato valutato che, anche se trovati potenzialmente liquefacibili, la liquefazione di quei livelletti negli atti non potesse avvenire perché:

- perché i valori di $F_s < 1$ sono calcolati tutti da prove SPT, la cui interpretazione ai fini delle verifiche a liquefazione è meno precisa perché che non tengono conto, se non in misura ridotta, del contributo di fine (stabilizzante),
- perché gli straterelli sono molto sottili,
- perché gli stessi tendono ad essere lenticolari,
- perché sono confinati tra strati non liquefacibili.

In risposta alla condizione ambientale n°1 del Parere n. 394 del 6 febbraio 2023 della Commissione Tecnica VIA allegato al Decreto Ministeriale n.185 del 11 aprile 2023 del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) attestante la compatibilità ambientale del progetto, è stato effettuato uno studio di ulteriore approfondimento, specifico per le condizioni quali quelle in esame anche 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. In realtà il livello a 51,5 m slm non dovrebbe neppure esser preso in considerazione perché prevalentemente coesivo, tuttavia persistendo un minimo dubbio sulla sua reale granulometria locale si è preferito includere anche il suo eventuale contributo.

Questo ulteriore studio, anche supponendo che questi strati vadano tutti in liquefazione, ha valutato che il cedimento del blocco di terreno sopra che ne deriverebbe è dell'ordine di 3.5 cm e quindi pienamente accettabile dalla struttura che su di esso poggia.

CONSULET SERVIZI S.r.l.

	LA CASELLA (PC)	Document <i>Documento n.</i> PBLCX12974
	CEDIMENTI DA LIQUEFAZIONE POST VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 18.05.23 Sheet <i>Pagina</i> 16 of <i>di</i> 16

BIBLIOGRAFIA

Armijo G.

"Ground improvement to avoid liquefaction risk".

Symposium International sur l'Amelioration des sols en place. Paris, septembre 2004.

Bouassida M., Ellouze S. & Hazzar L.

"Investigating Priebe's method for settlement estimation of foundation resting on soil reinforced by stone columns".

Geotechnics of Soft Soils – Focus on Ground Improvement – Karstunen & Leoni (eds)

© 2009 Taylor & Francis Group, London.

Hayden R.F., Baez J.I.

"State of practice for liquefaction mitigation in North America". Proceedings of the 4th U.S.-Japan workshop on soil liquefaction. Remedial Treatment of potentially liquefiable soils. Tsukuba City, Japan. 1994

Ishihara, K., and Yoshimine, M.

"Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes". Soils and Foundations, 1992, 32(1): 173–188.

Priebe H. J., Grundbau K.

"The design of vibro replacement". Ground Engineering – December 1995

Priebe H. J., Grundbau K.

"Vibro replacement to prevent earthquake induced liquefaction". Ground Engineering – September 1998

Zhang G., Robertson P.K., and Brachman R.W.I.

"Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground". - Can. Geotech. J. 39: 1168–1180 (2002)