



GLOBAL POWER GENERATION E&C

RELAZIONE TECNICA

Document / Documento
PBPCX12857Sheet
Pagina **1** of
di **22**PROJECT
Progetto**CENTRALE TEODORA**
Porto Corsini - RAVENNASecurity Index
Indice Sicurezza**Riservato
Aziendale**TITLE
Titolo**EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA**
TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONECLIENT
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 RichiestoSYSTEM
Sistema**00B**DOCUMENT TYPE
Tipo Documento**TL**DISCIPLINE
Disciplina**C**FILE
File**PBPCX12857 00**

REV

DESCRIPTION OF REVISIONS / Descrizione delle revisioni

00 PRIMA EMISSIONE



COMMESSA JOB	DATA Date	IDENTIFICATIVO DOCUMENT CODE	REDATTO PREPARED	CONTROLLATO CHECKED	APPROVATO APPROVED
249	22/12/21	R.249-19.00	C. Riva	A. Garassino	A. Garassino

via Elia Lombardini, 10 - 20143 Milano
phone: +39 02-38.24.82.30 - e-mail: geo.consulet@consulet.it

00	22.12.21	TR															
			CONSULET														
REV	Date Data	Scope Scopo	Prepared by Preparato	Co-operations Collaborazioni								Approved by Approvato	Issued by Emesso				

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document Documento n. PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet of Pagina 2 di 22

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	3
2.	DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO	4
2.1	DOCUMENTI.....	4
2.2	NORMATIVE.....	4
3.	STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO E STRATI LIQUEFACIBILI	5
4.	TRATTAMENTO IN PROGETTO.....	10
4.1	DESCRIZIONE DELLA TECNOLOGIA.....	10
4.2	MATERIALE DI RIEMPIMENTO.....	11
4.3	GEOMETRIE IPOTIZZATE	11
4.4	MATERASSO RIPARTITORE	19
5.	CONCLUSIONI	20
	BIBLIOGRAFIA.....	21

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet of <i>Pagina</i> 3 <i>di</i> 22

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.

A prescindere dal materiale che costituirà il rilevato necessario al raggiungimento della quota di progetto (+1.80 m s.l.m.), il terreno sul quale sorgerà l'impianto è costituito da una successione di livelli dapprima limosi e poi sabbiosi, passanti a limoso-argillosi oltre i 9 m di profondità dall'attuale piano campagna (si veda la sezione 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 prevede 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 9 m dal piano campagna esistente.

Considerate le caratteristiche geotecniche dei terreni in sito, la tipologia di trattamento ritenuta più idonea al fine di ridurre il rischio di liquefazione è quella della vibroflottazione/vibrosostituzione: questa tecnologia, consistente nella realizzazione di colonne in ghiaia disposte su di una maglia regolare con interasse definito da progetto, consente di migliorare le caratteristiche di addensamento dei terreni in sito e al contempo di creare vie preferenziali per lo smaltimento delle pressioni interstiziali.

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document Documento n. PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet Pagina 4 of di 22

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.

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 Documento n. PBPCX12857	
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21	Sheet Pagina 5 of di 22

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.

Al disotto di un primo strato di riporto ghiaioso-sabbioso di spessore inferiore al metro (Livello R), sono stati riscontrati nell'ordine uno strato di limo argilloso, avente spessore medio di 2 m (strato L1), sabbie fini, limose (strato L2) sino a circa 9 m di profondità dal piano campagna attuale, limi argillosi di consistenza medio-bassa (strato L3) passanti ad argilla mediamente compatta oltre i 27 dal p.c. (strato L4).

In figura 3.1 è mostrata la stratigrafia di progetto, stralciata dal Rif. [3]; essa non tiene conto della presenza di altro materiale di riporto antropico che andrà a costituire il rilevato necessario per innalzare il piano campagna attuale a + 1.80 m sul livello del mare, quota del piazzale finito.

La posizione della falda è assunta coincidente col livello medio del mare, ossia si trova ad una profondità massima di 0.80 m dal piano campagna attuale.

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

Come spiegato nel dettaglio nella Relazione Geologica di Rif. [1], a seguito di analisi dedicata condotta specificatamente sui terreni di fondazione è risultato che per essi esiste una forte suscettibilità alla liquefazione almeno fino alla profondità di 9.0 metri dal p.c. attuale; al di sotto di tale profondità il rischio è invece trascurabile.

Con riferimento alla figura 3.1 si individua come livello potenzialmente liquefacibile quello delle sabbie fini / limose poco addensate (strato L2).

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 eseguite in prossimità dell'area di intervento.

Risulta evidente, soprattutto dalla figura 3.3, che il terreno suscettibile di liquefazione al verificarsi del sisma di riferimento è quello compreso entro le profondità di 3.0 e 9.0 metri da p.c. attuale (corrispondenti in quote assolute a circa -2÷-8 m dal l.m.m.).

Spostandosi più in profondità, il rischio di liquefazione si riduce sensibilmente; in particolare il grafico derivante dall'interpretazione della prova CPTu mostra potenziale liquefazione solo di alcune sottili lenti sabbiose che comunque, dati il modesto spessore e le condizioni di confinamento da parte del terreno circostante, non presentano concreta possibilità di liquefazione.

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet of <i>Pagina</i> 6 <i>di</i> 22

Il grafico derivante dall'interpretazione delle prove SPT, invece, mostra anche a profondità maggiori dei 9 metri diversi punti con valore di FS inferiore a 1.25 (ma comunque superiori a 1, con la sola eccezione di un punto nel sondaggio S2). Questa discrepanza nei risultati può essere attribuita al fatto che le formule utilizzate per l'interpretazione delle prove SPT non tengono conto del contenuto di fine del materiale oltre il 35%. Pertanto, considerando che nel caso in esame i terreni sotto i 9 m di profondità hanno comportamento chiaramente coesivo, si ritiene ragionevole considerare il rischio di liquefazione esistente solo fino alla già citata profondità di 9.0 m.

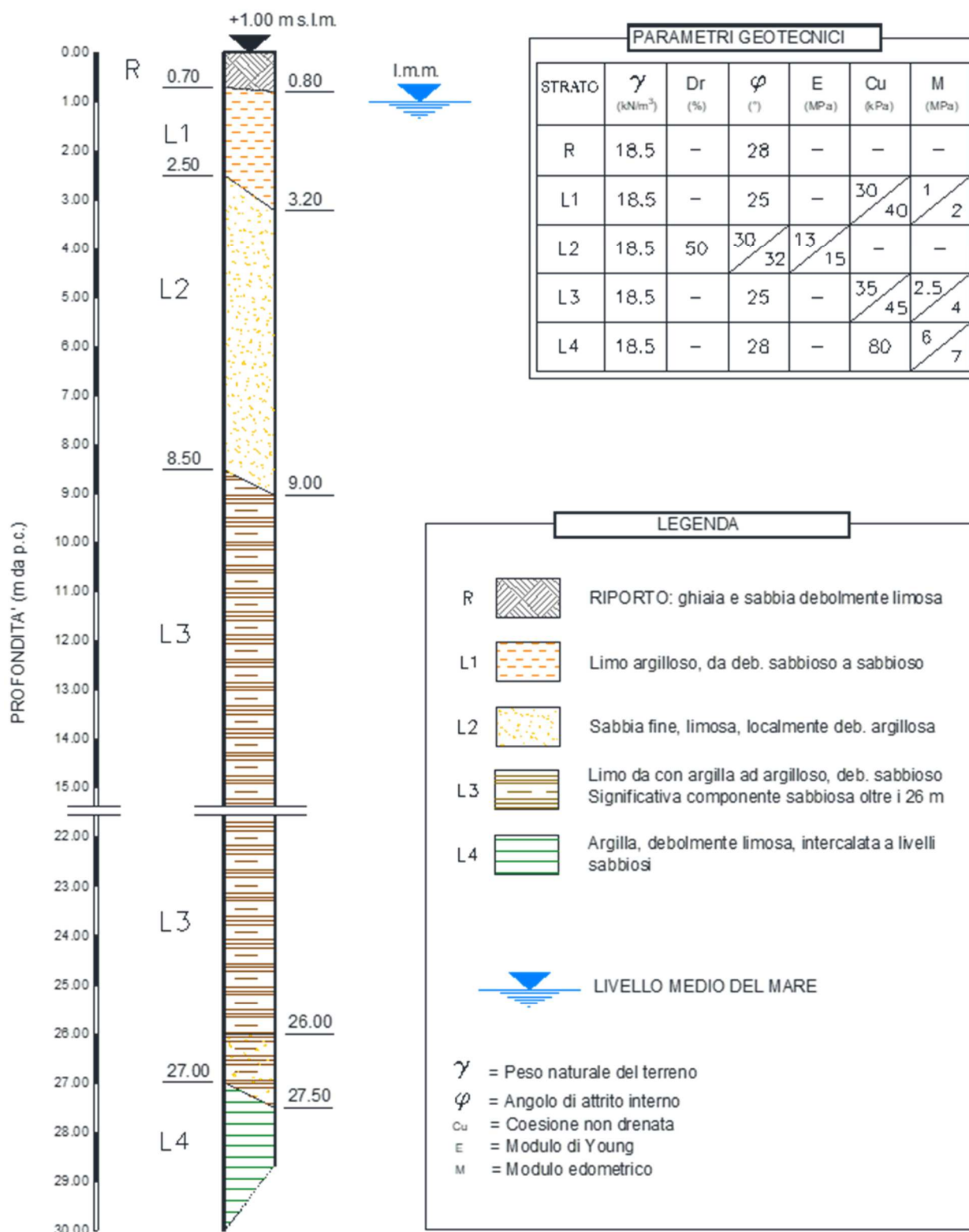


Figura 3.1 - Stratigrafia di riferimento per le aree di intervento

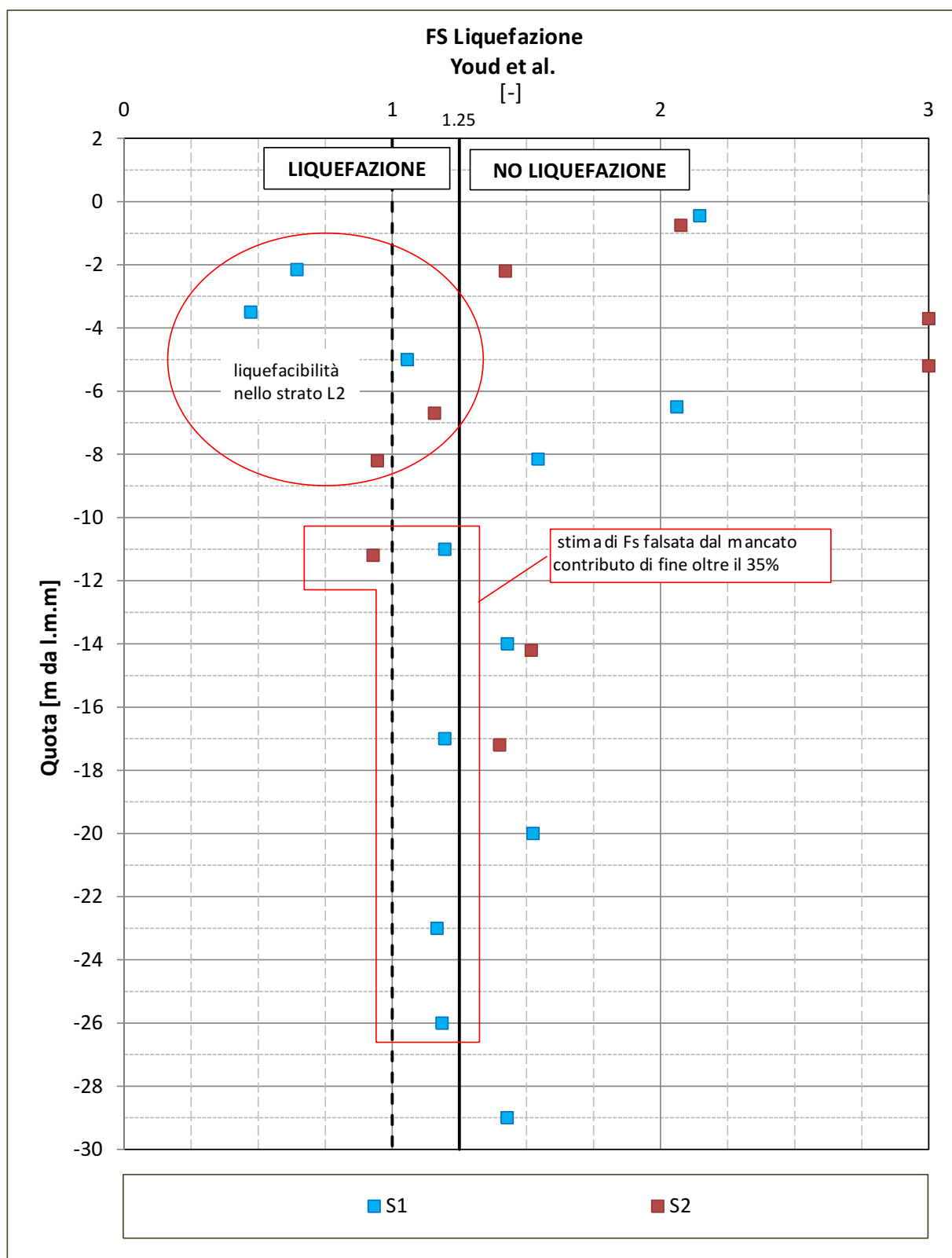


Figura 3.2 - Fattore di Sicurezza nei confronti del rischio di liquefazione - da SPT

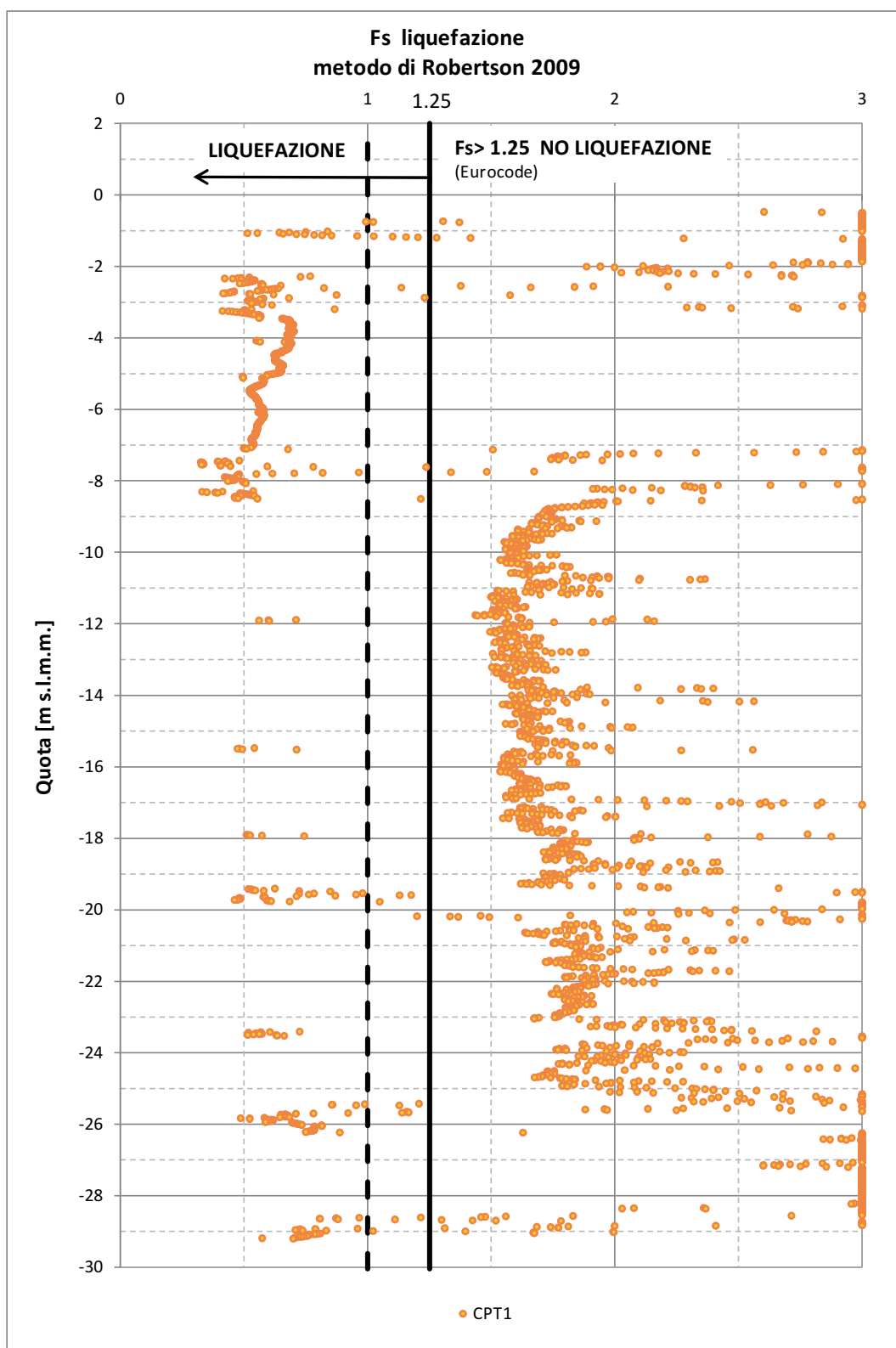


Figura 3.3 - Fattore di Sicurezza nei confronti del rischio di liquefazione – da CPTu

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet <i>Pagina</i> 10 of 22 <i>di</i>

4. TRATTAMENTO IN PROGETTO

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.

4.1 DESCRIZIONE DELLA TECNOLOGIA

La tecnica della vibroflottazione/vibrosostituzione consiste essenzialmente nella compattazione del terreno attraverso l'infissione di un attrezzo, chiamato "Vibroflot", che, trasmettendo vibrazioni al terreno e proiettando in esso gli elementi ghiaiosi immessi ne realizza un addensamento, migliorandone in tal modo le caratteristiche meccaniche (sia in termini di resistenza, sia in termini di deformazione). Il foro che si viene a formare durante l'avanzamento del vibroflot viene riempito di materiale granulare rispondente al fuso granulometrico di progetto che viene a sua volta compattato ed addensato dall'azione vibrante.

Il diametro medio delle colonne è usualmente pari 60 cm. Giova però ricordare che il diametro effettivo dipende, oltre che dalle caratteristiche dell'attrezzatura impiegata (essenzialmente la potenza), dalle modalità di esecuzione e dal tipo di terreno. Nel caso specifico in esame è consigliabile operare la vibroflottazione ad umido, cioè con ausilio di getti d'acqua per ottenere colonne di diametro maggiore (80 ÷ 90 cm) e quindi più efficienti anche se questa scelta comporta maggior impegno nella gestione del cantiere.

L'attrezzatura è essenzialmente costituita dal "Vibroflot", che viene appeso ad una gru; gli elementi vibranti si trovano all'interno della parte terminale del "Vibroflot".

Il "Vibroflot", dopo essere stato posizionato in corrispondenza del centro della colonna da eseguire, viene fatto penetrare fino alla profondità di progetto.

Quando la profondità di progetto viene raggiunta il "Vibroflot" viene ritratto lentamente per tratti di lunghezza prestabilita (fase di "withdrawing") e viene immesso il materiale granulare all'interno del foro. Il materiale è immesso dall'alto direttamente nel foro e scende per gravità nel trattamento ad umido, passando attraverso un tubo interno al vibratore per gravità ma con l'ausilio dell'aria compressa nel trattamento a secco.

In questa fase nei terreni granulari come è il caso nostro, avviene la compattazione della ghiaia immessa e di un anello di terreno circostante il foro, per mezzo della vibrazione generata da una serie di masse eccentriche rotanti.

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet 11 of <i>Pagina</i> di 22

La fase di compattazione per ciascuno step termina quando il consumo di energia misurato indica che si è raggiunto il grado di addensamento prescritto.

Per maggiori dettagli sulle procedure esecutive si dovrà fare riferimento a specifiche tecniche/capitolati appositamente redatti.

4.2 MATERIALE DI RIEMPIMENTO

Il materiale che dovrà essere utilizzato per la formazione delle colonne dovrà essere una ghiaia con buone caratteristiche meccaniche, caratterizzata da clasti puliti, di diametro compreso tra 20 mm e 80 mm (20÷45 mm nel caso di trattamento a secco), rientrante nel fuso sotto riportato.

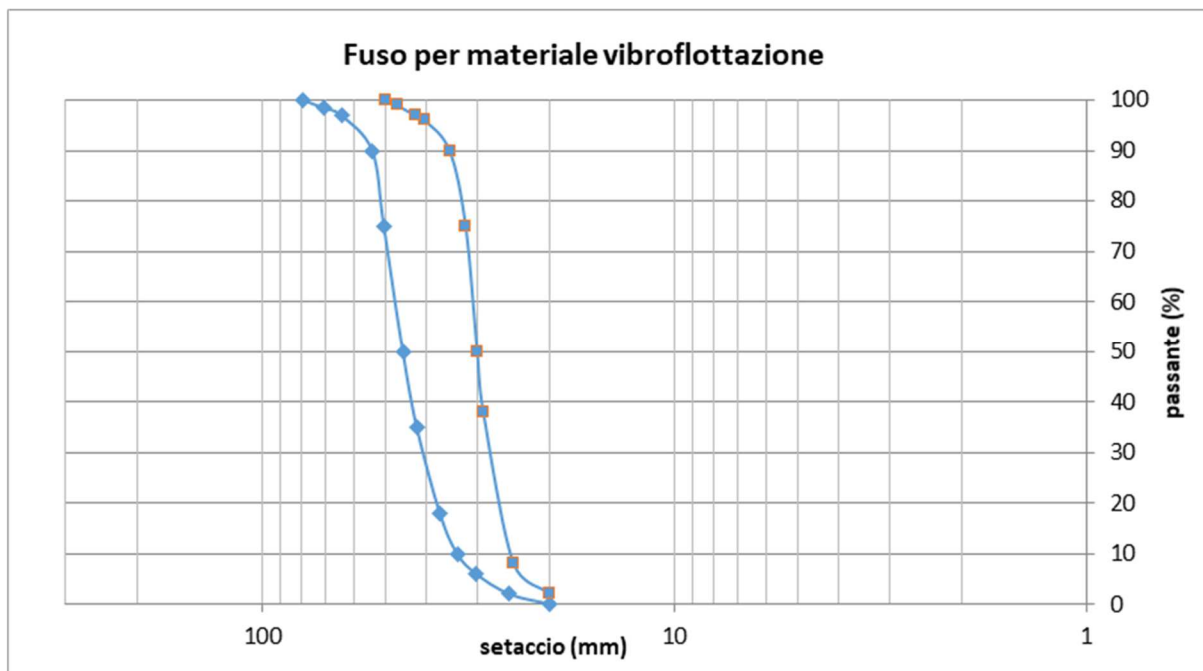


Figura 4.2.1 – Fuso per materiale di riempimento (trattamento a umido)

4.3 GEOMETRIE IPOTIZZATE

Il dimensionamento della geometria di progetto (diametro delle colonne, forma della maglia e loro spaziatura) viene condotto con riferimento alla procedura definita da Priebe nel 1995.

Secondo tale procedura per eventi sismici di breve durata è possibile definire in maniera semplificata un coefficiente di miglioramento n_0 dovuto al trattamento di vibroflottazione mediante il grafico di figura 4.3.1. Tale coefficiente n_0 dipende dall'area di competenza della singola maglia

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet <i>Pagina</i> 12 of <i>di</i> 22

di intervento (A), dall'area di ciascuna colonna vibroflottata (A_c) e dall'angolo di attrito del materiale di riempimento (ϕ_c), come da formula qui sotto specificata:

$$n_0 = \frac{1+A_c}{A} \left[\frac{1}{K_{ac}(1-A_c/A)} - 1 \right] \quad \text{con } K_{ac} = \tan^2 (45^\circ - \phi_c / 2).$$

L'inverso del coefficiente di miglioramento equivale al rapporto tra lo sforzo residuo che si scarica al suolo tra le colonne (p_s) e la pressione (p) che si sarebbe distribuita uniformemente senza il trattamento di vibroflottazione. Tale rapporto ($\alpha = p_s/p$) può essere usato come fattore di riduzione del rischio di liquefazione; esso si deduce dal grafico di figura 4.3.2 o dalla seguente formula:

$$\alpha = \frac{p_s}{p} = \frac{1}{n_0} = \frac{K_{ac} \cdot (1 - A_c/A)}{A_c/A + K_{ac} \cdot (1 - A_c/A)^2}$$

Assumendo infatti che il carico che grava sulle colonne non contribuisce alla liquefazione, Priebe suggerisce di usare il fattore α per ridurre il parametro di carico sismico CRS (Cycling Stress Ratio) che rapportato alla resistenza alla liquefazione CRR (Cyclic Resistance Ratio) definisce appunto il coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione. Maggiori dettagli sulle procedure di calcolo di questi parametri sono contenuti nella relazione geologica di Rif. [1] a cui si rimanda.

$$F_{S_{post\ trattamento}} = \frac{CRR}{\alpha CSR}$$

Nel caso in esame, poiché il rischio di liquefazione stimato è particolarmente elevato (F_s dello strato L2 è mediamente inferiore a 0.6) occorre prevedere un trattamento importante, con maglie poco spaziate e colonne di diametro maggiore rispetto ai "normali" 60 cm.

Al fine di ottimizzare costi e benefici, verranno pertanto realizzate colonne in ghiaia di diametro 80 cm, lunghe almeno 10 m (così da intestarsi sicuramente nello strato limoso argilloso non liquefacibile), disposte con maglia quadrata di lato 1.80 m. Al centro della maglia quadrata verrà realizzata una colonna aggiuntiva, con uguale diametro, ma più corta (4.5 m) al fine di trattare in modo più incisivo la porzione più superficiale ove il rischio di liquefazione è più elevato.

Così facendo infatti si avrà una riduzione del rischio di liquefazione di circa il 70% nei metri più superficiali, potenzialmente più esposti, ed un miglioramento più contenuto ma comunque molto rilevante in profondità pari al 48%.

In figura 4.3.3 è schematizzata la geometria dell'intervento proposto sia in pianta che in sezione; per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato grafico di progetto (Rif.[4]).

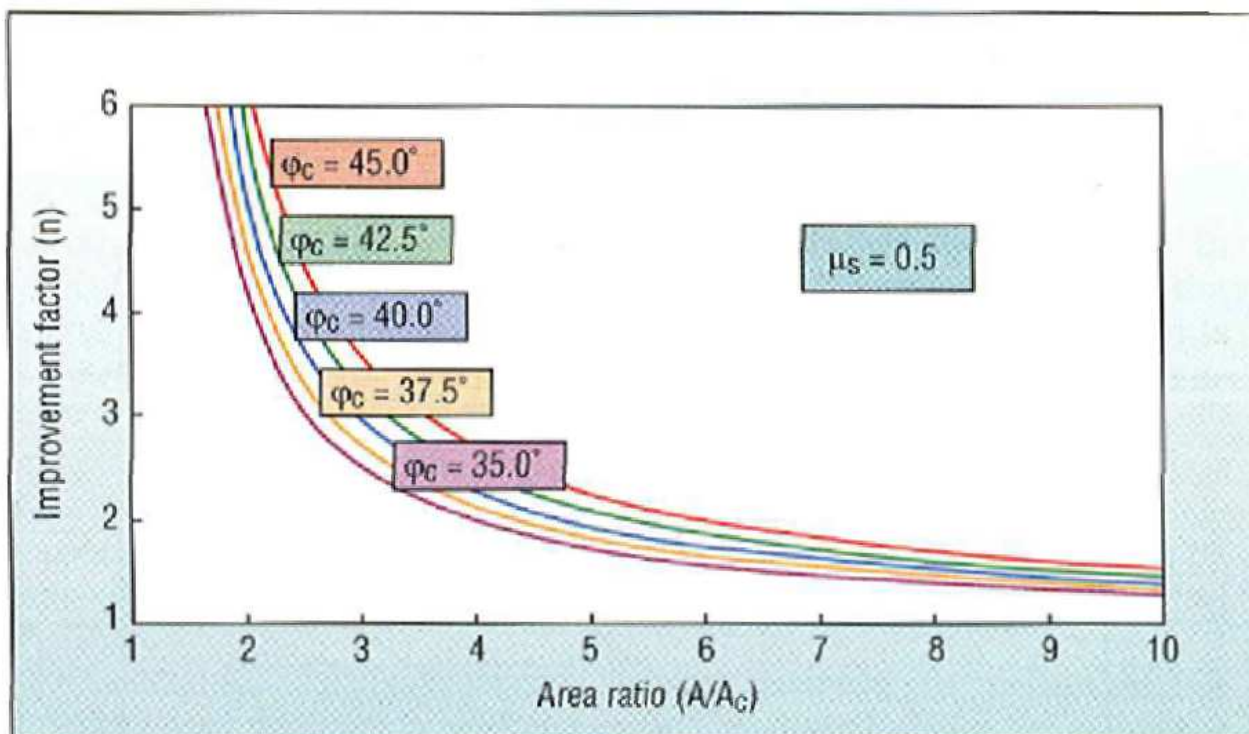


Figura 4.3.1 – Abaco di progetto per il calcolo del coefficiente di miglioramento

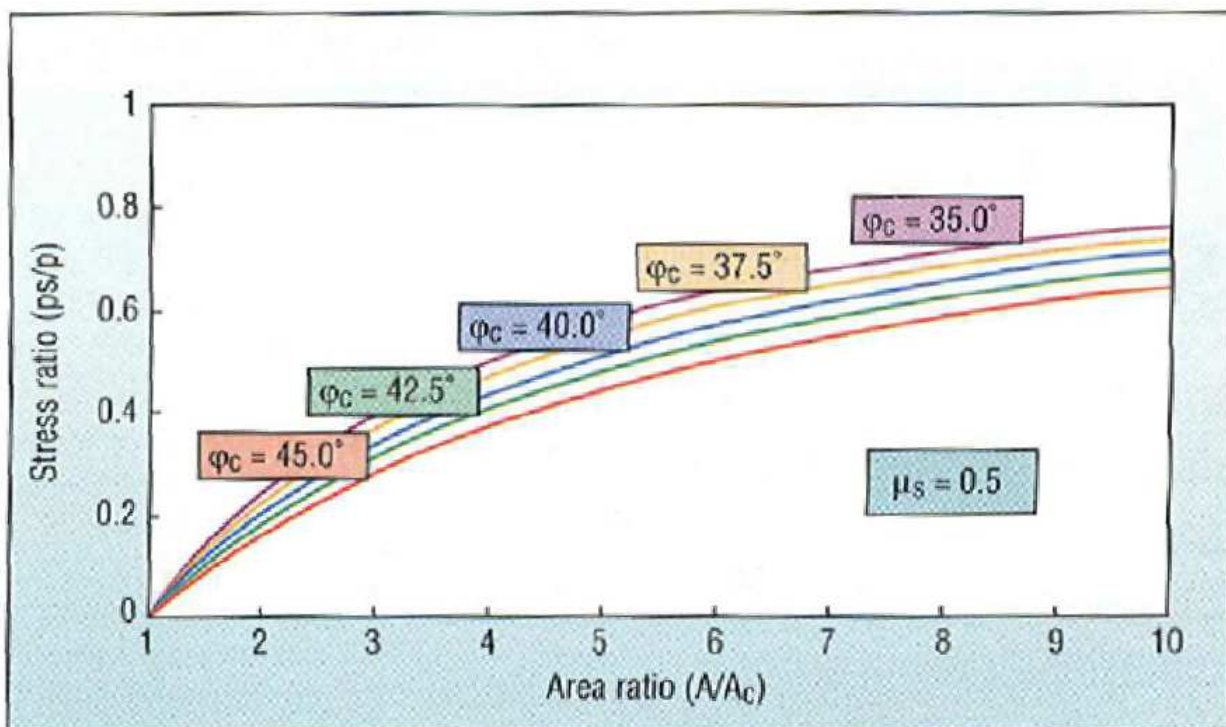
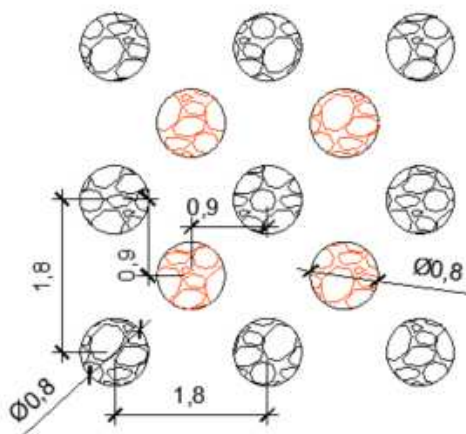


Figura 4.3.2 – Abaco di progetto per la definizione dello sforzo residuo sul terreno tra le colonne

VISTA PLANIMETRICA



SEZIONE

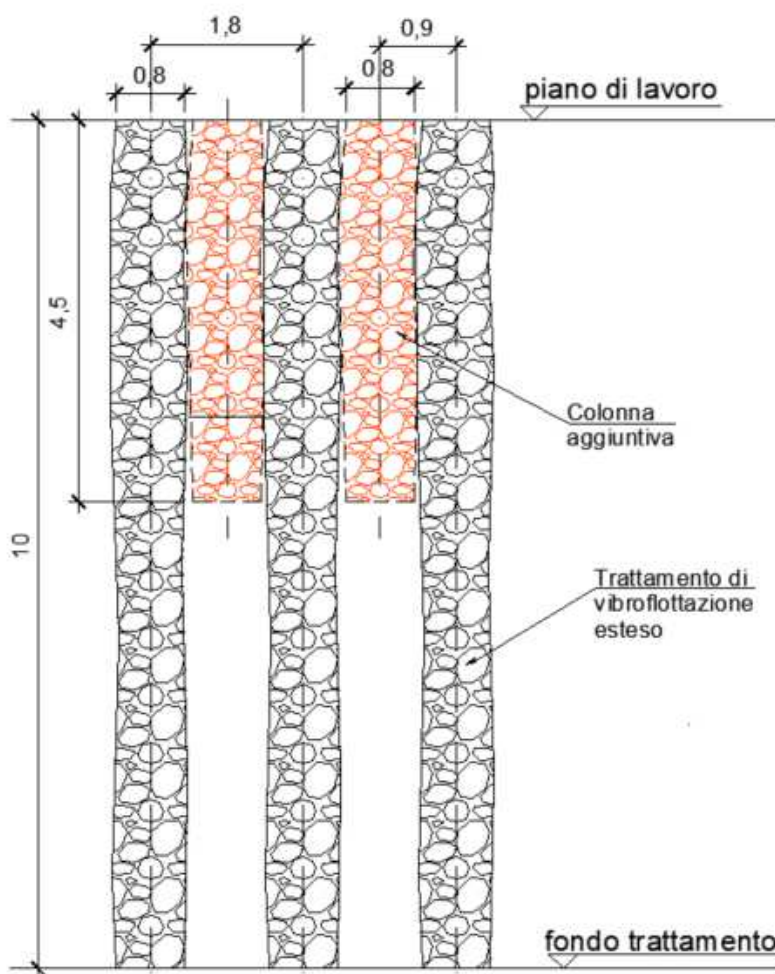


Figura 4.3.3 – Intervento proposto: pianta e sezione

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document Documento n. PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet Pagina 15 of di 22

Nella tabella sottostante vengono riassunte le principali grandezze di calcolo unitamente ai risultati ottenuti in funzione della profondità dal livello medio del mare.

Profondità m da l.m.	D _{colonna} m	Ac m ²	A m ²	A/Ac -	K _{ac} -	α -	Riduzione rischio -	F _S medio liquef. -
Fino a- 3.5	0.8	0.503	1.62	3.22	0.17	0.30	70%	>1.25
3.5÷8.0 (*)	0.8	0.503	3.24	6.45	0.17	0.52	48%	1.13

Tabella 4.3.I – Riassunto principali grandezze di calcolo

(*) Il trattamento in progetto ha profondità di 9 m dal l.m.m., ma nelle analisi non si tiene conto del metro di approfondimento richiesto per intestare le colonne nello strato limoso-argilloso non liquefacibile

Nella figura 4.3.4 sono confrontabili graficamente il coefficiente di sicurezza calcolato per il terreno in sito pre-trattamento (si vedano il Capitolo 3 e la relazione geologica di Rif. [1]) e quello stimato da progetto per il post-trattamento.

In figura 4.3.5 invece è riportato un grafico che mette in evidenza il contributo delle colonne aggiuntive corte rispetto ai risultati che si sarebbero ottenuti con la sola maglia quadrata di colonne lunghe.

Dall'osservazione delle suddette figure si evince che il trattamento in progetto consente di mettere in totale sicurezza ($F_s > 1.25$ e assenza di rischio) i terreni più superficiali, sino - 5 m dal livello del mare, e di portare F_s ad un valore almeno unitario a profondità maggiori (a meno di lenti sottili e localizzate).

Per non annullando completamente il rischio secondo gli standard definiti dall'Eurocodice (limite di sicurezza di 1.25), l'intervento in progetto consente di abbattere drasticamente il Potenziale di Liquefazione **PL**, come mostrato in figura 4.3.6, e di ridurre l'Indice del Potenziale di Liquefazione (**IPL**) da 16 (> 15 rischio molto alto) a 1.22 (<2 rischio basso).

$$PL = F(z) \cdot w(z) \qquad IPL = \int_0^{z^{cr}} PL(z) \cdot dz$$

dove:

z = profondità da piano campagna

$W(z) = 10 - 0.5 z$ (da Iwasaki 1982 per una profondità critica di 20 m)

$$F(z) = \begin{cases} 0 & \text{per } F_s \geq 1.2 \\ 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_s) & \text{per } 0.95 < F_s < 1.2 \\ 1 - F_s & \text{per } F_s \leq 0.95 \end{cases} \qquad (\text{Sonmez 2003})$$

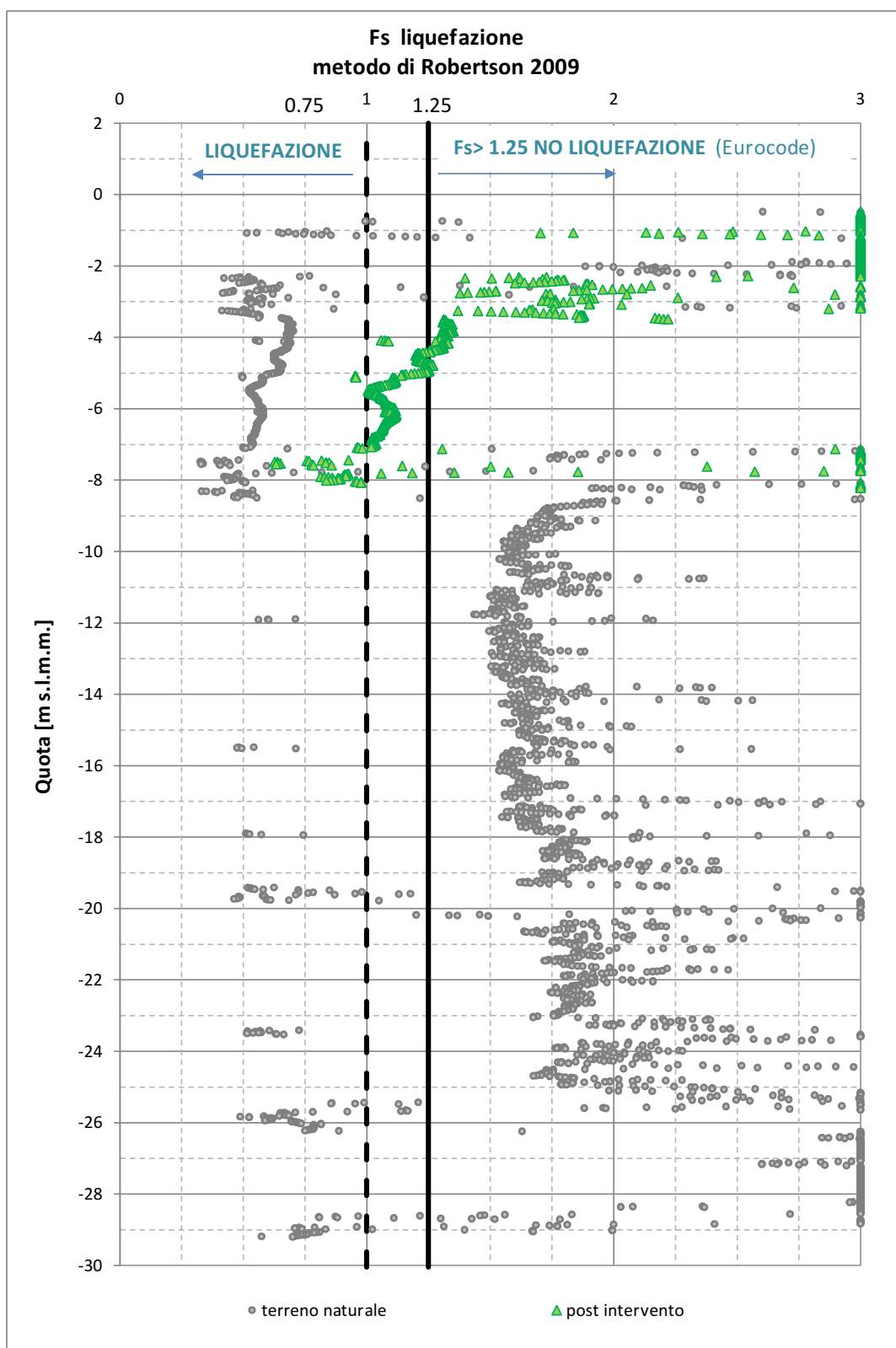


Figura 4.3.4 - Fattore di Sicurezza a liquefazione: confronto teorico pre e post trattamento

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet 17 of <i>Pagina</i> di 22

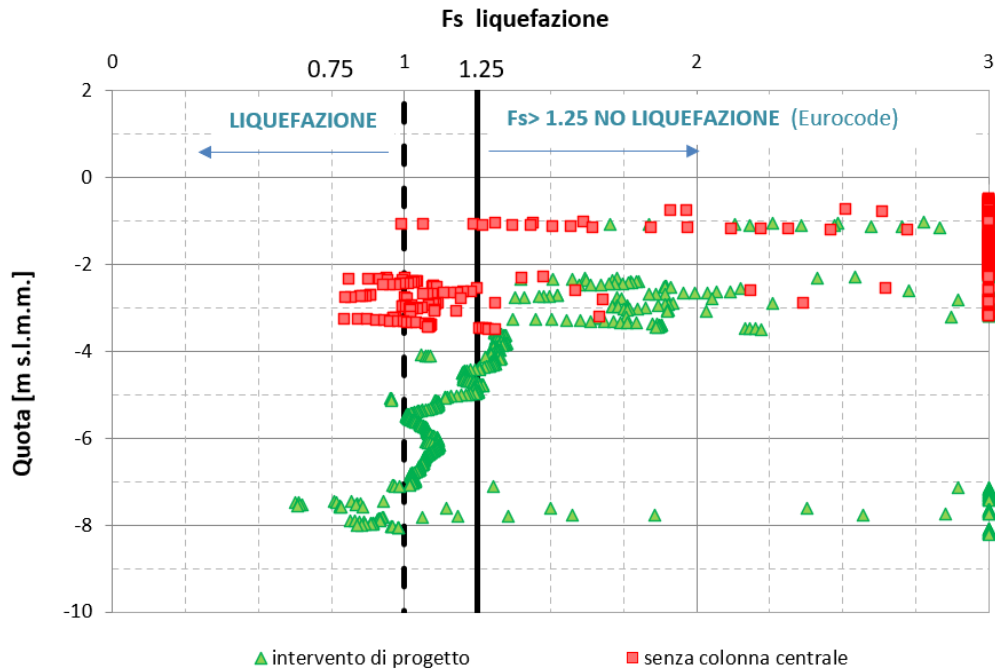


Figura 4.3.5 - *Fattore di Sicurezza a liquefazione: confronto teorico tra il trattamento in progetto completo e quello senza la colonna aggiuntiva più corta (dettaglio sullo strato liquefacibile)*

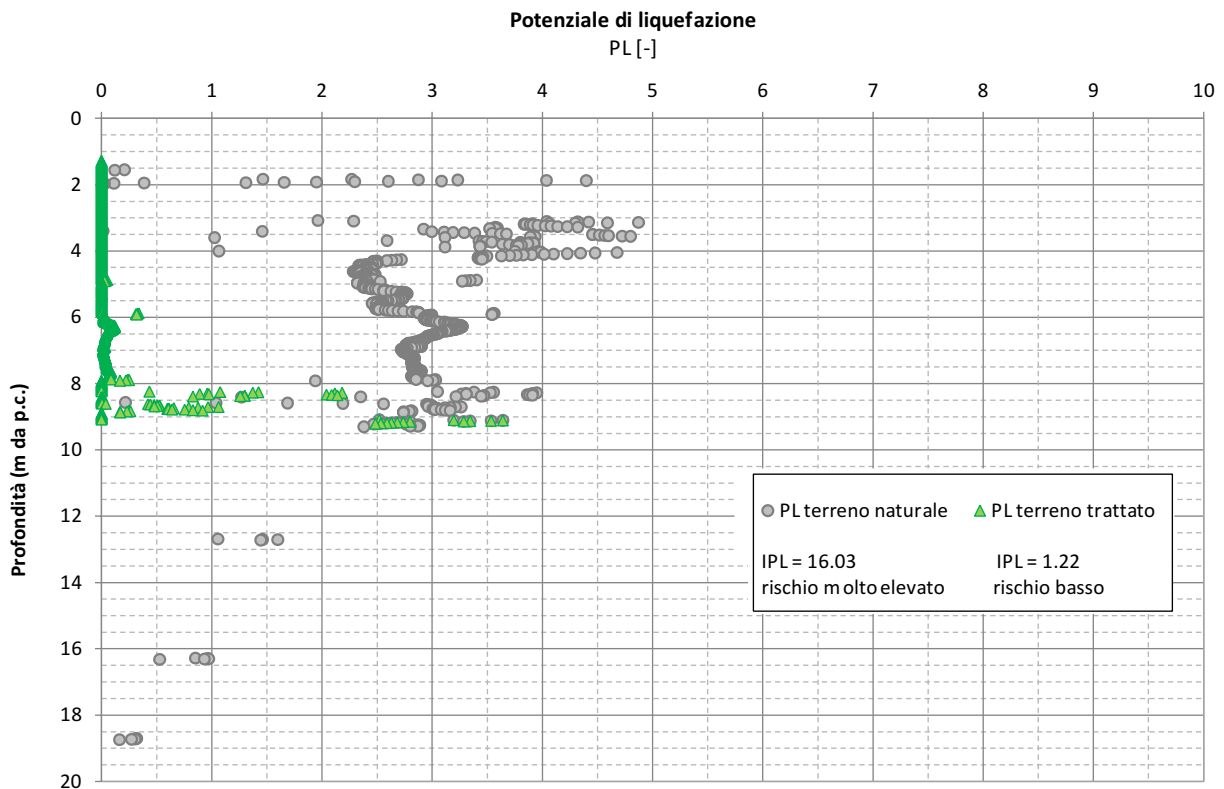


Figura 4.3.6 - *Potenziale di liquefazione: confronto pre e post trattamento*

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.

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document Documento n. PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet 18 of Pagina di 22

Anche la probabilità di liquefazione (si veda la figura 4.3.7) passa dagli attuali valori compresi tra il 70% ed il 100% (liquefazione da molto probabile a quasi certa) ai valori di progetto inferiori quasi ovunque al limite del 35% (liquefazione improbabile).

Nel caso in esame la probabilità di liquefazione P_{bl} è calcolata in funzione del coefficiente di sicurezza F_s secondo la relazione di Juang (2000) con i parametri A e B calibrati da Li nel 2006:

$$P_{bl} = \frac{1}{1 + \left(\frac{F_s}{A}\right)^B}$$

con:

- A = 0.81
- B = 5.45

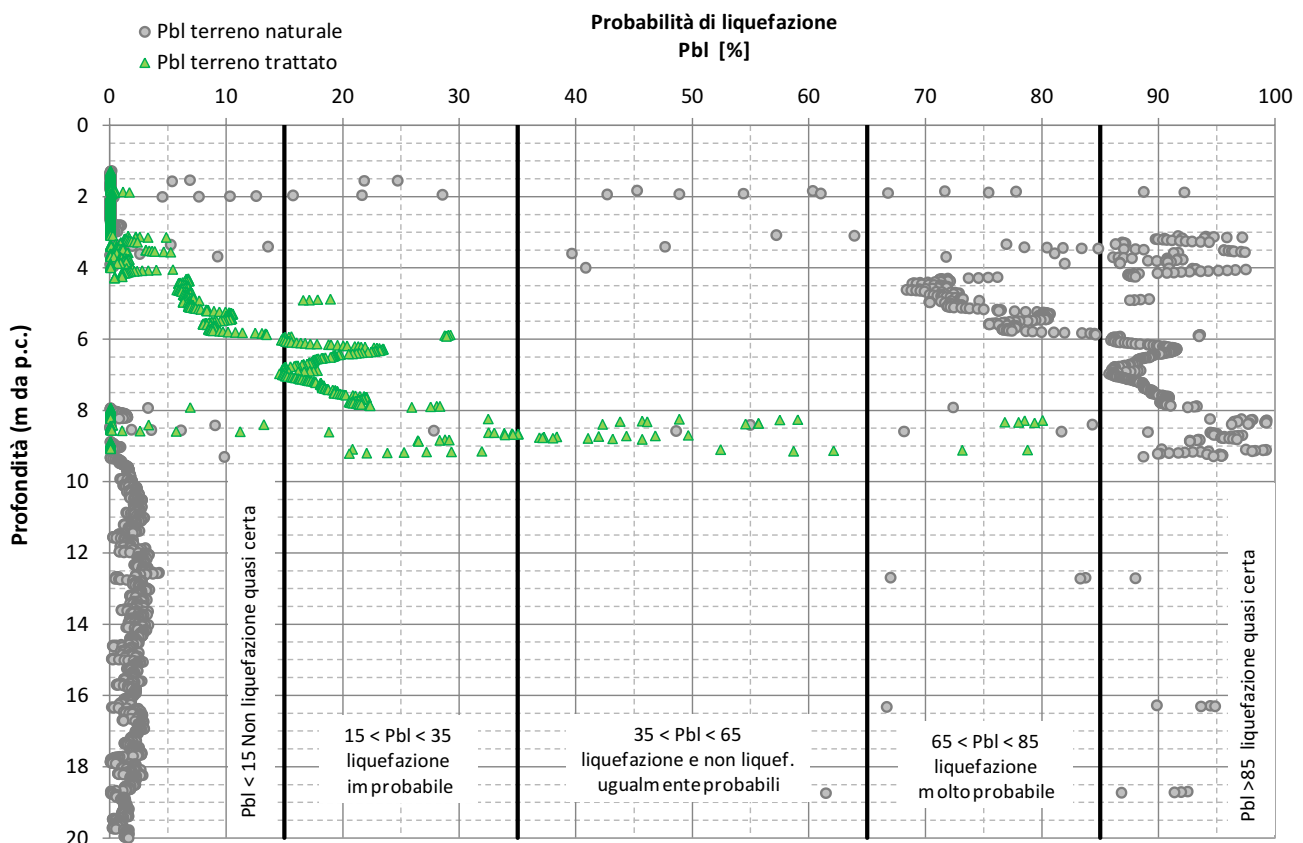


Figura 4.3.7 – Probabilità di liquefazione: confronto pre e post trattamento
 ($P_{bl} < 35\% \rightarrow$ liquefazione improbabile, $P_{bl} > 65\% \rightarrow$ liquefazione da molto probabile a quasi certa)

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet of <i>Pagina</i> 19 <i>di</i> 22

Da tutto quanto sin qui esposto la vibroflottazione in progetto è ritenuta adeguata alla messa in sicurezza dei terreni di fondazione nei confronti del pericolo di liquefazione.

L'effettiva efficacia del trattamento qui dimensionato tuttavia dovrà preventivamente essere verificata in sito mediante esecuzione di un campo prova, da effettuare prima dell'inizio dei lavori: maggiori dettagli in merito sono contenuti nel documento di Rif. [4].

Sulla base di un confronto tra le prove di controllo da effettuare pre e post trattamento nel campo prova, il progetto qui delineato verrà confermato o, eventualmente, revisionato.

4.4 MATERASSO RIPARTITORE

Si sottolinea la necessità di mantenere la continuità idraulica dai dreni, cioè le colonne di ghiaia, fino all'uscita alla pressione atmosferica. Per questo motivo, verrà interposto uno strato di ghiaia sulla sommità delle colonne, tra le colonne e le fondazioni, avente la duplice funzione di materasso ripartitore e di materasso drenante con funzione di raccolta e smaltimento acqua veicolata dai dreni.

Nel caso in esame, poiché il piano finito del piazzale in progetto si troverà a quote superiori (1.0 m circa) di quelle attuali, dovrà comunque essere predisposto un rilevato di idonee caratteristiche geomeccaniche e, di conseguenza, la presenza di uno specifico materasso ripartitore costituirà il primo strato di tale opera in terra.

Lo spessore finito del materasso drenante non potrà essere inferiore a 30 cm ed il materiale da impiegare dovrà essere solo granulare con presenza di passante allo 0,0075 nulla.

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet 20 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 22

5. CONCLUSIONI

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

Il terreno di fondazione dell'impianto è costituito, tra le profondità di 3 e 9 m dall'attuale piano campagna, da sabbie fini poco addensate, risultate potenzialmente liquefacibili in caso di forte sisma, quale quello di riferimento (per maggiori dettagli si consulti il Rif. [1]).

In relazione alla stratigrafia del luogo e poiché il coefficiente di sicurezza medio dello strato è molto basso (inferiore a 0.6), per addensare (e quindi stabilizzare) i terreni di fondazione si è ritenuto adeguato un trattamento di vibroflottazione piuttosto intenso. Nello specifico verranno realizzate colonne di ghiaia del diametro di 80 cm, lunghe 10 m, disposte con maglia quadrata ad interasse di 1.80 m. Al centro di ciascuna maglia verrà eseguita una colonna aggiuntiva, sempre di diametro 80 cm, ma più corta (4.5 m).

Tale intervento, pur non essendo sufficiente a portare, su tutta l'altezza del trattamento, il valore del coefficiente di sicurezza contro il rischio di liquefazione al valore richiesto dall'Eurocodice, consente comunque di innalzare il coefficiente di sicurezza complessivamente a valori superiori all'unità. Inoltre, in termini di probabilità di accadimento del fenomeno di liquefazione a seguito della vibroflottazione si passa da una probabilità superiore al 70%, corrispondente a "liquefazione da molto probabile a quasi certa", ad una inferiore al 35%, limite che definisce il fenomeno di liquefazione "improbabile".

La presenza delle colonne di ghiaia, oltre alla limitazione del rischio di liquefazione, creerà vie preferenziali per lo smaltimento delle pressioni interstiziali. Essa, inoltre, contribuirà ad un miglior comportamento meccanico dei terreni e ad una netta riduzione dei cedimenti.

La continuità idraulica delle colonne con la pressione atmosferica per smaltire l'eccesso di pressione interstiziale generato dal sisma è garantita mediante l'interposizione, tra piano di lavoro e rilevato strutturale costruito per raggiungere la quota del piano impianto, di un materasso drenante di spessore ≥ 30 cm che costituirà il primo strato steso del rilevato stesso.

Prima dell'inizio dei lavori sarà necessario eseguire una serie di attività di verifica, controllo e misura (campo prova), al fine di accertare la conformità delle attrezzature, dei materiali e delle procedure operative con quanto qui previsto in progetto e per la verifica dell'efficacia dello stesso.

CONSULET SERVIZI S.r.l.

	PORTO CORSINI - RAVENNA	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet <i>Pagina</i> 21 of <i>di</i> 22

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.

Chung J., Rogers J.D.

"Deterministic and Probabilistic Assessment of Liquefaction Hazards Using the Liquefaction Potential Index and Liquefaction Reduction Number".

Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 143(10) – 2017

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

Iwasaki T., Arakawa T., Tokida K.

"Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes."

Proceedings of the Conf. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Southampton, 1982.

Juang C.H., Chen C.J., Rowosky D.V., Tang W.H.

"CPT-based liquefaction analysis, Part 2: Reliability for design".

Geotechnique 50 n°5 - 2000

Juang, C.H., Jiang, T., Andrus, R.D.,

"Assessing probability-based methods for liquefaction evaluation."

Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 128 (7) - 2002.

Juang C.H., Fang S.Y., Khor, E.H.

"First-Order Reliability Method for Probabilistic Liquefaction Triggering Analysis Using CPT".

Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering - March 2006

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> PBPCX12857
	TRATTAMENTO DI VIBROFLOTTAZIONE	REV. 00 22.12.21 Sheet <i>Pagina</i> 22 of <i>di</i> 22

Juang C.H., Liu C.-N., Chen C.J., Hwang J.-H., Lu C.-C.

"Calibration of liquefaction potential index: A re-visit focusing on a new CPTU model".

Engineering Geology 102 – 2008

Lai S.Y., Hsu S.C., Hsieh M.J.

"Discriminant model for evaluating soil liquefaction potential using cone penetration test data."

Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 130 (12) - 2004.

Li D.K., Juang C.H., Andrus R.D.

"Liquefaction potential index: a critical assessment."

Journal of GeoEngineering, Taiwanese Geotechnical Society 1 (1), 11–24 – 2006

Pasqualini

"Il miglioramento dei terreni granulari per mezzo della vibroflottazione".

X Geotechnical Conference, Torino, 1981.

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

Sonmez H.

"Modification of the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol, Turkey)."

Environmental Geology 44 (7) - 2003.

Toprak S., Holzer T.L.

"Liquefaction potential index: field assessment."

Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE 129 (4) - 2003.