

STUDIO FAGGIOLI ARCHITETTI ASSOCIATI  
ARCH.GIOVANNI FAGGIOLI ARCH.LUCIANA SICCO ARCH.LUCIA FAGGIOLI  
MILANO - VIA MARIO PAGANO N.36 - TEL. 024694462 FAX 0248194083 -

STUDIO GIATTI progettazione immobili residenziale e commerciali  
OCCHIOBELLO (RO) - VIA ERIDIANA N.92 - TEL. 0425.763035 FAX 0425.769812 -

GEOM.GIOVANNI MACCANTI  
FERRARA - VIA C.MAZZA N.10 TEL. 0532209527 FAX 0532247328 -

GEOM.CLAUDIO SERAFINI  
FERRARA - VIA DEI CALZOLAI N.385 TEL. 0532.2720135 FAX 0532.728175 -

# COMUNE DI FERRARA

## P.U.A.

AMBITO 10 ANS-02

FRANCOLINO - VIA CALZOLAI, VIA PAGLIARINI, VIA ZERBINATA

PROPRIETA' E COMMITTENTI

SANT'ANNA COSTRUZIONI SRL

**SANT'ANNA COSTRUZIONI SRL**  
P.tta S. Anna 5 - 44121 Ferrara  
Tel. 0532.243391 - Fax 0532.410209  
Partita IVA 030010384

N.PROTOCOLLO UFF.TECNICO

DOMUSTERRA FERRARA SRL

**DOMUSTERRA FERRARA SRL**  
Via della Ricostruzione 59  
44123 FERRARA  
P.IVA e Cod. Fisc. 01930080385  
Numero REA FE - 210898

I PROGETTISTI

ARCH. FAGGIOLI GIOVANNI  
ORDINE ARCHITETTI DI MILANO N.1153



GEOM.LUCIANO GIATTI  
COLLEGIO GEOMETRI DI ROVIGO N.1215



GEOM.GIOVANNI MACCANTI  
COLLEGIO GEOMETRI DI FERRARA N.1153



GEOM.CLAUDIO SERAFINI  
COLLEGIO GEOMETRI DI FERRARA N.1663



COMUNE DI FERRARA  
SERVIZIO PIANIFICAZIONE TERRITORIALE  
Ufficio Piani Urbanistici Attuativi

16 GIU. 2016

TAVOLA INTEGRATIVA

INDAGINE GEOLOGICA

ELABORATO N. 14A

DATA

28.04.2015

08.06.2016

## **INTEGRAZIONI VOLONTARIE**

### **ADEGUAMENTO RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA P.U.A. FRANCOLINO AL D.G.R. 2193/2015**

#### **Premessa**

1

Nel Maggio 2015 fu redatta dalla sottoscritta una relazione geologica, geotecnica e sismica a corredo di un P.U.A. a Francolino di Ferrara, committenti Sant’Anna Costruzioni S.r.l. e Domusterra Ferrara S.r.l.

Il 21 Dicembre 2015 la Giunta Regionale E.R. ha emanato una delibera, la n. 2193 che rivede l’art. 6 della L.R. n. 20 del 24/3/2000 – Approvazione aggiornamento dell’atto di coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica i Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica” di cui alla deliberazione dell’Assemblea legislativa 2 maggio 2007 n. 112.

Poiché tale delibera è specificatamente riferita agli studi di micro zonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica, si ritiene, per quanto riguarda il P.U.A. in oggetto, in mancanza di uno studio sovraordinato in adeguamento alla medesima delibera, di ottemperare a quanto indicato nell’allegato 2, partendo dal presupposto già dimostrato, ma che si ricalcherà in ottemperanza al 2193, che sia sufficiente un’analisi di secondo livello di approfondimento.

Per quanto riguarda la profondità del substrato rigido H e della velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{SH}$ , si fa riferimento a quanto riportato nella relazione illustrativa dello studio di micro zonazione di III livello redatto dall’Ing. Fioravante per conto del Comune di Ferrara. Per completezza di informazioni, si riporta in stralcio quanto indicato a pag. 19 e 20 del sopracitato studio:

#### 5.4 Profondità dei “contrastati di impedenza significativi

L'insieme di tutte le misure di sismica passiva analizzate (HVSR e ESAC, Albarello et al. 2013) evidenzia la presenza nell'area in esame di due possibili interfacce risonanti. La prima, più superficiale e morfologicamente uniforme in tutta l'area di studio (caratterizzata da frequenza compresa tra 0.7 e 1 Hz), è stata osservata in larga parte della Pianura Padana (soprattutto nella zona ad ovest di Ferrara, interessata dai recenti fenomeni sismici) e potrebbe essere associata alla base dell'ultimo ciclo alluvionale del Pleistocene Medio (Martelli et al., 2013), generalmente tra 70 e 120 m di profondità. Le velocità delle onde di taglio al di sopra di questa interfaccia non superano 600 m/s e sono comprese fra 150 e 300 m/s nelle prime decine di metri dalla superficie. Al di sotto di questa interfaccia, le  $V_s$  raggiungono valori mediamente più elevati, dell'ordine dei 600 m/s.

La seconda interfaccia (frequenza compresa tra 0.2 e 0.5 Hz), che potrebbe corrispondere al tetto delle sabbie marine del Quaternario inferiore (Martelli et al., 2013), ha generalmente una profondità piuttosto elevata nella Zona Sud, Est e Centro (profondità dell'ordine di parecchie centinaia di metri, massime a Sud e appena minori nelle Zone Est e Centro) ma è caratterizzata da un brusco innalzamento a nord-ovest della città di Ferrara (dove potrebbe essere associata al tetto delle Marne Mioceniche, Martelli et al., 2013), dove raggiunge quote dell'ordine del centinaio di metri nella località di Casaglia e si confonde con l'interfaccia più superficiale (le curve HVSR sono caratterizzate da un unico picco di ampiezza elevata). Inoltre, i risultati delle acquisizioni HVSR

realizzate lungo l'argine del Po a ovest e a est di Casaglia, sembrano indicare una forma di struttura anticlinale che in direzione SSE si incunea fra il Po (Zona N3) e la cinta muraria rinascimentale dove comincia ad immergersi nuovamente. I valori di velocità delle onde S che caratterizzano i terreni al di sotto di questa seconda interfaccia sono maggiori di 800 m/s, con contrasti d'impedenza significativi rispetto ai materiali più superficiali, che rendono questa interfaccia potenzialmente responsabile di maggiori fenomeni di amplificazione del moto, quand'essa s'avvicina alla superficie, come avviene nella Zona Nord dell'area indagata.

Per il calcolo delle  $V_{s30}$  ci si è avvalsi delle prove SCPTU eseguite dalla scrivente a corredo del POC. La  $V_s 30$  è risultata pari a:

$$V_{s30} = 196 \text{ m/sec (da p.c. a -30 m)}$$

Da cui si evince che il valore ottenuto, corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{spt} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_u < 250$  kPa nei terreni a grana fina)

## ANALISI RISCHIO LIQUEFAZIONE

Nella relazione del maggio 2015, il calcolo dell'indice di liquefazione è stato effettuato col metodo di Seed ed Idriss. Con tale metodo, tutti gli indici di liquefazione risultavano prossimi allo 0. Si riporta, in stralcio, quanto scritto nella relazione del maggio 2015:

*I valori riscontrati (calcolati sulle prove approfondite da 20 a 30 metri) risultano i seguenti:*

N. CPT	1	2	5	7	8	9	12
$I_L$	0,05	0,44	0,03	0,02	0,09	0,29	0,00

*Si tratta chiaramente di valori puntuali riferiti a 7 prove CPT. Tuttavia, considerate le caratteristiche geologiche generali del sito, risultano ampiamente rappresentativi di tutto il volume significativo. Facendo riferimento alla prog. 112 della RER, tutti i valori sono riferibili ad una **liquefazione non probabile**.*

E' stato riefettuato il calcolo considerando i nuovi parametri indicati dalla delibera 2193. ossia:

**PIANURA 2:** settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.:

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

Pianura 2. Tabella dei Fattori di Amplificazione **PGA, SI1, SI2 e SI3**.

La variabile  $F(z)$  vale (Sonmez, 2003):

$F(z) = 0$	per	$F_L \geq 1.2$
$F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L)$	per	$1.2 > F_L \geq 0.95$
$F(z) = 1 - F_L$	per	$F_L \leq 0.95$

Il metodo di calcolo scelto è quello di Robertson & Wride.

4

### Metodo NCEER, Robertson & Wride (1998)

Il metodo NCEER, si basa sull'utilizzo dell'indice di comportamento per il tipo di suolo  $I_c$ , calcolato mediante la formula:

$$I_c = [(3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2]^{0,5} \quad (\text{eq.1})$$

con:

$q_c$ : resistenza alla punta misurata in situ;

$P_a$ : tensione di riferimento (100Kpa) nelle stesse unità di misura di  $\sigma'_{v0}$ ;

$f_s$ : attrito laterale del manicotto;

$n$ : fattore dipendente dal tipo di suolo;

$Q$ : resistenza di punta normalizzata;

$R_f$ : rapporto d'attrito o di frizione o delle resistenze.

$$Q = \left( \frac{q_c - \sigma'_{v0}}{P_a} \right) \cdot \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \quad (\text{eq.2})$$

$$R_f = \left( \frac{f_s}{q_c - \sigma'_{v0}} \right) \cdot 100 \quad (\text{eq.3})$$

Inizialmente si assume  $n = 1$ , come per un suolo argilloso e si procede al calcolo nell'eq. 1. Se  $I_c > 2,6$  il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma dato che il suolo non è liquefacibile. Se  $I_c \leq 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi assunta è errata e  $I_c$  deve essere ricalcolato nuovamente con la seguente formula:

$$Q = \frac{q_c}{P_a} \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

Si presume che il terreno sia granulare e si assume  $n = 0,5$ . Se è ancora  $I_c \leq 2,6$ , significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare. Se invece  $I_c > 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso.  $I_c$  deve essere nuovamente ricalcolato nell'eq.1 ponendo  $n = 0,75$ . Calcolato  $I_c$ , si procede con la **correzione della resistenza alla punta misurata**  $q_c$  mediante la seguente espressione:

SILGEO Studio geologico di M. Sileo

Via Torun 3/c – 44123 Ferrara

Tel 0532/472702 – 0532/707028 – fax 0532/473579 – mobili 335/314457 – 335/6559327

Email [info@silgeo.it](mailto:info@silgeo.it) – [www.silgeo.it](http://www.silgeo.it)

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

dove n è lo stesso del calcolo di IC.

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene valutata mediante la seguente procedura: se il metodo utilizzato è il Robertson e Wride classico:

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N}$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88$$

se il metodo utilizzato è il Robertson e Wride modificato:

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1-K_c} q_{c1N}$$

dove Kc dipende dal contenuto di fine, FC (%):

Kc = 0 per FC ≤ 5

Kc = 0,0267(FC - 5) per 5 < FC ≤ 35

Kc = 0,8 per FC > 35

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (CRR7,5) si calcola con le espressioni seguenti:

- se  $(q_{c1N})_{cs} < 50$   
 $CRR = 0,833 [(q_{c1N})_{cs} / 1000] + 0,05$
- se  $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$   
 $CRR = 93 [(q_{c1N})_{cs} / 1000] + 0,08$

Il rapporto di sforzo ciclico CSR si calcola con l'eq.1 e MSF come raccomandato dal NCEER (tab. 1): mentre il coefficiente rd è calcolato mediante la seguente procedura:

Magnitudo	NCEER (Seed et al. 1997)
5.5	2.21
6.0	1.77
6.5	1.44
7.0	1.19

SILGEO Studio geologico di M. Sileo  
 Via Torun 3/c – 44123 Ferrara

Tel 0532/472702 – 0532/707028 – fax 0532/473579 – mobili 335/314457 – 335/6559327  
 Email [info@silgeo.it](mailto:info@silgeo.it) – [www.silgeo.it](http://www.silgeo.it)

7.5	1.00
8.0	0.84
8.5	0.73

Tab.1: Magnitudo Scaling Factor secondo il metodo NCEER (1997)

Il coefficiente  $r_d$  è calcolato mediante la seguente procedura:

- se  $z < 9,15$  m  $r_d = 1.0 - 0.00765 \cdot z$
- se  $9,15 \leq z < 23$  m  $r_d = 1.174 - 0.00267 \cdot z$

dove  $z$  è la profondità in metri.

Si calcola il fattore di sicurezza alla liquefazione con la (1.0), mentre l'indice e il rischio di liquefazione vengono calcolati con il metodo di Iwasaki et. al. .

Il metodo di Iwasaki et al. (1978, 1984) è stato proposto basandosi sulla osservazione che la severità dei danni prodotti dalla liquefazione ai manufatti è legata al volume di terreno liquefatto all'interno del deposito. Il metodo si basa su due quantità: il fattore di resistenza ( $F_S$ ) e l'indice di liquefazione ( $I_L$ ). Quando  $F_S \leq 1$  lo strato di terreno è liquefacibile; mentre  $I_L$ , indicativo dell'estensione che il fenomeno della liquefazione può avere nel deposito, è ottenuto dalla espressione:

$$I_L = \int_0^{20} F \cdot W(z) dz$$

dove:

$$F = 1 - F_S \quad \text{per } F_S \leq 1$$

$$F = 0 \quad \text{per } F_S > 1$$

$$W(z) = 10 - 0,5 \cdot z$$

Per poter valutare la potenza degli effetti viene proposta la scala dalla tabella seguente:

Valori di $I_L$	Rischio di liquefazione
$I_L < 0$	Molto basso
$0 < I_L \leq 5$	Basso
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$15 < I_L$	Molto alto

Tab.2: Valutazione rischio di liquefazione

Il **fattore correttivo**  $r_d$  viene calcolato mediante la seguente formula proposta dagli stessi autori:

$$r_d = 1 - 0.015 \cdot z$$

e MSF mediante la tab.3:

Magnitudo	Seed & Idriss (1982)
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19
7.0	1.08
7.5	1.00
8.0	0.94
8.5	0.89

Tab.3: Magnitudo Scaling Factor secondo Seed & Idriss (1982)

Invece per la valutazione di CRR vengono suggerite le seguenti espressioni ricavate da numerose prove di resistenza ciclica non drenata:

- per terreni con  $0,04 \text{ mm} \leq D50 \leq 0,6$ : 
$$CRR = 0.0882 \sqrt{\frac{Nm}{\sigma'_{v0} + 0.7}} + 0.225 \log_{10} \left( \frac{0.35}{D50} \right)$$
  - per terreni con  $0,6 \text{ mm} \leq D50 \leq 1,5$ : 
$$CRR = 0.0882 \sqrt{\frac{Nm}{\sigma'_{v0} + 0.7}} - 0.05$$
- dove D50 è il diametro dei granuli al 50% (in mm).

Poiché si evidenzia un fattore predisponente la liquefazione (sabbia in falda entro i primi 20 metri dal p.c.), si è proceduto dunque al calcolo dell'indice di liquefazione considerando le prove CPTU eseguite a corredo del POC.

L'indice di liquefazione calcolato secondo il metodo di Robertson & Wride; il risultato è pari a:

$$I_L = 1.81$$

Facendo riferimento alle classi di pericolosità individuate da Sonmez nel 2003:

(Sonmez, 2003):

$I_L = 0$	Non liquefacibile ( $F_L \geq 1.2$ )
$0 < I_L \leq 2$	Potenziale basso
$2 < I_L \leq 5$	Potenziale moderato
$5 < I_L \leq 15$	Potenziale alto
$15 < I_L$	Potenziale molto alto

si evince che i terreni di fondazione sono considerabili a **liquefazione a basso potenziale. Si ritiene dunque sufficiente un'analisi eseguita secondo il metodo semplificato** per il quale si rimanda alla relazione del maggio 2015.

Relazione geologica e geotecnica con caratterizzazione fisico meccanica dei terreni – Valutazione sismica di un terreno posto a Ferrara Loc. Francolino.

Committente: Sant'Anna Costruzioni Srl e Domusterra Ferrara Srl

Ferrara, 8 giugno 2016

Dr. Geol. Mariantonietta Sileo



Allegati:

Tabulati calcolo Indice di liquefazione (in stralcio)

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

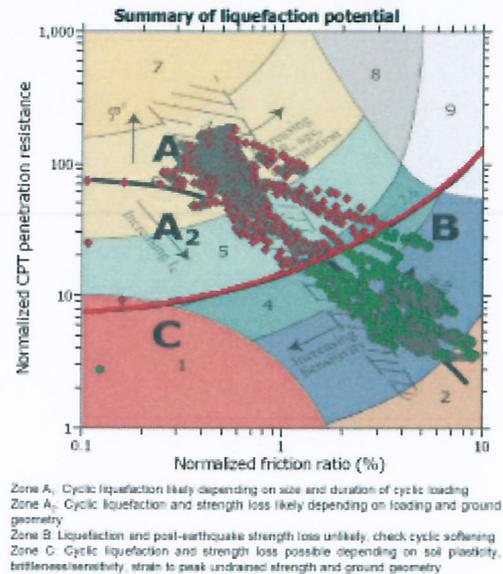
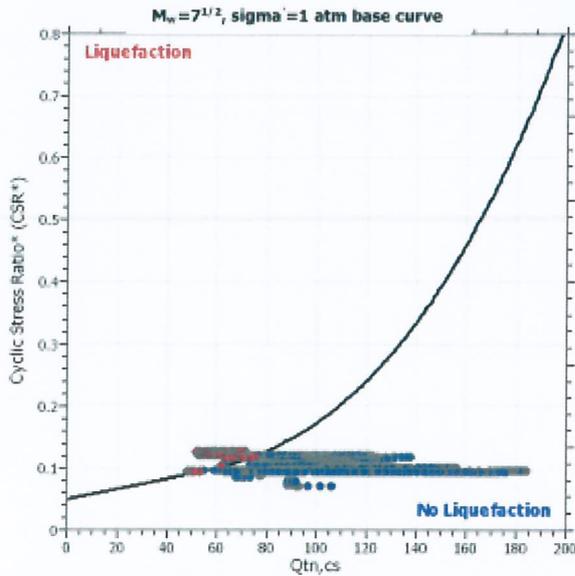
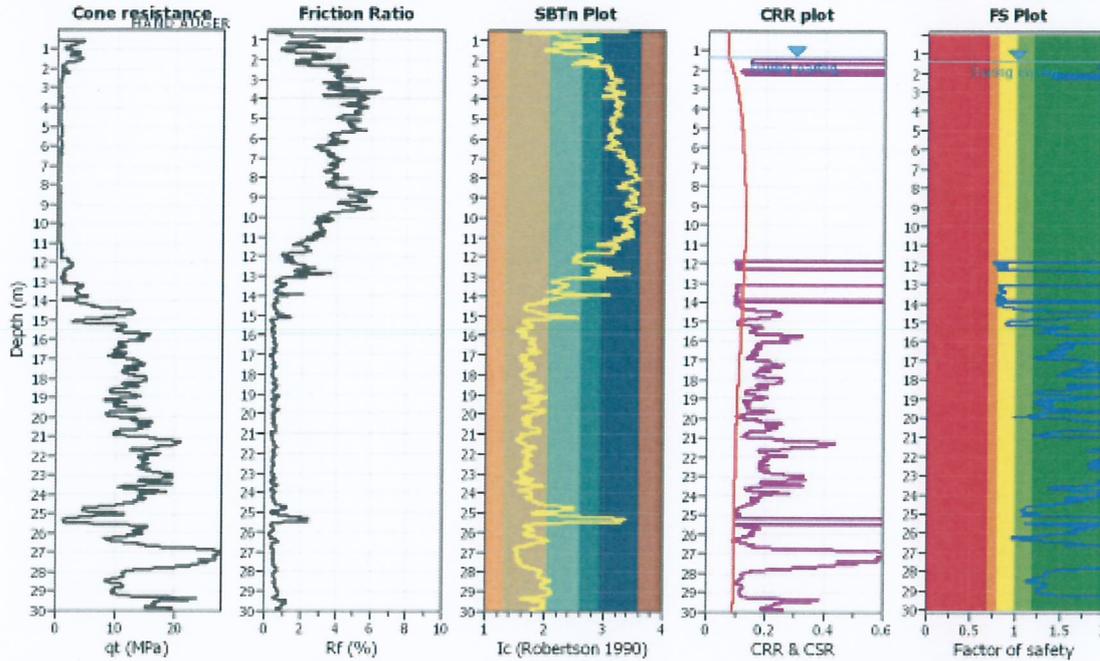
**Project title :**

**Location :**

**CPT file : Foglio1**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.40 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.18	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	Yes		



This software is licensed to: Mariantonietta Sileo

CPT name: Foglio1

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)											
Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>r</sub>	d <sub>r</sub>	LPI	Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>r</sub>	d <sub>r</sub>	LPI
29.77	1.74	0.00	0.00	0.00	0.00	29.78	1.73	0.00	0.00	0.00	0.00
29.79	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	29.80	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
29.81	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	29.82	1.77	0.00	0.00	0.00	0.00
29.83	1.84	0.00	0.00	0.00	0.00	29.84	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29.85	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.86	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29.87	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.88	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29.89	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.90	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29.91	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.92	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29.93	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.94	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29.95	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.96	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29.97	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.98	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29.99	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Overall liquefaction potential: 1.81**