

GEMA 96 S.p.A. in liquidazione

Via di Novella 1

00199 Roma

AREA EX SUPREMA

VIA GALLIERA 21 – VIA ROSSELLI 24/26

COMUNE DI FUNO DI ARGELATO (BO)

RELAZIONE SISMICA INTEGRATIVA



RELAZIONE TECNICA

R1/0323/GMA/FAT/ZP | Marzo 2023



Luca Matted Pizzi

INDICE

1. Premessa	4
2. Inquadramento sismico rispetto al Piano Territoriale Metropolitan	5
3. Determinazione dell'indice di liquefazione e calcolo dei cedimenti post sismici.....	8
3.1 Metodologia	8
3.2 Dati di input.....	9
3.3 Calcolo del rapporto di tensione ciclica CSR.....	10
3.4 Calcolo del rapporto di resistenza ciclica CRR da prove CPT.....	11
3.5 Calcolo del rapporto di resistenza ciclica CRR da prove DPSH.....	12
3.6 Determinazione del fattore di sicurezza alla liquefazione FL	15
3.7 Determinazione dell'indice del potenziale di liquefazione I_L	16
3.8 Risultati delle analisi in termini di i_L e pericolosità del sito.....	17
3.9 Determinazione dei cedimenti post-sismici.....	19
4. Valutazione della pericolosità da liquefazione	24
Conclusioni	25

FIGURE (in testo)

<i>Figura 1.</i> Orto-fotografia con ubicazione dell'area in esame.....	5
<i>Figura 2.</i> carta tecnica regionale con ubicazione dell'area in esame	6
<i>Figura 3.</i> Mappa catastale con ubicazione dell'area in esame.....	6
<i>Figura 4.</i> Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali con ubicazione dell'area in esame	7

TABELLE (in testo)

<i>Tabella 1:</i> rappresentazione delle zone sismogenetiche e relative M_{Wmax}	9
<i>Tabella 2.</i> fattori correttivi C_B C_R C_S	14
<i>Tabella 3.</i> valori dell'indice del potenziale di liquefazione I_L	17
<i>Tabella 4.</i> valori dell'indice del potenziale di liquefazione I_L (livello piezometrico standard). 18	
<i>Tabella 5:</i> determinazione cedimenti post-sismici CPT1	22
<i>Tabella 6:</i> determinazione cedimenti post-sismici CPT2	22
<i>Tabella 7:</i> determinazione cedimenti post-sismici CPT3	22
<i>Tabella 8:</i> determinazione cedimenti post-sismici CPT4	23



GRAFICI (in testo)

<i>Grafico 1:</i> andamento del rapporto di tensione ciclica con la profondità.....	17
<i>Grafico 2:</i> cedimenti post-sismici	20
<i>Grafico 3:</i> legge di variazione $G(g)/G_0$ (letteratura AGI 2005).....	21

ALLEGATI (fuori testo)

Allegato 1: tabulati di calcolo per la verifica a liquefazione

1. Premessa

Su incarico della Società GeMa96 S.p.A., GEOlogica, studio professionale associato di Geologia con sede legale in Via Ambrogio da Bollate 13 e uffici in Via Tito Speri 16 entrambi in Comune di Bollate (MI), ha redatto la presente integrazione della relazione di fattibilità geologica (GEOlogica prot. n. R1/0122/GMA/FAT/CP rev. 1 di gennaio 2022) relativa alle attività di riqualificazione urbanistica dell'area "Ex Suprema" sita in Via Fratelli Rosselli in Comune di Argelato (BO), località Funo.

La redazione di tale documento trova riscontro nella volontà, da parte della Committente, di soddisfare le richieste relative alla riduzione del rischio sismico esposte dalla Città Metropolitana di Bologna - Area Pianificazione Territoriale e della Mobilità Sostenibile - Servizio Pianificazione Urbanistica - Fasc. 8.2.2.7/23/2022.

Le richieste sono le seguenti:

1. *In merito alla riduzione del rischio sismico si evidenzia, in primo luogo, la necessità di aggiornare la "Relazione di fattibilità geologica e geotecnica" del gennaio 2022 con i corretti riferimenti d'inquadramento sismico relativi al Piano Territoriale Metropolitan (art.28 - Tav. 4 "Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali") approvato con deliberazione n.16 dal Consiglio della Città Metropolitana di Bologna il giorno 12/05/2021.*
2. *Si chiede altresì, al fine di poter esprimere un parere favorevole sulla compatibilità delle previsioni urbanistiche con le condizioni di pericolosità locale ai sensi dell'art. 5, n. 19/2008, un elaborato sismico integrativo che, preferibilmente in accordo con quanto indicato dalla D.G.R. 476 del 12 aprile 2021 e dalla D.G.R. 564 del 26 aprile 2021, fornisca in particolare:*
 - a. *la determinazione dell'indice di potenziale liquefazione IL in funzione del Fattore di sicurezza FL, a sua volta in funzione di CRR (resistenza ciclica normalizzata) e di CSR (tensione indotta dal terremoto);*
 - b. *il calcolo degli eventuali cedimenti post-sismici.*

2. Inquadramento sismico rispetto al Piano Territoriale Metropolitano

Con riferimento alla prima richiesta, nelle seguenti *Figure 1, 2, 3 e 4* si riporta l'inquadramento dell'area in esame rispetto a diverse cartografie.



Figura 1: Orto-fotografia con ubicazione dell'area in esame



Figura 2: carta tecnica regionale con ubicazione dell'area in esame



Figura 3: Mappa catastale con ubicazione dell'area in esame

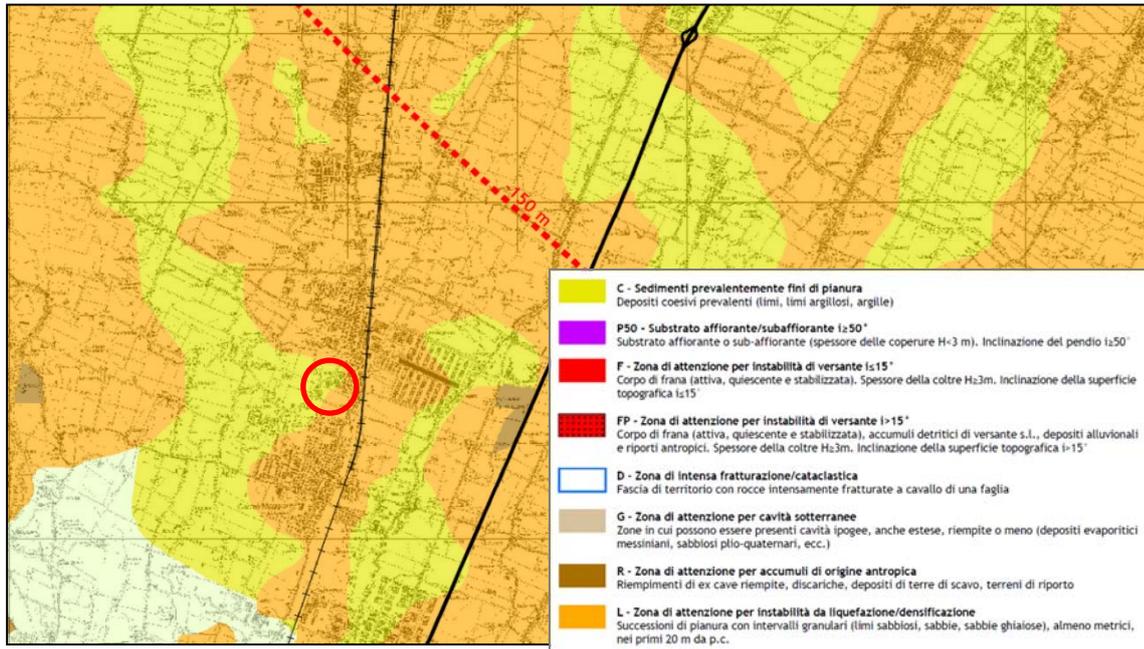


Figura 4: Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali con ubicazione dell'area in esame

In quest'ultima cartografia (Figura 4), che costituisce l'oggetto della richiesta di integrazione, l'area è ubicata parzialmente entro la zona C (colore giallo, sedimenti prevalentemente fini di pianura) e parzialmente entro la zona L (colore arancione, zona di attenzione per instabilità da liquefazione / densificazione).

L'analisi quindi del potenziale di liquefazione e dei cedimenti post sismici è dunque giustificata dal fattore di rischio riconosciuto a livello provinciale.

Per conseguire tali obiettivi, i dati di campo sono stati recuperati dalle prove in sito già eseguite a supporto del progetto di fattibilità ed esposte nella relazione "Area ex Suprema – Via Galliera 21 – Via Rosselli 24/26, Comune di Funo di Argelato (BO) – Relazione di Fattibilità geologica e geotecnica" (GEOlogica prot. n. R1/0122/GMA/FAT/CP rev.1, di gennaio 2022). In sintesi, si tratta di n. 4 prove penetrometriche statiche tipo CPT e n. 2 prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH spinte a profondità variabile comprese tra 9,0 e 15,0 m da p.c.

3. Determinazione dell'indice di liquefazione e calcolo dei cedimenti post sismici

3.1 Metodologia

Per la valutazione della possibilità di occorrenza del fenomeno della liquefazione sono state adottate metodologie semplificate di tipo storico-empirico, con cui è possibile determinare il valore del fattore di sicurezza F_L , definito come il rapporto tra la resistenza che il sottosuolo dispone nei confronti del fenomeno della liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

Entrambi i parametri tensionali sono correntemente normalizzati rispetto alla tensione verticale efficace agente alla profondità esaminata, in modo da definire un rapporto di resistenza ciclica CRR e un rapporto di tensione ciclica CSR, funzione della profondità.

Per ciascuna verticale di prova disponibile nel sito (n. 4 prove CPT e n. 2 prove DPSH) è stato calcolato l'andamento dei due parametri CSR e CRR e quindi del fattore di sicurezza alla liquefazione F_L , il cui andamento rispetto al margine di sicurezza scelto consente di determinare il valore dell'indice del potenziale di liquefazione I_L , con cui stimare l'occorrenza del fenomeno esaminato.

La metodologia è stata definita dai lavori pionieristici di Seed e Idriss, condotti alla fine degli anni '60 e agli inizi degli anni '70, i quali hanno dato l'impulso ad una serie di lavori scientifici di approfondimento, mediante l'osservazione dei fenomeni di liquefazione avvenuti a seguito di successivi forti eventi sismici e una serie di lavori di aggiustamento e rivisitazione delle diverse procedure adottate per la definizione dei parametri CSR e CRR, a partire da diverse prove geotecniche in situ.

La letteratura scientifica dispone pertanto di numerose procedure, tutte di consolidata validità; nel presente studio si è scelto di considerare per la definizione del parametro CSR la procedura proposta da Seed e Idriss, 1971, che parte dal valore di accelerazione massima orizzontale in superficie in condizioni di campo libero (free field) e per la definizione del parametro CRR la procedura proposta da Idriss e Boulanger, 2004, dalla quale hanno preso vita le due procedure proposte nelle linee guida nazionali AGI del 2005 e nell'Allegato A3 della Regione Emilia Romagna contenuto nella DGR n. 476 del 12/04/2021.

I calcoli sono stati eseguiti applicando le 3 diverse procedure di seguito codificate con le sigle:

- I&B – Idriss e Boulanger, 2004
- AGI – Linee guida nazionali AGI, 2005
- ER – Procedura di cui all'allegato A3 della DGR n. 476 del 12/04/2021

3.2 Dati di input

I dati di base utilizzati sono:

- $a_{max,s}$ = accelerazione orizzontale massima al piano campagna, espressa in g e pari a 0.239 g (funzione della posizione geografica, del tempo di ritorno T_r associato alla classe d'uso dell'edificio di progetto e allo stato limite SLV e alla relativa categoria di sottosuolo).
- M = magnitudo del terremoto di progetto stimata sulla base di quanto previsto nell'appendice A1 delle linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione, predisposte dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica nel 2018; la procedura adottata prevede di stimare il valore di M_w sulla base della zonazione sismogenetica (ZS9; INGV, 2009), secondo la quale la sismicità è distribuita in 36 zone sismogenetiche, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima M_{wmax} , come definito nella seguente *Tabella 1*.

NOME ZS	NUMERO ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Tabella A1.1 → Rappresentazione delle zone sismogenetiche e relative M_{wmax} .

Tabella 1: rappresentazione delle zone sismogenetiche e relative M_{wmax}

La zona sismogenetica ove ricade il sito di studio è la zona 912, alla quale è associata una magnitudo di 6.14.

- Z_w = soggiacenza della falda freatica in corrispondenza di ciascuna verticale d'indagine e valore medio stimato nell'ordine di 3.5 m dal piano campagna.
- N_{SPT} = andamento dei valori di N_{SPT} lungo le verticali di prova (prove penetrometriche dinamiche super-pesanti DPSH).
- q_c e f_s = andamento dei valori di resistenza alla punta e di attrito laterale lungo le verticali di prova CPT (prove penetrometriche statiche con punta meccanica).

3.3 Calcolo del rapporto di tensione ciclica CSR

La formula utilizzata è quella proposta da Seed e Idriss, 1971:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \cdot \frac{a_{max s}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

σ_{v0} e σ'_{v0} sono le tensioni verticali totale ed efficace calcolate lungo la verticale di prova, in funzione del peso di volume, calcolato per le prove CPT mediante la formulazione di Robertson, 2010 e stimato per le prove DPSH sulla base di un valore prudenziale dell'ordine dei 19 kN/m³.

Il parametro r_d è il coefficiente di riduzione dell'azione sismica che tiene conto della deformabilità del materiale costituente il sottosuolo con la profondità, in assenza degli esiti di specifiche analisi di risposta sismica locale; tale coefficiente è stato definito mediante la formulazione di Idriss e Boulanger, 2004 condivisa anche dalle altre due procedure adottate ed è funzione del valore di magnitudo M:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

3.4 Calcolo del rapporto di resistenza ciclica CRR da prove CPT

Per quanto riguarda le prove penetrometriche statiche CPT la formulazione adottata dai metodi I&B e AGI è la seguente:

$$\text{CRR} = \exp\left\{\frac{q_{c1N}}{540} + \left(\frac{q_{c1N}}{67}\right)^2 - \left(\frac{q_{c1N}}{80}\right)^3 + \left(\frac{q_{c1N}}{114}\right)^4 - 3\right\}$$

Ove il valore di q_{c1N} è la resistenza penetrometrica q_c ricondotta ad un valore normalizzato mediante la seguente formulazione, ove p_a è la pressione atmosferica:

$$q_{c1N} = C_N \cdot \frac{q_c}{p_a}$$

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_{vo}}\right)^\beta \leq 1.7 \quad \beta = 1.338 - 0.249(q_{c1N})^{0.264}$$

Il valore di q_{c1N} è sostituito dal valore di q_{c1Ncs} , corrispondente al valore della resistenza penetrometrica normalizzata ricondotta ad un valore equivalente per sabbie pulite, in modo da tenere in considerazione la presenza nel materiale di frazione fine non trascurabile.

La determinazione del parametro q_{c1Ncs} , nell'ambito del metodo proposto da I&B, avviene aggiungendo al valore di resistenza normalizzata una quantità Δq_{c1N} definita sulla base del contenuto in fine FC espresso in % e definito sulla base dell'indice di classificazione del terreno I_c da prove CPT proposto da Robertson, 1990:

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} \cdot 100$$

$$Q_n = \left(\frac{q_c - \sigma_{v0}}{P_a} \right) \cdot \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m$$

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q_n - 3.47)^2}$$

Per valori di $I_c > 2.6$ i terreni sono considerati non liquefacibili in quanto argillosi

La determinazione del parametro q_{c1Ncs} nell'ambito del metodo proposto da AGI avviene moltiplicando il valore di resistenza normalizzata per un fattore correttivo K_c che vale 1 se $I_c < 1.64$ e per valori superiori è pari a:

$$K_c = -17.88 + 33.75I_c - 21.63I_c^2 + 5.581I_c^3 - 0.403I_c^4$$

Per quanto riguarda il metodo ER proposto da Regione Emilia-Romagna il valore di q_{c1Ncs} entra direttamente nel ciclo iterativo utilizzato per la definizione del coefficiente di normalizzazione C_N mediante la seguente formulazione:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m \leq 1.7$$

$$m = 1.338 - 0.249 \cdot (q_{c1Ncs})^{0.264} \quad \text{con } 21 \leq q_{c1Ncs} \leq 254$$

e il valore di CRR è determinato dalla seguente formula:

$$CRR = \exp \left[\frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1Ncs}}{140} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{137} \right)^4 - 2.80 \right]$$

3.5 Calcolo del rapporto di resistenza ciclica CRR da prove DPSH

Per quanto riguarda le prove penetrometriche dinamiche super-pesanti DPSH la formulazione adottata dai 3 metodi considerati I&B, AGI e ER è la seguente:

$$CRR = \exp \left\{ \frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right\}$$

dove $(N_1)_{60cs}$ è il valore della resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60}$ ricondotta ad un valore equivalente per sabbie pulite mediante la formulazione seguente, funzione del contenuto di fine FC:

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$$

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp \left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01} \right)^2 \right]$$

La frazione di fine FC è stata desunta dai valori derivati dalle prove CPT ed associata mediamente pari al 25% all'UT1 (sabbia limosa argillosa poco addensata), pari al 70% all'UT2 (Argilla limoso sabbiosa poco consistente) e pari al 40% all'UT3 (limo sabbioso argilloso poco consistente).

La resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60}$ è ottenuta dal numero di colpi standardizzato N_{SPT} mediante l'utilizzo dei seguenti coefficienti correttivi:

$$(N_1)_{60} = C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \cdot N_{SPT}$$

Per prove eseguite secondo le raccomandazioni AGI (1977) i coefficienti $C_B = C_R = C_S$ sono circa uguali all'unità, secondo la seguente *Tabella 2*:

Fattore correttivo	Variabile	Valore del fattore correttivo
Diametro del foro di sondaggio, C_B	65 ÷ 115 mm	1.00
	150 mm	1.05
	200 mm	1.15
Lunghezza delle aste, C_R	3 ÷ 4 m	0.75
	4 ÷ 6 m	0.85
	6 ÷ 10 m	0.95
	10 ÷ 30 m	1.0
	> 30 m	> 1.0
Tipo di fustella, C_S	Campionatore standard	1.0
	Campionatore senza astuccio	1.1 ÷ 1.3

Tabella 2: fattori correttivi C_B C_R C_S

Il fattore correttivo C_E legato al rendimento energetico può essere posto uguale all'unità secondo quanto definito da Cestari, 1996.

Per quanto riguarda il coefficiente C_N , che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace, i metodi I&B e AGI utilizzano la seguente formulazione:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^\alpha \leq 1.7 \quad \alpha = 0.784 - 0.0768 \sqrt{(N_1)_{60}}$$

mentre il metodo ER quest'altra formulazione:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m \leq 1.7$$

$$m = 0.784 - 0.0768 \cdot \sqrt{(N_1)_{60cs}} \quad \text{con } (N_1)_{60cs} \leq 46$$

3.6 Determinazione del fattore di sicurezza alla liquefazione FL

I valori di CRR determinati con le procedure sopra descritte corrispondono a condizioni di piano campagna orizzontale o sub-orizzontale e stati tensionali efficaci limitati e sono normalizzati rispetto alla tensione verticale efficace iniziale per terremoto di magnitudo M pari a 7.5 e pressione efficace di riferimento pari a 1 atm; tali valori sono quindi indicati con la sigla $CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1 \text{ atm}}$.

Il rapporto tra $CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1 \text{ atm}}$ e CSR deve pertanto essere corretto in funzione della magnitudo, attraverso la definizione del fattore di scala della magnitudo MSF e in funzione della pressione efficace calcolata alla profondità a cui la resistenza viene valutata attraverso il fattore di correzione K_σ :

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1 \text{ atm}}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

Il fattore di scala della magnitudo è definito nei metodi I&B e AGI mediante la formulazione di Idriss e Boulanger, 2004:

$$MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058$$

$$MSF \leq 1.8$$

mentre nel metodo ER mediante le seguenti espressioni funzione non solo di M ma anche del parametro di resistenza penetrometrica normalizzato e ricondotto alle sabbie pulite:

$$MSF = 1 + (MSF_{\max} - 1) \cdot \left[8.64 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 1.325 \right] \quad 4. MSF = 1 + (MSF \left[8.64 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 1.325 \right]_{\max})$$

$$MSF_{\max} = 1.09 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{31.5} \right)^3 \leq 2.2$$

$$MSF \left(\frac{q_{c1Ncs}}{180} \right)_{\max}^3$$

Il fattore di scalatura della magnitudo può pertanto essere considerato come un fattore moltiplicativo del rapporto di resistenza ciclica oppure come un fattore riduttivo del rapporto di tensione ciclica.

3.7 Determinazione dell'indice del potenziale di liquefazione I_L

L'indice del potenziale di liquefazione è definito come l'integrale della funzione $F(z)$ determinata in funzione del valore del fattore di sicurezza F_L , determinato lungo ciascuna verticale d'indagine, in modo tale da distinguere i valori superiori al margine di sicurezza di 1.2 da quelli prossimi all'unità e quelli inferiori alla stessa.

Tale funzione è pesata in funzione della profondità e del valore di profondità critica z_{crit} , definita come la profondità massima entro la quale può verificarsi il fenomeno della liquefazione (di norma assunta pari a 15-20 m); nel presente studio, per ciascuna verticale di prova, è stato assegnato il valore di z_{crit} pari alla massima profondità della prova stessa.

Il valore di I_L è pertanto così definito (Sonmez, 2003):

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

$F(z) = 0$	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	$F_L \leq 0.95$

3.8 Risultati delle analisi in termini di i_L e pericolosità del sito

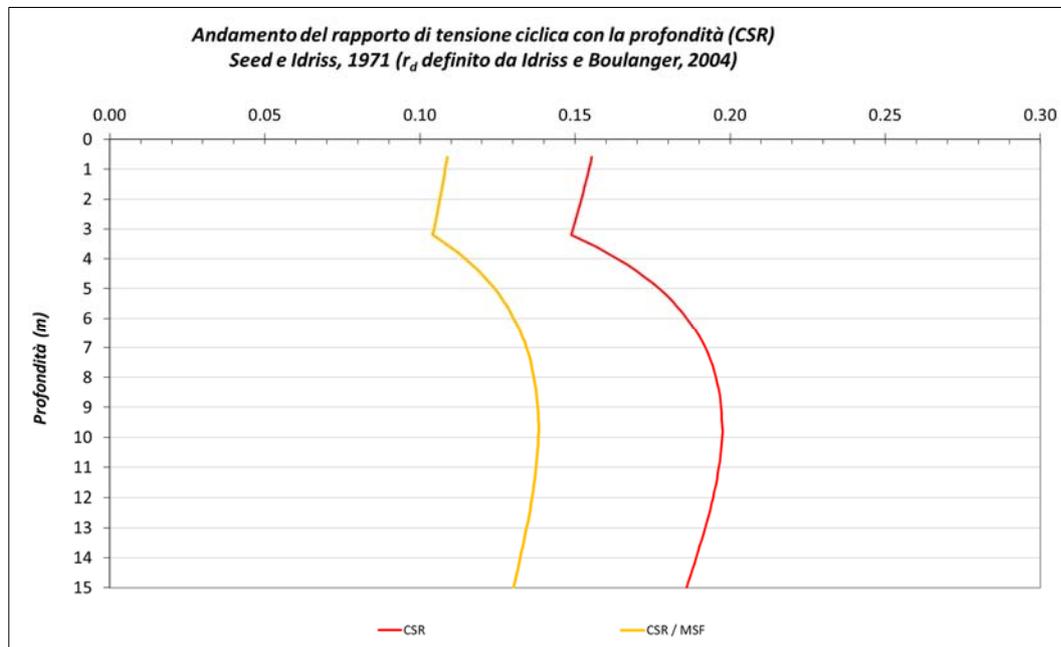


Grafico 1: andamento del rapporto di tensione ciclica con la profondità

I valori dell'indice del potenziale di liquefazione i_L sono stati calcolati tenendo conto sia della soggiacenza della falda freatica misurata in ciascun foro di prova sia della soggiacenza media pari a 3.5 m dal piano campagna.

Valori dell'indice del potenziale di liquefazione i_L			
riferiti ai livelli piezometrici misurati nei fori di prova			
<i>Prova</i>	<i>Metodo I&B</i>	<i>Metodo AGI</i>	<i>Metodo ER</i>
<i>CPT1</i>	0.53	0.01	0.58
<i>CPT2</i>	2.99	0.37	3.13
<i>CPT3</i>	0.25	0.01	0.25
<i>CPT4</i>	0.59	0.02	0.56
<i>DPSH1</i>	0.17	0.17	2.54
<i>DPSH2</i>	0.20	0.20	2.26

Tabella 3: valori dell'indice del potenziale di liquefazione i_L

Valori dell'indice del potenziale di liquefazione I_L			
riferiti ad un livello piezometrico standard pari a 3.5 m dall'attuale p.c.			
Prova	Metodo I&B	Metodo AGI	Metodo ER
CPT1	0.00	0.00	0.00
CPT2	3.13	0.41	3.31
CPT3	0.25	0.00	0.24
CPT4	0.62	0.02	0.59
DPSH1	1.76	1.76	6.89
DPSH2	1.74	1.74	6.42

Tabella 4: valori dell'indice del potenziale di liquefazione I_L (livello piezometrico standard)

Si segnala che i valori di I_L ottenuti dalle prove DPSH, soprattutto con il metodo ER, sono da considerarsi particolarmente sovrastimati in quanto, come mostrato nei grafici riportati in appendice, l'orizzonte che risulta liquefacibile è quello che presenta la maggior frazione di fine, alla quale corrisponde, dalle prove CPT, un indice di classificazione del terreno I_c superiore a 2.6; questo è insito nel metodo di determinazione del CRR mediante prove penetrometriche dinamiche, le quali non risultano ottimali ai fini delle verifiche di sicurezza alla liquefazione in presenza di bassi valori di resistenza penetrometrica.

Ai fini della definizione della pericolosità del sito nei confronti del fenomeno della liquefazione si utilizzano le classi definite da 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

La classe di pericolosità del sito nei confronti della liquefazione è compresa tra bassa e moderata e in particolare:

- prova CPT1: potenziale basso con due sottili orizzonti liquefacibili di spessore pari a 20 cm ciascuno e posti alle profondità rispettivamente di 4.6 e 10.2 m con valori minimi di F_L di 0.7-0.8;

- prova CPT2: potenziale da basso a moderato con una serie di orizzonti liquefacibili concentrati tra 6.6 e 7.6 m, tra 8.4 e 10.0 m, tra 10.8 e 11.8, tra 12.2 e 13.0 m e tra 13.6 e 13.8 m di profondità con valori di F_L compresi tra 0.7 e 0.9, alternati ad orizzonti da poco liquefacibili a non liquefacibili;
- prova CPT3: potenziale basso con un sottile orizzonte liquefacibile di spessore pari a 20 cm posto alla profondità di 9.6 m con valori minimi di F_L di 0.7-0.8;
- prova CPT4: potenziale basso con una serie di sottili orizzonti liquefacibile di spessore pari a 20 cm ciascuno posti alla profondità di 10.0, 10.8, tra 11.4 e 12.0 e tra 12.8 e 13.2 m con valori minimi di F_L di 0.7-0.89;
- prova DPSH1 e DPSH2: potenziale da moderato ad alto con l'orizzonte superficiale compreso tra 3.6 e 5.7 m considerato liquefacibile in termini di resistenza, ma ritenuto troppo argilloso per poter essere suscettibile al fenomeno.

3.9 Determinazione dei cedimenti post-sismici

Sulla base delle considerazioni sopra esposte si è proceduto alla stima dei cedimenti post-sismici, mediante la stima della deformazione volumetrica (verticale) ε_v desunta dalla resistenza penetrometrica di punta normalizzata e corretta $(q_{c1N})_{cs}$.

La formulazione utilizzata è la seguente, proposta da Idriss e Boulanger, 2008:

$$\Delta S_i = \varepsilon_{vi} \cdot \Delta Z_i.$$

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp\left(2.551 - 1.147 \cdot (q_{c1Ncs})^{0.264}\right) \cdot \min(0.08, \gamma_{max}) \quad \text{con } q_{c1Ncs} \geq 21$$

Il valore di γ_{max} rappresenta la massima deformazione di taglio indotta dall'azione sismica, determinabile dalla relazione empirica:

$$\gamma_{max} = \frac{a_{max,s}}{g} \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d \cdot \frac{1}{G}$$

Ove:

- σ_{v0} è la tensione totale calcolata alla profondità ove è stata evidenziata la presenza di un materiale liquefacibile ($F_L < 1.2$)
- $(a_{max,s} \cdot r_d)$ è la sollecitazione sismica espressa in g presente alla profondità considerata, il cui andamento è riportato di seguito:

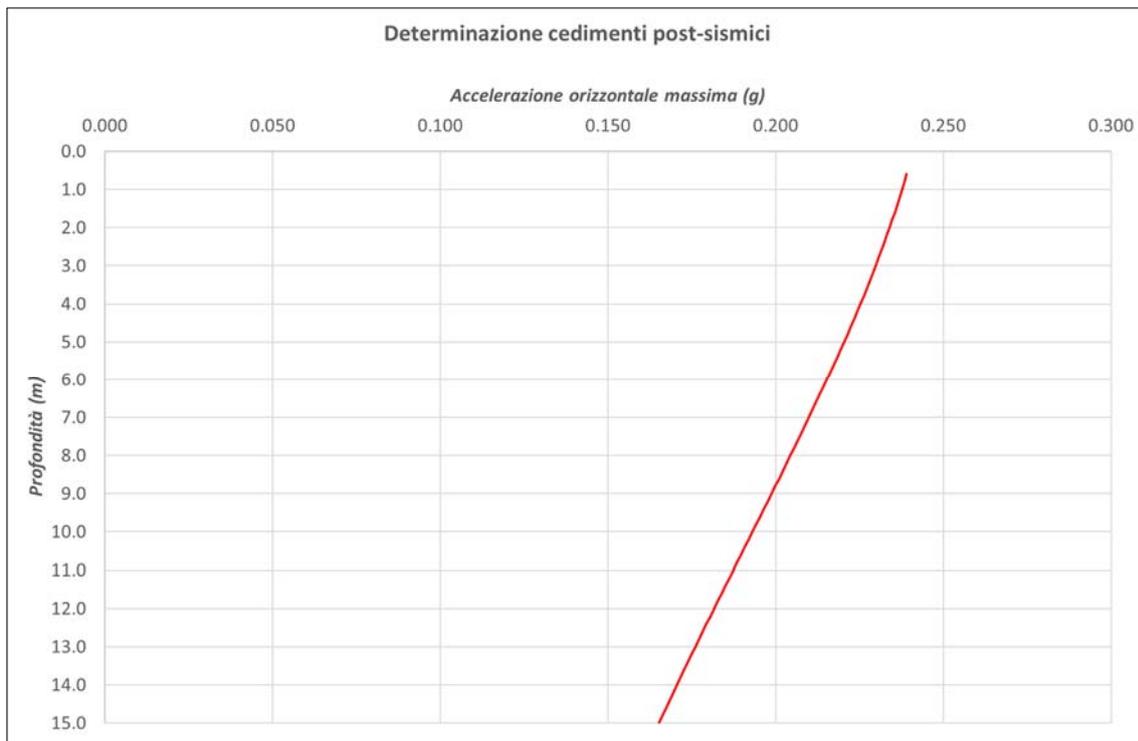


Grafico 2: cedimenti post-sismici

- G è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo γ raggiunto a seguito dell'applicazione della sollecitazione sismica. Il valore di G è determinato per via iterativa, noto il valore della rigidità iniziale G_0 desunto dai valori di V_s estratti dall'indagine MASW e la legge di variazione $G(\gamma)/G_0$ desunti da letteratura AGI 2005 valida per terreni sabbiosi, riportata di seguito:

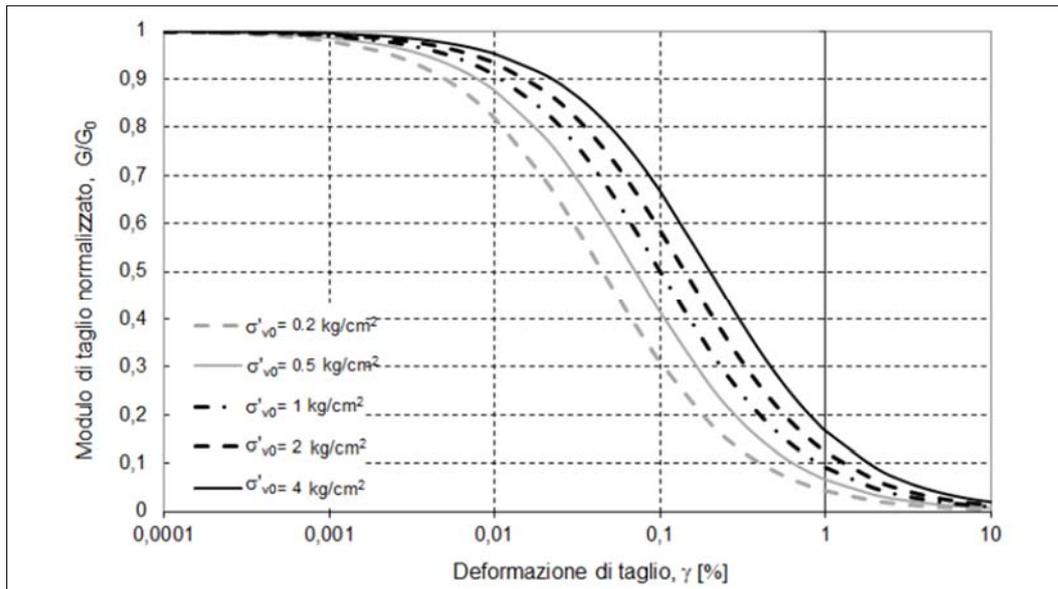


Grafico 3: legge di variazione $G(g)/G_0$ (letteratura AGI 2005)

I livelli deformativi raggiunti sono dell'ordine dello 0.015-0.025%, ai quali corrisponde una riduzione del modulo di taglio compreso tra il 5 e il 20%.

Di seguito si riportano i singoli cedimenti stimati per ogni orizzonte e il cedimento cumulato per le sole prove CPT che permettono di individuare meglio i singoli orizzonti sabbiosi liquefacibili nelle condizioni idrogeologiche osservate durante l'esecuzione delle prove; nel caso di orizzonti multipli il valore di γ_{max} si riferisce al valore massimo raggiunto in corrispondenza di un singolo orizzonte.

Determinazione cedimenti post-sismici Prova CPT1					
Intervallo di profondità orizzonte liquefacibile (m dal p.c.)	Spessore (cm)	γ_{max} (%)	Δs_i (cm)		
			I&B	AGI	ER
4.6 – 4.8	20	0.0219	0.17	0.24	0.20
10.2 – 10.4	20	0.0248	0.19	0.28	0.22
Cedimento post-sismico totale			0.36	0.52	0.42

Tabella 5: determinazione cedimenti post-sismici CPT1

Determinazione cedimenti post-sismici Prova CPT2					
Intervallo di profondità orizzonte liquefacibile (m dal p.c.)	Spessore (cm)	γ_{max} (%)	Δs_i (cm)		
			I&B	AGI	ER
6.6 – 7.6	100	0.0209	1.00	0.74	0.81
8.4 – 10.0	100	0.0236	1.26	0.97	0.99
10.8 – 11.8	100	0.0226	1.12	0.93	0.90
12.2 – 13.0	60	0.0240	0.64	0.46	0.50
13.6 – 13.8	20	0.0142	0.14	0.10	0.11
Cedimento post-sismico totale			4.15	3.20	3.31

Tabella 6: determinazione cedimenti post-sismici CPT2

Determinazione cedimenti post-sismici Prova CPT3					
Intervallo di profondità orizzonte liquefacibile (m dal p.c.)	Spessore (cm)	γ_{max} (%)	Δs_i (cm)		
			I&B	AGI	ER
9.6 – 9.8	20	0.0204	0.23	0.16	0.27
Cedimento post-sismico totale			0.23	0.16	0.27

Tabella 7: determinazione cedimenti post-sismici CPT3

Determinazione cedimenti post-sismici Prova CPT4					
Intervallo di profondità orizzonte liquefacibile (m dal p.c.)	Spessore (cm)	γ_{max} (%)	Δs_i (cm)		
			I&B	AGI	ER
10.0 – 10.2	20	0.0203	0.22	0.16	0.17
10.8 – 11.0	20	0.0210	0.19	0.15	0.16
11.4 – 12.0	60	0.0228	0.60	0.43	0.48

Determinazione cedimenti post-sismici Prova CPT4					
12.8 – 13.2	40	0.0239	0.38	0.27	0.29
Cedimento post-sismico totale			1.40	1.01	1.11

Tabella 8: determinazione cedimenti post-sismici CPT4

4. Valutazione della pericolosità da liquefazione

Il sito oggetto di verifica presenta una pericolosità per l'occorrenza di fenomeni di liquefazione generalmente bassa con valori dell'indice del potenziale di liquefazione I_L inferiori a 2, che solo localmente diventa moderato con valori di I_L compresi tra 2 e 5.

Le analisi sono state condotte in corrispondenza di ciascuna verticale di prova, tenendo in considerazione per la definizione della pericolosità e il calcolo dei cedimenti post-sismici solo i risultati desunti dalle prove CPT, ritenute più affidabili anche in considerazione del modello geotecnico del sito, che prevede la presenza alla profondità compresa tra 2.8 e 5.6 dell'unità UT2 costituita da materiali coesivi.

I cedimenti post-sismici attesi sono dell'ordine di 0.5 – 1.0 cm, che solo localmente possono raggiungere valori dell'ordine dei 3 – 4 cm; essi sono il risultato del cedimento simultaneo dei singoli orizzonti sabbiosi liquefacibili presenti principalmente all'interno dell'unità UT3 limoso sabbiosa.

Qualora il progettista delle strutture ritenesse inammissibili tali valori di cedimento, sarà necessario predisporre fondazioni profonde in grado di superare gli orizzonti liquefacibili; in tal caso, la progettazione delle fondazioni profonde sarà progettata contestualmente alla progettazione strutturale degli edifici.

In *Allegato 1* si riportano, per ciascun metodo utilizzato, i valori tabellari dei valori di F_L ottenuti alle diverse profondità per i soli orizzonti ritenuti liquefacibili e i grafici dell'andamento del CRR, CSR e F_L con la profondità, considerando il livello piezometrico osservato all'interno del singolo foro di prova per le prove CPT e considerando il livello piezometrico standard di 3.5 m dal p.c. per le prove DPSH.

Conclusioni

Con la presente relazione integrativa si ritiene di aver esaurientemente risposto alle richieste esposte dalla Città Metropolitana di Bologna citate in premessa.

Sulla base delle indagini condotte e delle elaborazioni qui esposte, il parere sulla compatibilità delle previsioni urbanistiche proposte con le condizioni di pericolosità sismica locale, con particolare riguardo al fenomeno della liquefazione dei terreni e alla valutazione dei cedimenti post sismici, è favorevole.

Bollate, marzo 2023

Dott. Geol. Luca M. Pizzi



GEMA 96 S.p.A. in liquidazione

Via di Novella 1

00199 Roma

AREA EX SUPREMA

VIA GALLIERA 21 – VIA ROSSELLI 24/26

COMUNE DI FUNO DI ARGELATO (BO)

RELAZIONE SISMICA INTEGRATIVA



ALLEGATI

R1/0323/GMA/FAT/ZP | Marzo 2023



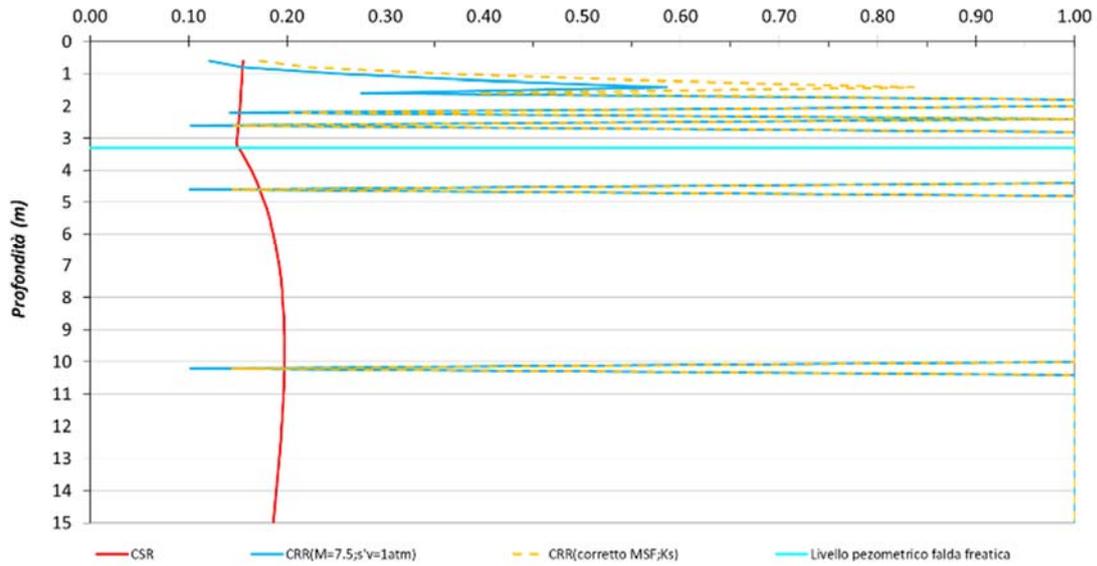
ALLEGATO 1

ALLEGATO 1 - TABULATI DI CALCOLO PER LA VERIFICA A LIQUEFAZIONE

CPT1 – Metodo I&B

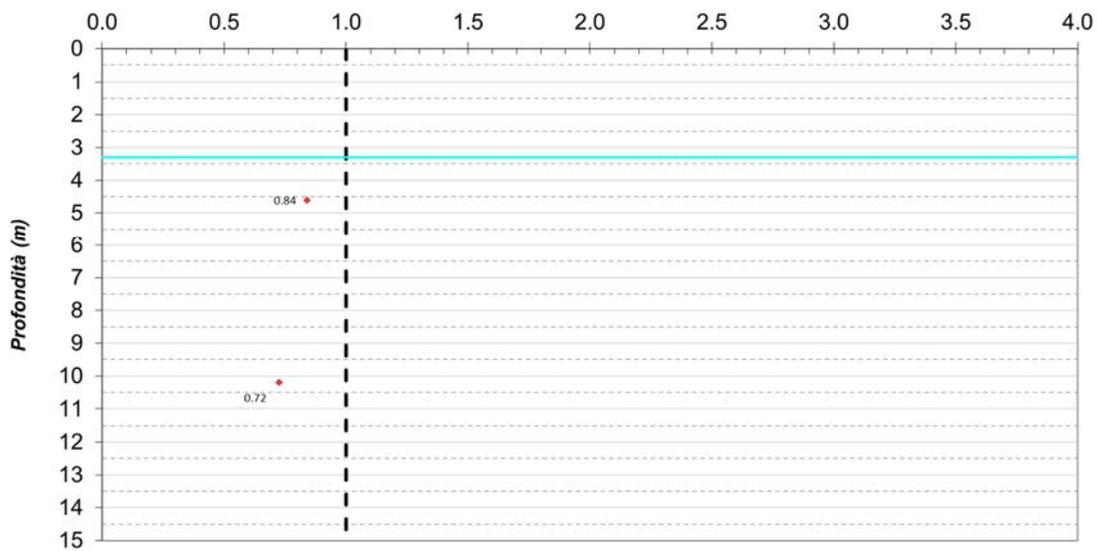
Z (m)	lc	Liquefacibilità	(q_{c1N}) _{cs}	Liquefacibilità	F _l
0.600	2.459	probabile	86	probabile	non saturo
0.800	2.311	probabile	107	probabile	non saturo
1.000	2.227	probabile	146	probabile	non saturo
1.200	2.214	probabile	169	probabile	non saturo
1.400	2.143	probabile	183	esclusa - troppo consistente	non saturo
1.600	2.319	probabile	151	probabile	non saturo
1.800	2.618	esclusa - comportamento coesivo	107	probabile	non saturo
2.000	2.611	esclusa - comportamento coesivo	105	probabile	non saturo
2.200	2.543	probabile	100	probabile	non saturo
2.400	2.794	esclusa - comportamento coesivo	79	probabile	non saturo
2.600	2.500	probabile	72	probabile	non saturo
2.800	2.832	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	non saturo
3.000	2.744	esclusa - comportamento coesivo	57	probabile	non saturo
3.200	3.301	esclusa - comportamento coesivo	43	probabile	non saturo
3.400	3.392	esclusa - comportamento coesivo	42	probabile	coesivo
3.600	3.276	esclusa - comportamento coesivo	46	probabile	coesivo
3.800	2.889	esclusa - comportamento coesivo	51	probabile	coesivo
4.000	3.693	esclusa - comportamento coesivo	39	probabile	coesivo
4.200	2.848	esclusa - comportamento coesivo	54	probabile	coesivo
4.400	3.542	esclusa - comportamento coesivo	43	probabile	coesivo
4.600	2.594	probabile	71	probabile	0.84
4.800	2.872	esclusa - comportamento coesivo	52	probabile	coesivo
5.000	3.460	esclusa - comportamento coesivo	42	probabile	coesivo
5.200	3.051	esclusa - comportamento coesivo	55	probabile	coesivo
5.400	2.752	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
5.600	2.728	esclusa - comportamento coesivo	72	probabile	coesivo
5.800	2.791	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
6.000	2.770	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
6.200	2.916	esclusa - comportamento coesivo	56	probabile	coesivo
6.400	2.978	esclusa - comportamento coesivo	53	probabile	coesivo
6.600	3.079	esclusa - comportamento coesivo	49	probabile	coesivo
6.800	3.086	esclusa - comportamento coesivo	49	probabile	coesivo
7.000	3.234	esclusa - comportamento coesivo	46	probabile	coesivo
7.200	3.004	esclusa - comportamento coesivo	51	probabile	coesivo
7.400	3.273	esclusa - comportamento coesivo	45	probabile	coesivo
7.600	3.247	esclusa - comportamento coesivo	48	probabile	coesivo
7.800	2.898	esclusa - comportamento coesivo	64	probabile	coesivo
8.000	3.037	esclusa - comportamento coesivo	51	probabile	coesivo
8.200	3.134	esclusa - comportamento coesivo	47	probabile	coesivo
8.400	3.197	esclusa - comportamento coesivo	46	probabile	coesivo
8.600	3.230	esclusa - comportamento coesivo	45	probabile	coesivo
8.800	3.010	esclusa - comportamento coesivo	50	probabile	coesivo
9.000	3.376	esclusa - comportamento coesivo	42	probabile	coesivo
9.200	3.135	esclusa - comportamento coesivo	50	probabile	coesivo
9.400	2.673	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	coesivo
9.600	3.119	esclusa - comportamento coesivo	43	probabile	coesivo
9.800	3.817	esclusa - comportamento coesivo	37	probabile	coesivo
10.000	3.176	esclusa - comportamento coesivo	49	probabile	coesivo
10.200	2.597	probabile	71	probabile	0.72
10.400	2.700	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	coesivo
10.600	3.201	esclusa - comportamento coesivo	47	probabile	coesivo
10.800	2.899	esclusa - comportamento coesivo	57	probabile	coesivo
11.000	2.837	esclusa - comportamento coesivo	58	probabile	coesivo
11.200	3.175	esclusa - comportamento coesivo	46	probabile	coesivo
11.400	3.231	esclusa - comportamento coesivo	45	probabile	coesivo
11.600	3.209	esclusa - comportamento coesivo	46	probabile	coesivo
11.800	3.188	esclusa - comportamento coesivo	47	probabile	coesivo
12.000	3.173	esclusa - comportamento coesivo	47	probabile	coesivo
12.200	3.332	esclusa - comportamento coesivo	43	probabile	coesivo
12.400	3.282	esclusa - comportamento coesivo	44	probabile	coesivo
12.600	3.288	esclusa - comportamento coesivo	44	probabile	coesivo
12.800	3.262	esclusa - comportamento coesivo	45	probabile	coesivo
13.000	2.833	esclusa - comportamento coesivo	56	probabile	coesivo
13.200	3.205	esclusa - comportamento coesivo	46	probabile	coesivo
13.400	3.279	esclusa - comportamento coesivo	45	probabile	coesivo
13.600	3.218	esclusa - comportamento coesivo	44	probabile	coesivo
13.800	3.307	esclusa - comportamento coesivo	42	probabile	coesivo
14.000	3.466	esclusa - comportamento coesivo	39	probabile	coesivo
14.200	3.671	esclusa - comportamento coesivo	38	probabile	coesivo
14.400	3.213	esclusa - comportamento coesivo	44	probabile	coesivo
14.600	3.393	esclusa - comportamento coesivo	41	probabile	coesivo
14.800	3.496	esclusa - comportamento coesivo	40	probabile	coesivo
15.000	3.430	esclusa - comportamento coesivo	41	probabile	coesivo

Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Boulanger e Idriss, 2004



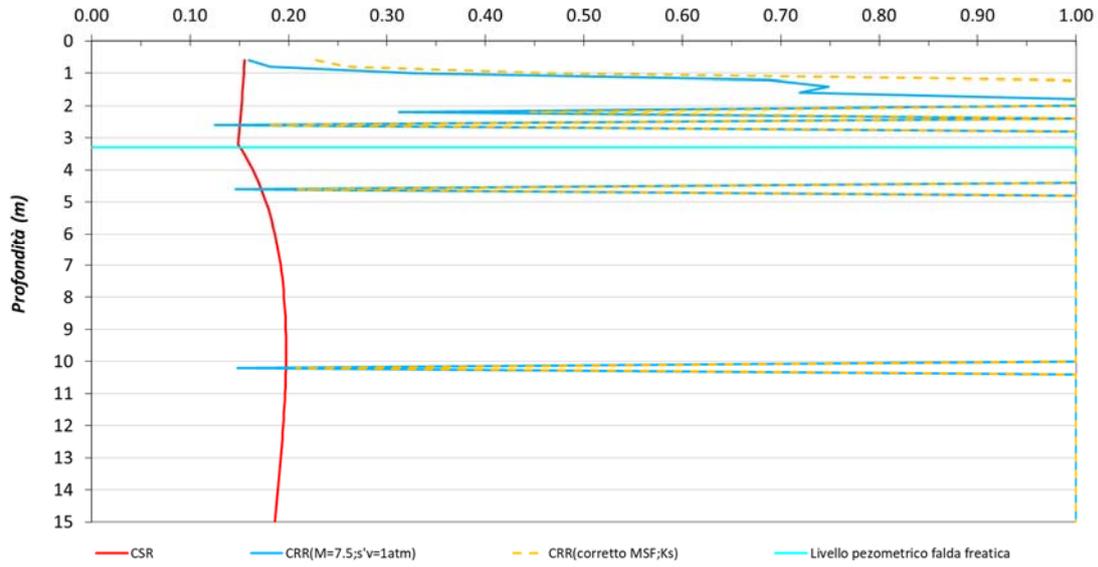
PROVA PENETROMETRICA CPT1

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - METODO Boulanger e Idriss, 2004



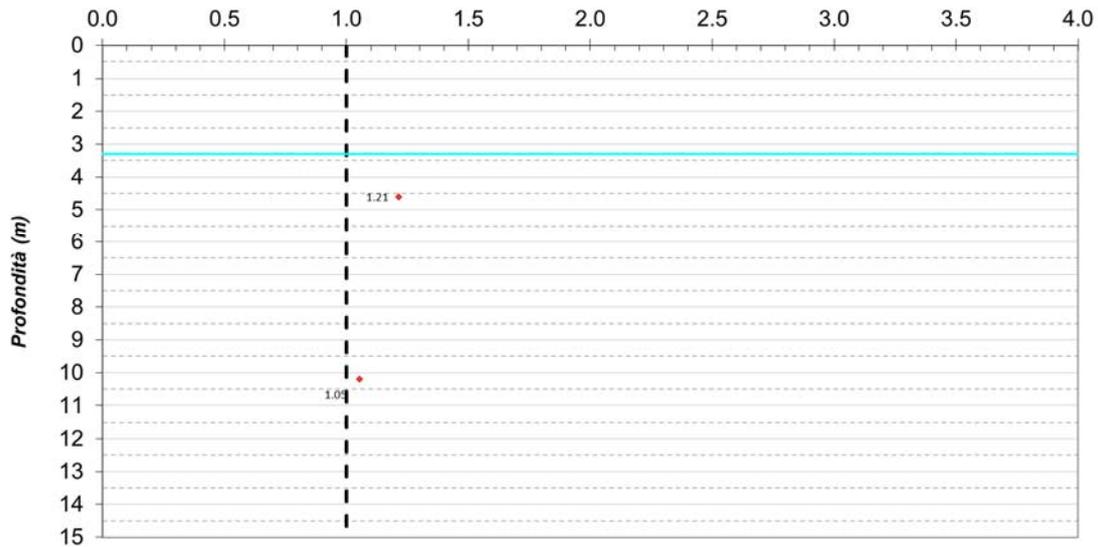
Z (m)	Ic	Liquefacibilità	(q _{c1N}) _{cs}	Liquefacibilità	F _L
0.600	2.459	probabile	110	probabile	non saturo
0.800	2.311	probabile	121	probabile	non saturo
1.000	2.227	probabile	160	probabile	non saturo
1.200	2.214	probabile	188	esclusa - troppo consistente	non saturo
1.400	2.143	probabile	190	esclusa - troppo consistente	non saturo
1.600	2.319	probabile	189	esclusa - troppo consistente	non saturo
1.800	2.618	esclusa - comportamento coesivo	198	esclusa - troppo consistente	non saturo
2.000	2.611	esclusa - comportamento coesivo	190	esclusa - troppo consistente	non saturo
2.200	2.543	probabile	158	probabile	non saturo
2.400	2.794	esclusa - comportamento coesivo	171	probabile	non saturo
2.600	2.500	probabile	89	probabile	non saturo
2.800	2.832	esclusa - comportamento coesivo	134	probabile	non saturo
3.000	2.744	esclusa - comportamento coesivo	86	probabile	non saturo
3.200	3.301	esclusa - comportamento coesivo	99	probabile	non saturo
3.400	3.392	esclusa - comportamento coesivo	110	probabile	coesivo
3.600	3.276	esclusa - comportamento coesivo	120	probabile	coesivo
3.800	2.889	esclusa - comportamento coesivo	86	probabile	coesivo
4.000	3.693	esclusa - comportamento coesivo	127	probabile	coesivo
4.200	2.848	esclusa - comportamento coesivo	90	probabile	coesivo
4.400	3.542	esclusa - comportamento coesivo	140	probabile	coesivo
4.600	2.594	probabile	102	probabile	1.21
4.800	2.872	esclusa - comportamento coesivo	89	probabile	coesivo
5.000	3.460	esclusa - comportamento coesivo	119	probabile	coesivo
5.200	3.051	esclusa - comportamento coesivo	134	probabile	coesivo
5.400	2.752	esclusa - comportamento coesivo	129	probabile	coesivo
5.600	2.728	esclusa - comportamento coesivo	131	probabile	coesivo
5.800	2.791	esclusa - comportamento coesivo	139	probabile	coesivo
6.000	2.770	esclusa - comportamento coesivo	127	probabile	coesivo
6.200	2.916	esclusa - comportamento coesivo	111	probabile	coesivo
6.400	2.978	esclusa - comportamento coesivo	107	probabile	coesivo
6.600	3.079	esclusa - comportamento coesivo	108	probabile	coesivo
6.800	3.086	esclusa - comportamento coesivo	108	probabile	coesivo
7.000	3.234	esclusa - comportamento coesivo	113	probabile	coesivo
7.200	3.004	esclusa - comportamento coesivo	106	probabile	coesivo
7.400	3.273	esclusa - comportamento coesivo	116	probabile	coesivo
7.600	3.247	esclusa - comportamento coesivo	130	probabile	coesivo
7.800	2.898	esclusa - comportamento coesivo	141	probabile	coesivo
8.000	3.037	esclusa - comportamento coesivo	112	probabile	coesivo
8.200	3.134	esclusa - comportamento coesivo	105	probabile	coesivo
8.400	3.197	esclusa - comportamento coesivo	105	probabile	coesivo
8.600	3.230	esclusa - comportamento coesivo	109	probabile	coesivo
8.800	3.010	esclusa - comportamento coesivo	102	probabile	coesivo
9.000	3.376	esclusa - comportamento coesivo	109	probabile	coesivo
9.200	3.135	esclusa - comportamento coesivo	121	probabile	coesivo
9.400	2.673	esclusa - comportamento coesivo	89	probabile	coesivo
9.600	3.119	esclusa - comportamento coesivo	79	probabile	coesivo
9.800	3.817	esclusa - comportamento coesivo	107	probabile	coesivo
10.000	3.176	esclusa - comportamento coesivo	123	probabile	coesivo
10.200	2.597	probabile	103	probabile	1.05
10.400	2.700	esclusa - comportamento coesivo	92	probabile	coesivo
10.600	3.201	esclusa - comportamento coesivo	115	probabile	coesivo
10.800	2.899	esclusa - comportamento coesivo	113	probabile	coesivo
11.000	2.837	esclusa - comportamento coesivo	105	probabile	coesivo
11.200	3.175	esclusa - comportamento coesivo	107	probabile	coesivo
11.400	3.231	esclusa - comportamento coesivo	107	probabile	coesivo
11.600	3.209	esclusa - comportamento coesivo	110	probabile	coesivo
11.800	3.188	esclusa - comportamento coesivo	113	probabile	coesivo
12.000	3.173	esclusa - comportamento coesivo	109	probabile	coesivo
12.200	3.332	esclusa - comportamento coesivo	109	probabile	coesivo
12.400	3.282	esclusa - comportamento coesivo	109	probabile	coesivo
12.600	3.288	esclusa - comportamento coesivo	109	probabile	coesivo
12.800	3.262	esclusa - comportamento coesivo	111	probabile	coesivo
13.000	2.833	esclusa - comportamento coesivo	98	probabile	coesivo
13.200	3.205	esclusa - comportamento coesivo	107	probabile	coesivo
13.400	3.279	esclusa - comportamento coesivo	110	probabile	coesivo
13.600	3.218	esclusa - comportamento coesivo	100	probabile	coesivo
13.800	3.307	esclusa - comportamento coesivo	97	probabile	coesivo
14.000	3.466	esclusa - comportamento coesivo	91	probabile	coesivo
14.200	3.671	esclusa - comportamento coesivo	104	probabile	coesivo
14.400	3.213	esclusa - comportamento coesivo	95	probabile	coesivo
14.600	3.393	esclusa - comportamento coesivo	97	probabile	coesivo
14.800	3.496	esclusa - comportamento coesivo	100	probabile	coesivo
15.000	3.430	esclusa - comportamento coesivo	100	probabile	coesivo

Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Linee Guida AGI, 2005



PROVA PENETROMETRICA CPT1

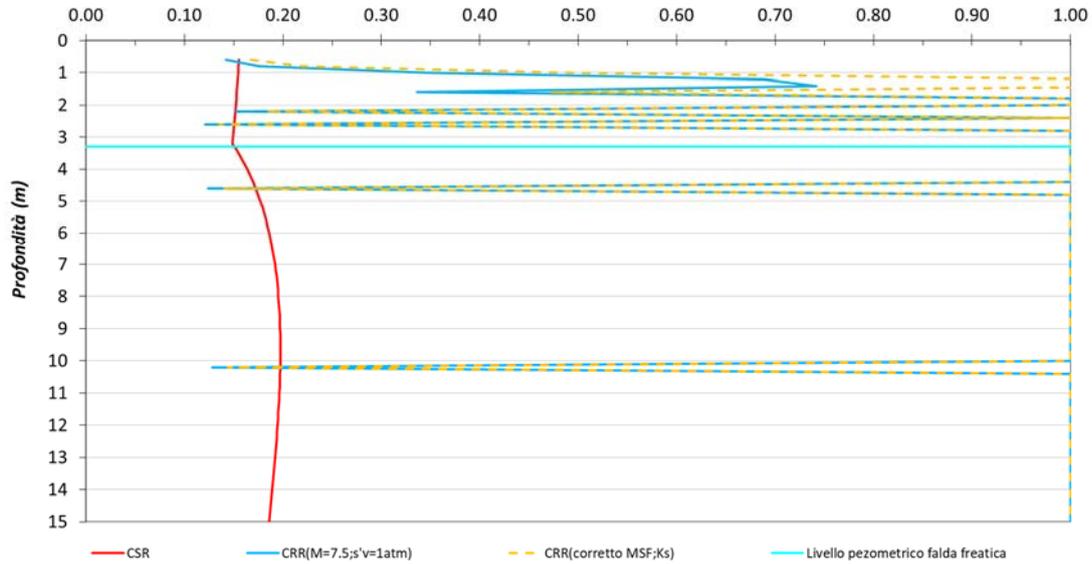
Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - LINEE GUIDA AGI (2005)



CPT1 – Metodo ER

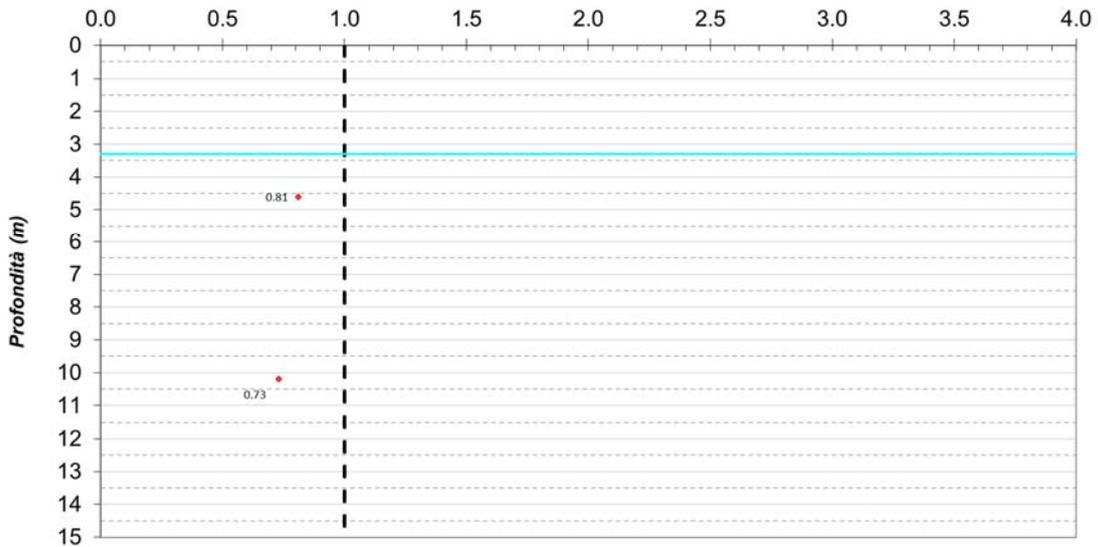
Z (m)	Ic	Liquefacibilità	(q _{c1m}) _{es}	Liquefacibilità	F _L
0.600	2.459	probabile	103	probabile	non saturo
0.800	2.311	probabile	122	probabile	non saturo
1.000	2.227	probabile	157	probabile	non saturo
1.200	2.214	probabile	179	probabile	non saturo
1.400	2.143	probabile	181	esclusa - troppo consistente	non saturo
1.600	2.319	probabile	156	probabile	non saturo
1.800	2.618	esclusa - comportamento coesivo	121	probabile	non saturo
2.000	2.611	esclusa - comportamento coesivo	117	probabile	non saturo
2.200	2.543	probabile	110	probabile	non saturo
2.400	2.794	esclusa - comportamento coesivo	92	probabile	non saturo
2.600	2.500	probabile	86	probabile	non saturo
2.800	2.832	esclusa - comportamento coesivo	81	probabile	non saturo
3.000	2.744	esclusa - comportamento coesivo	73	probabile	non saturo
3.200	3.301	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	non saturo
3.400	3.392	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	coesivo
3.600	3.276	esclusa - comportamento coesivo	64	probabile	coesivo
3.800	2.889	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
4.000	3.693	esclusa - comportamento coesivo	59	probabile	coesivo
4.200	2.848	esclusa - comportamento coesivo	71	probabile	coesivo
4.400	3.542	esclusa - comportamento coesivo	62	probabile	coesivo
4.600	2.594	probabile	88	probabile	0.81
4.800	2.872	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
5.000	3.460	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	coesivo
5.200	3.051	esclusa - comportamento coesivo	73	probabile	coesivo
5.400	2.752	esclusa - comportamento coesivo	86	probabile	coesivo
5.600	2.728	esclusa - comportamento coesivo	89	probabile	coesivo
5.800	2.791	esclusa - comportamento coesivo	87	probabile	coesivo
6.000	2.770	esclusa - comportamento coesivo	85	probabile	coesivo
6.200	2.916	esclusa - comportamento coesivo	74	probabile	coesivo
6.400	2.978	esclusa - comportamento coesivo	71	probabile	coesivo
6.600	3.079	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
6.800	3.086	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
7.000	3.234	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	coesivo
7.200	3.004	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
7.400	3.273	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	coesivo
7.600	3.247	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
7.800	2.898	esclusa - comportamento coesivo	82	probabile	coesivo
8.000	3.037	esclusa - comportamento coesivo	71	probabile	coesivo
8.200	3.134	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
8.400	3.197	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	coesivo
8.600	3.230	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	coesivo
8.800	3.010	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
9.000	3.376	esclusa - comportamento coesivo	63	probabile	coesivo
9.200	3.135	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
9.400	2.673	esclusa - comportamento coesivo	81	probabile	coesivo
9.600	3.119	esclusa - comportamento coesivo	64	probabile	coesivo
9.800	3.817	esclusa - comportamento coesivo	58	probabile	coesivo
10.000	3.176	esclusa - comportamento coesivo	69	probabile	coesivo
10.200	2.597	probabile	92	probabile	0.73
10.400	2.700	esclusa - comportamento coesivo	81	probabile	coesivo
10.600	3.201	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
10.800	2.899	esclusa - comportamento coesivo	78	probabile	coesivo
11.000	2.837	esclusa - comportamento coesivo	78	probabile	coesivo
11.200	3.175	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
11.400	3.231	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	coesivo
11.600	3.209	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
11.800	3.188	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
12.000	3.173	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
12.200	3.332	esclusa - comportamento coesivo	64	probabile	coesivo
12.400	3.282	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	coesivo
12.600	3.288	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	coesivo
12.800	3.262	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	coesivo
13.000	2.833	esclusa - comportamento coesivo	78	probabile	coesivo
13.200	3.205	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
13.400	3.279	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	coesivo
13.600	3.218	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	coesivo
13.800	3.307	esclusa - comportamento coesivo	64	probabile	coesivo
14.000	3.466	esclusa - comportamento coesivo	60	probabile	coesivo
14.200	3.671	esclusa - comportamento coesivo	59	probabile	coesivo
14.400	3.213	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	coesivo
14.600	3.393	esclusa - comportamento coesivo	62	probabile	coesivo
14.800	3.496	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	coesivo
15.000	3.430	esclusa - comportamento coesivo	62	probabile	coesivo

Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Regione E.R. DGR 476/2021



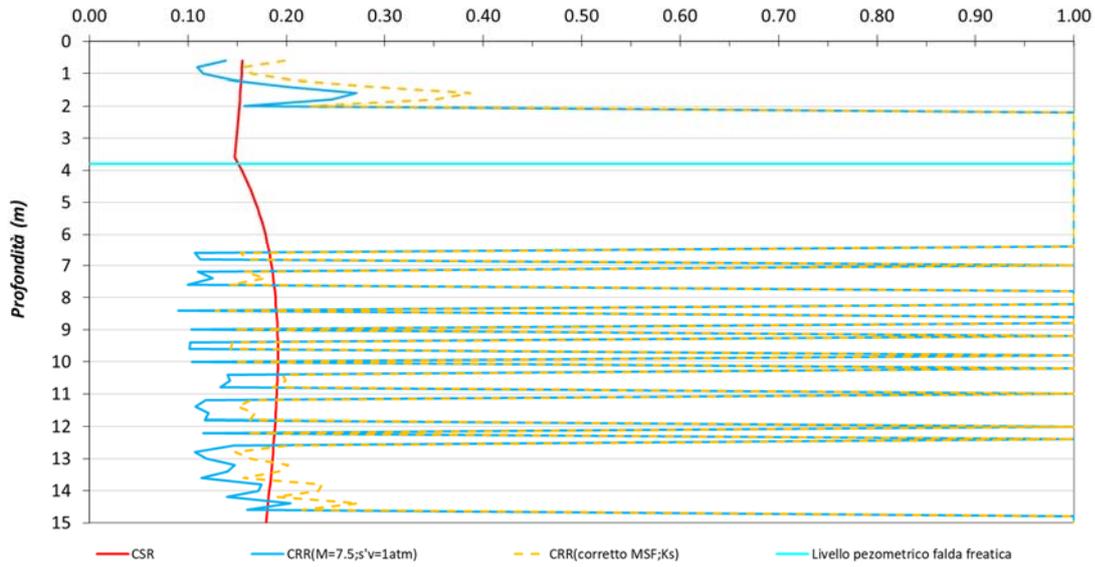
PROVA PENETROMETRICA CPT1

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - REGIONE E.R. (DGR 476/2021)



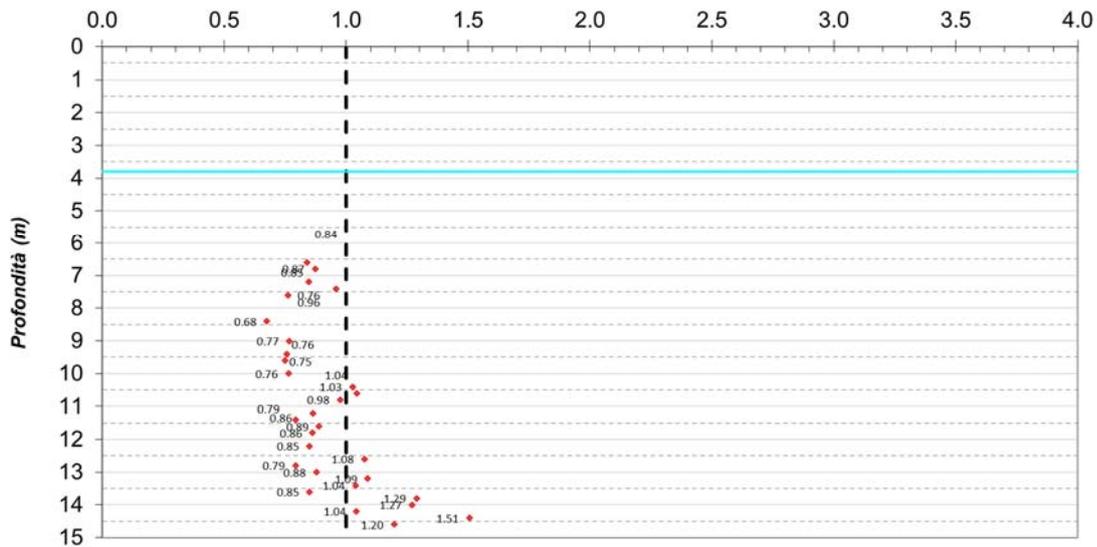
Z (m)	Ic	Liquefabilità	(d _{cl}) _{cs}	Liquefabilità	F _L
0.600	2.024	probabile	98	probabile	non saturo
0.800	2.347	probabile	78	probabile	non saturo
1.000	2.522	probabile	82	probabile	non saturo
1.200	2.552	probabile	102	probabile	non saturo
1.400	2.365	probabile	130	probabile	non saturo
1.600	2.282	probabile	150	probabile	non saturo
1.800	2.294	probabile	144	probabile	non saturo
2.000	2.367	probabile	108	probabile	non saturo
2.200	2.850	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	non saturo
2.400	2.803	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	non saturo
2.600	2.893	esclusa - comportamento coesivo	59	probabile	non saturo
2.800	3.043	esclusa - comportamento coesivo	55	probabile	non saturo
3.000	2.835	esclusa - comportamento coesivo	55	probabile	non saturo
3.200	3.143	esclusa - comportamento coesivo	45	probabile	non saturo
3.400	3.458	esclusa - comportamento coesivo	42	probabile	non saturo
3.600	2.946	esclusa - comportamento coesivo	54	probabile	non saturo
3.800	2.894	esclusa - comportamento coesivo	57	probabile	coesivo
4.000	2.991	esclusa - comportamento coesivo	53	probabile	coesivo
4.200	2.691	esclusa - comportamento coesivo	59	probabile	coesivo
4.400	3.383	esclusa - comportamento coesivo	42	probabile	coesivo
4.600	2.851	esclusa - comportamento coesivo	57	probabile	coesivo
4.800	2.858	esclusa - comportamento coesivo	57	probabile	coesivo
5.000	2.794	esclusa - comportamento coesivo	58	probabile	coesivo
5.200	2.840	esclusa - comportamento coesivo	56	probabile	coesivo
5.400	2.846	esclusa - comportamento coesivo	55	probabile	coesivo
5.600	3.314	esclusa - comportamento coesivo	43	probabile	coesivo
5.800	3.385	esclusa - comportamento coesivo	43	probabile	coesivo
6.000	2.927	esclusa - comportamento coesivo	54	probabile	coesivo
6.200	2.865	esclusa - comportamento coesivo	55	probabile	coesivo
6.400	3.266	esclusa - comportamento coesivo	48	probabile	coesivo
6.600	2.597	probabile	76	probabile	0.84
6.800	2.467	probabile	80	probabile	0.87
7.000	2.689	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
7.200	2.575	probabile	78	probabile	0.85
7.400	2.407	probabile	89	probabile	0.96
7.600	2.575	probabile	70	probabile	0.76
7.800	3.294	esclusa - comportamento coesivo	45	probabile	coesivo
8.000	2.724	esclusa - comportamento coesivo	62	probabile	coesivo
8.200	2.755	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	coesivo
8.400	2.551	probabile	62	probabile	0.68
8.600	3.469	esclusa - comportamento coesivo	41	probabile	coesivo
8.800	2.739	esclusa - comportamento coesivo	63	probabile	coesivo
9.000	2.535	probabile	73	probabile	0.77
9.200	2.752	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	coesivo
9.400	2.566	probabile	72	probabile	0.76
9.600	2.525	probabile	71	probabile	0.75
9.800	2.694	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	coesivo
10.000	2.583	probabile	73	probabile	0.76
10.200	2.767	esclusa - comportamento coesivo	76	probabile	coesivo
10.400	2.487	probabile	99	probabile	1.03
10.600	2.480	probabile	100	probabile	1.04
10.800	2.293	probabile	94	probabile	0.98
11.000	2.623	esclusa - comportamento coesivo	71	probabile	coesivo
11.200	2.416	probabile	84	probabile	0.86
11.400	2.535	probabile	76	probabile	0.79
11.600	2.421	probabile	86	probabile	0.89
11.800	2.432	probabile	83	probabile	0.86
12.000	2.658	esclusa - comportamento coesivo	71	probabile	coesivo
12.200	2.501	probabile	82	probabile	0.85
12.400	2.631	esclusa - comportamento coesivo	75	probabile	coesivo
12.600	2.313	probabile	102	probabile	1.08
12.800	2.581	probabile	76	probabile	0.79
13.000	2.494	probabile	84	probabile	0.88
13.200	2.283	probabile	103	probabile	1.09
13.400	2.308	probabile	99	probabile	1.04
13.600	2.529	probabile	81	probabile	0.85
13.800	2.158	probabile	118	probabile	1.29
14.000	2.167	probabile	116	probabile	1.27
14.200	2.351	probabile	98	probabile	1.04
14.400	2.026	probabile	130	probabile	1.51
14.600	2.118	probabile	110	probabile	1.20
14.800	3.081	esclusa - comportamento coesivo	49	probabile	coesivo
15.000	2.700	esclusa - comportamento coesivo	62	probabile	coesivo

Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Boulanger e Idriss, 2004



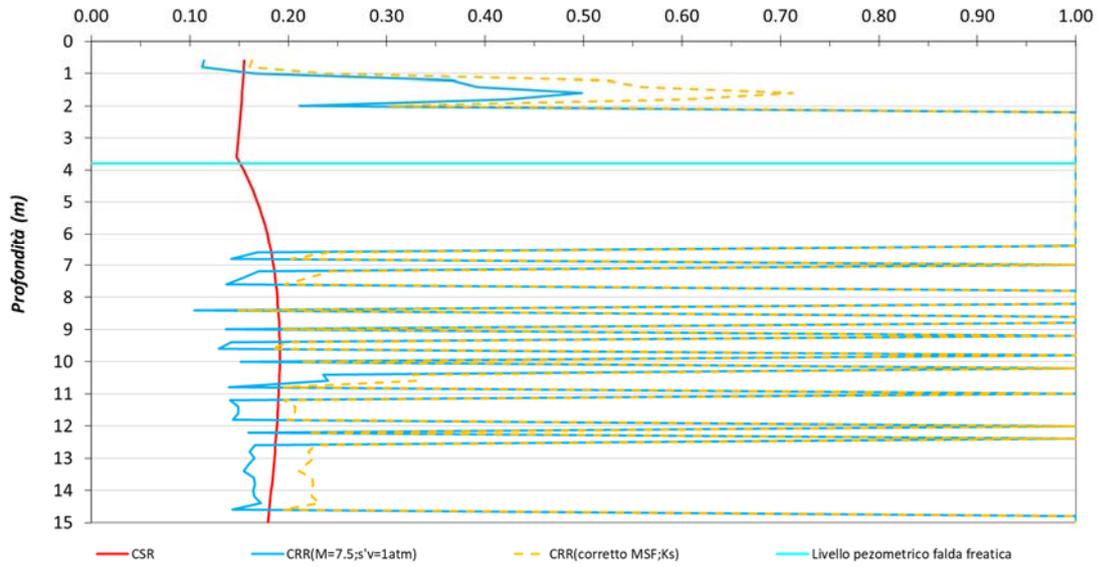
PROVA PENETROMETRICA CPT2

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - METODO Boulanger e Idriss, 2004



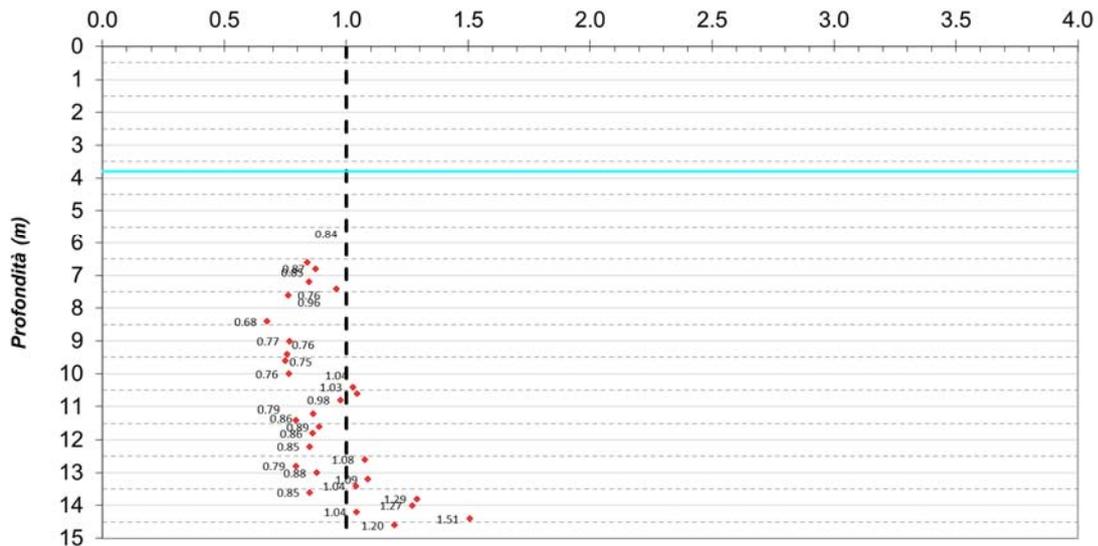
Z (m)	Ic	Liquefacibilità	(q _{c1N}) _{cs}	Liquefacibilità	F _L
0.600	2.024	probabile	81	probabile	non saturo
0.800	2.347	probabile	80	probabile	non saturo
1.000	2.522	probabile	114	probabile	non saturo
1.200	2.552	probabile	165	probabile	non saturo
1.400	2.365	probabile	168	probabile	non saturo
1.600	2.282	probabile	178	probabile	non saturo
1.800	2.294	probabile	171	probabile	non saturo
2.000	2.367	probabile	133	probabile	non saturo
2.200	2.850	esclusa - comportamento coesivo	138	probabile	non saturo
2.400	2.803	esclusa - comportamento coesivo	127	probabile	non saturo
2.600	2.893	esclusa - comportamento coesivo	120	probabile	non saturo
2.800	3.043	esclusa - comportamento coesivo	131	probabile	non saturo
3.000	2.835	esclusa - comportamento coesivo	95	probabile	non saturo
3.200	3.143	esclusa - comportamento coesivo	92	probabile	non saturo
3.400	3.458	esclusa - comportamento coesivo	119	probabile	non saturo
3.600	2.946	esclusa - comportamento coesivo	109	probabile	non saturo
3.800	2.894	esclusa - comportamento coesivo	112	probabile	coesivo
4.000	2.991	esclusa - comportamento coesivo	114	probabile	coesivo
4.200	2.691	esclusa - comportamento coesivo	85	probabile	coesivo
4.400	3.383	esclusa - comportamento coesivo	110	probabile	coesivo
4.600	2.851	esclusa - comportamento coesivo	104	probabile	coesivo
4.800	2.858	esclusa - comportamento coesivo	103	probabile	coesivo
5.000	2.794	esclusa - comportamento coesivo	96	probabile	coesivo
5.200	2.840	esclusa - comportamento coesivo	97	probabile	coesivo
5.400	2.846	esclusa - comportamento coesivo	97	probabile	coesivo
5.600	3.314	esclusa - comportamento coesivo	102	probabile	coesivo
5.800	3.385	esclusa - comportamento coesivo	111	probabile	coesivo
6.000	2.927	esclusa - comportamento coesivo	106	probabile	coesivo
6.200	2.865	esclusa - comportamento coesivo	100	probabile	coesivo
6.400	3.266	esclusa - comportamento coesivo	133	probabile	coesivo
6.600	2.597	probabile	114	probabile	1.32
6.800	2.467	probabile	100	probabile	1.10
7.000	2.689	esclusa - comportamento coesivo	116	probabile	coesivo
7.200	2.575	probabile	115	probabile	1.31
7.400	2.407	probabile	107	probabile	1.18
7.600	2.575	probabile	97	probabile	1.05
7.800	3.294	esclusa - comportamento coesivo	114	probabile	coesivo
8.000	2.724	esclusa - comportamento coesivo	100	probabile	coesivo
8.200	2.755	esclusa - comportamento coesivo	100	probabile	coesivo
8.400	2.551	probabile	74	probabile	0.79
8.600	3.469	esclusa - comportamento coesivo	112	probabile	coesivo
8.800	2.739	esclusa - comportamento coesivo	106	probabile	coesivo
9.000	2.535	probabile	96	probabile	1.01
9.200	2.752	esclusa - comportamento coesivo	102	probabile	coesivo
9.400	2.566	probabile	100	probabile	1.05
9.600	2.525	probabile	92	probabile	0.95
9.800	2.694	esclusa - comportamento coesivo	103	probabile	coesivo
10.000	2.583	probabile	105	probabile	1.11
10.200	2.767	esclusa - comportamento coesivo	154	probabile	coesivo
10.400	2.487	probabile	141	probabile	1.71
10.600	2.480	probabile	142	probabile	1.74
10.800	2.293	probabile	98	probabile	1.02
11.000	2.623	esclusa - comportamento coesivo	107	probabile	coesivo
11.200	2.416	probabile	99	probabile	1.03
11.400	2.535	probabile	104	probabile	1.09
11.600	2.421	probabile	104	probabile	1.09
11.800	2.432	probabile	101	probabile	1.06
12.000	2.658	esclusa - comportamento coesivo	115	probabile	coesivo
12.200	2.501	probabile	110	probabile	1.17
12.400	2.631	esclusa - comportamento coesivo	118	probabile	coesivo
12.600	2.313	probabile	113	probabile	1.22
12.800	2.581	probabile	111	probabile	1.18
13.000	2.494	probabile	113	probabile	1.22
13.200	2.283	probabile	110	probabile	1.18
13.400	2.308	probabile	107	probabile	1.14
13.600	2.529	probabile	113	probabile	1.22
13.800	2.158	probabile	113	probabile	1.23
14.000	2.167	probabile	113	probabile	1.22
14.200	2.351	probabile	113	probabile	1.23
14.400	2.026	probabile	116	probabile	1.28
14.600	2.118	probabile	101	probabile	1.08
14.800	3.081	esclusa - comportamento coesivo	104	probabile	coesivo
15.000	2.700	esclusa - comportamento coesivo	95	probabile	coesivo

Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Linee Guida AGI, 2005



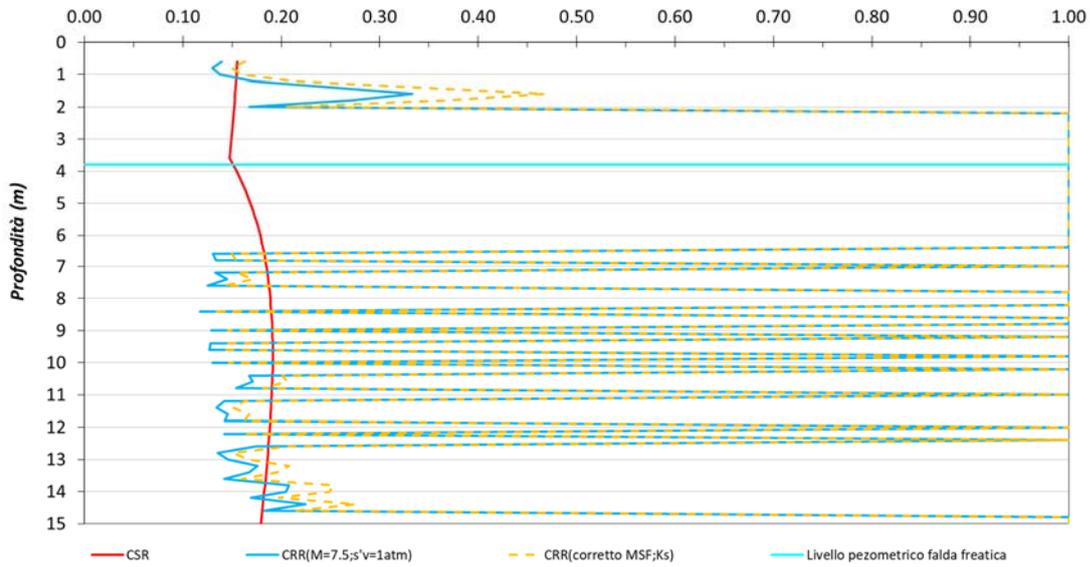
PROVA PENETROMETRICA CPT2

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - METODO Boulanger e Idriss, 2004



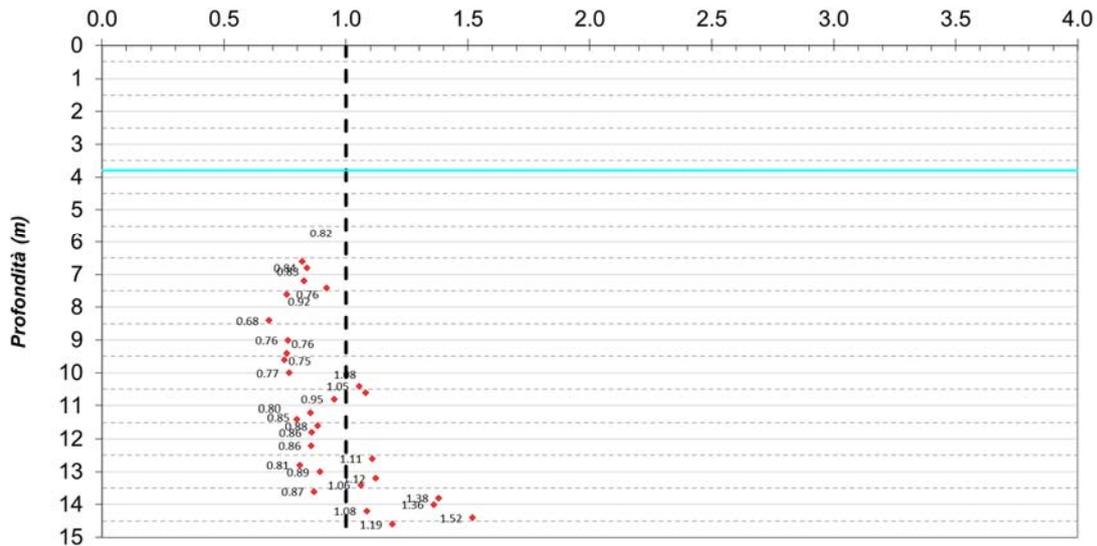
Z (m)	Ic	Liquefabilità	(q _{cl}) _{es}	Liquefabilità	F _L
0.600	2.024	probabile	102	probabile	non saturo
0.800	2.347	probabile	94	probabile	non saturo
1.000	2.522	probabile	100	probabile	non saturo
1.200	2.552	probabile	120	probabile	non saturo
1.400	2.365	probabile	145	probabile	non saturo
1.600	2.282	probabile	156	probabile	non saturo
1.800	2.294	probabile	147	probabile	non saturo
2.000	2.367	probabile	118	probabile	non saturo
2.200	2.850	esclusa - comportamento coesivo	83	probabile	non saturo
2.400	2.803	esclusa - comportamento coesivo	82	probabile	non saturo
2.600	2.893	esclusa - comportamento coesivo	75	probabile	non saturo
2.800	3.043	esclusa - comportamento coesivo	71	probabile	non saturo
3.000	2.835	esclusa - comportamento coesivo	72	probabile	non saturo
3.200	3.143	esclusa - comportamento coesivo	63	probabile	non saturo
3.400	3.458	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	non saturo
3.600	2.946	esclusa - comportamento coesivo	71	probabile	non saturo
3.800	2.894	esclusa - comportamento coesivo	74	probabile	coesivo
4.000	2.991	esclusa - comportamento coesivo	71	probabile	coesivo
4.200	2.691	esclusa - comportamento coesivo	77	probabile	coesivo
4.400	3.383	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	coesivo
4.600	2.851	esclusa - comportamento coesivo	74	probabile	coesivo
4.800	2.858	esclusa - comportamento coesivo	74	probabile	coesivo
5.000	2.794	esclusa - comportamento coesivo	75	probabile	coesivo
5.200	2.840	esclusa - comportamento coesivo	74	probabile	coesivo
5.400	2.846	esclusa - comportamento coesivo	73	probabile	coesivo
5.600	3.314	esclusa - comportamento coesivo	62	probabile	coesivo
5.800	3.385	esclusa - comportamento coesivo	62	probabile	coesivo
6.000	2.927	esclusa - comportamento coesivo	73	probabile	coesivo
6.200	2.865	esclusa - comportamento coesivo	74	probabile	coesivo
6.400	3.266	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
6.600	2.597	probabile	94	probabile	0.82
6.800	2.467	probabile	97	probabile	0.84
7.000	2.689	esclusa - comportamento coesivo	88	probabile	coesivo
7.200	2.575	probabile	97	probabile	0.83
7.400	2.407	probabile	105	probabile	0.92
7.600	2.575	probabile	90	probabile	0.76
7.800	3.294	esclusa - comportamento coesivo	64	probabile	coesivo
8.000	2.724	esclusa - comportamento coesivo	82	probabile	coesivo
8.200	2.755	esclusa - comportamento coesivo	80	probabile	coesivo
8.400	2.551	probabile	82	probabile	0.68
8.600	3.469	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	coesivo
8.800	2.739	esclusa - comportamento coesivo	83	probabile	coesivo
9.000	2.535	probabile	93	probabile	0.76
9.200	2.752	esclusa - comportamento coesivo	81	probabile	coesivo
9.400	2.566	probabile	93	probabile	0.76
9.600	2.525	probabile	92	probabile	0.75
9.800	2.694	esclusa - comportamento coesivo	85	probabile	coesivo
10.000	2.583	probabile	94	probabile	0.77
10.200	2.767	esclusa - comportamento coesivo	96	probabile	coesivo
10.400	2.487	probabile	118	probabile	1.05
10.600	2.480	probabile	120	probabile	1.08
10.800	2.293	probabile	111	probabile	0.95
11.000	2.623	esclusa - comportamento coesivo	93	probabile	coesivo
11.200	2.416	probabile	103	probabile	0.85
11.400	2.535	probabile	98	probabile	0.80
11.600	2.421	probabile	106	probabile	0.88
11.800	2.432	probabile	104	probabile	0.86
12.000	2.658	esclusa - comportamento coesivo	93	probabile	coesivo
12.200	2.501	probabile	103	probabile	0.86
12.400	2.631	esclusa - comportamento coesivo	97	probabile	coesivo
12.600	2.313	probabile	121	probabile	1.11
12.800	2.581	probabile	98	probabile	0.81
13.000	2.494	probabile	106	probabile	0.89
13.200	2.283	probabile	122	probabile	1.12
13.400	2.308	probabile	118	probabile	1.06
13.600	2.529	probabile	104	probabile	0.87
13.800	2.158	probabile	133	probabile	1.38
14.000	2.167	probabile	132	probabile	1.36
14.200	2.351	probabile	119	probabile	1.08
14.400	2.026	probabile	138	probabile	1.52
14.600	2.118	probabile	125	probabile	1.19
14.800	3.081	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
15.000	2.700	esclusa - comportamento coesivo	85	probabile	coesivo

Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Regione E.R. DGR 476/2021



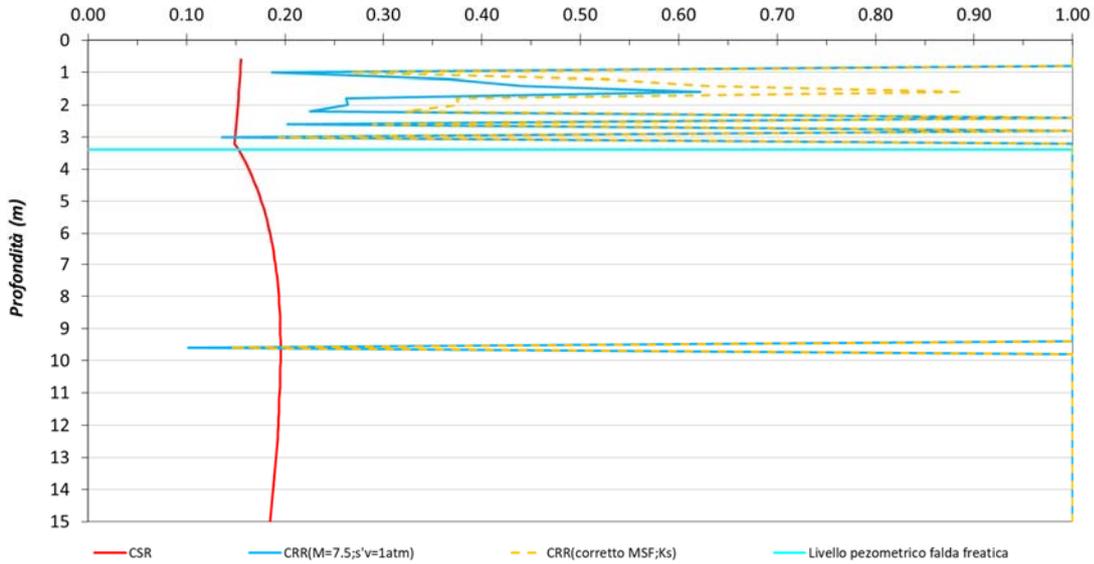
PROVA PENETROMETRICA CPT2

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - REGIONE E.R. (DGR 476/2021)



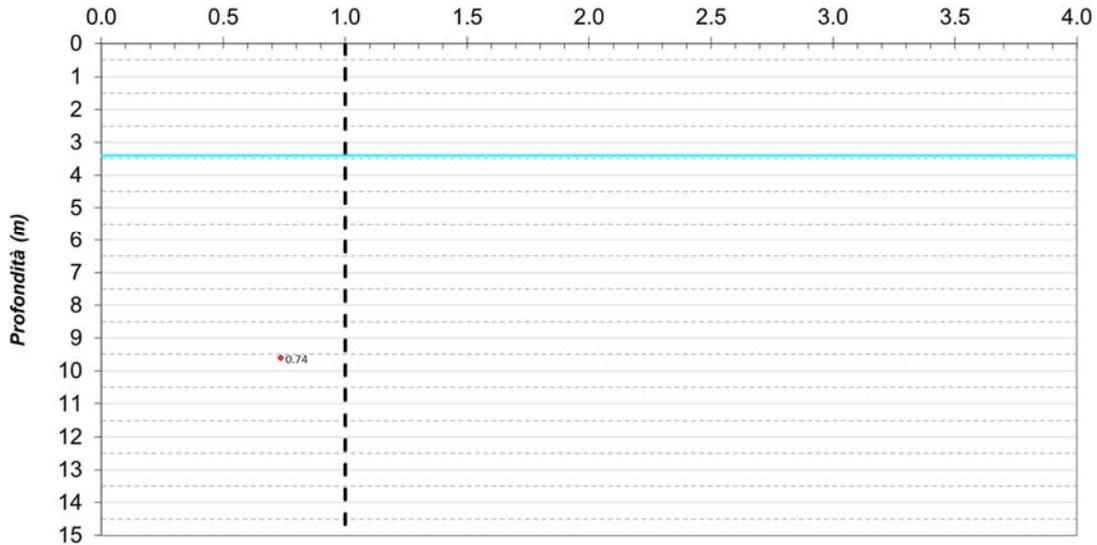
Z (m)	Ic	Liquefabilità	(q _{cl}) _{cs}	Liquefabilità	F _L
0.600	2.675	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	non saturo
0.800	2.623	esclusa - comportamento coesivo	87	probabile	non saturo
1.000	2.339	probabile	123	probabile	non saturo
1.200	2.134	probabile	166	probabile	non saturo
1.400	2.208	probabile	173	probabile	non saturo
1.600	2.181	probabile	185	esclusa - troppo consistente	non saturo
1.800	2.376	probabile	148	probabile	non saturo
2.000	2.389	probabile	148	probabile	non saturo
2.200	2.470	probabile	138	probabile	non saturo
2.400	2.623	esclusa - comportamento coesivo	114	probabile	non saturo
2.600	2.502	probabile	130	probabile	non saturo
2.800	2.620	esclusa - comportamento coesivo	107	probabile	non saturo
3.000	2.574	probabile	96	probabile	non saturo
3.200	2.778	esclusa - comportamento coesivo	76	probabile	non saturo
3.400	2.761	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
3.600	2.939	esclusa - comportamento coesivo	58	probabile	coesivo
3.800	2.706	esclusa - comportamento coesivo	57	probabile	coesivo
4.000	3.628	esclusa - comportamento coesivo	39	probabile	coesivo
4.200	3.182	esclusa - comportamento coesivo	50	probabile	coesivo
4.400	2.959	esclusa - comportamento coesivo	54	probabile	coesivo
4.600	3.212	esclusa - comportamento coesivo	47	probabile	coesivo
4.800	2.973	esclusa - comportamento coesivo	54	probabile	coesivo
5.000	3.053	esclusa - comportamento coesivo	55	probabile	coesivo
5.200	3.038	esclusa - comportamento coesivo	56	probabile	coesivo
5.400	2.871	esclusa - comportamento coesivo	63	probabile	coesivo
5.600	2.810	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
5.800	2.807	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
6.000	2.820	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
6.200	2.866	esclusa - comportamento coesivo	62	probabile	coesivo
6.400	2.956	esclusa - comportamento coesivo	55	probabile	coesivo
6.600	3.195	esclusa - comportamento coesivo	47	probabile	coesivo
6.800	3.073	esclusa - comportamento coesivo	50	probabile	coesivo
7.000	3.081	esclusa - comportamento coesivo	51	probabile	coesivo
7.200	3.087	esclusa - comportamento coesivo	51	probabile	coesivo
7.400	3.050	esclusa - comportamento coesivo	52	probabile	coesivo
7.600	3.077	esclusa - comportamento coesivo	50	probabile	coesivo
7.800	3.004	esclusa - comportamento coesivo	50	probabile	coesivo
8.000	3.159	esclusa - comportamento coesivo	48	probabile	coesivo
8.200	3.118	esclusa - comportamento coesivo	49	probabile	coesivo
8.400	3.101	esclusa - comportamento coesivo	50	probabile	coesivo
8.600	3.064	esclusa - comportamento coesivo	50	probabile	coesivo
8.800	3.244	esclusa - comportamento coesivo	47	probabile	coesivo
9.000	2.634	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
9.200	3.102	esclusa - comportamento coesivo	48	probabile	coesivo
9.400	3.195	esclusa - comportamento coesivo	48	probabile	coesivo
9.600	2.592	probabile	72	probabile	0.74
9.800	2.993	esclusa - comportamento coesivo	51	probabile	coesivo
10.000	3.121	esclusa - comportamento coesivo	46	probabile	coesivo
10.200	3.234	esclusa - comportamento coesivo	45	probabile	coesivo
10.400	3.159	esclusa - comportamento coesivo	48	probabile	coesivo
10.600	2.713	esclusa - comportamento coesivo	60	probabile	coesivo
10.800	3.173	esclusa - comportamento coesivo	45	probabile	coesivo
11.000	3.213	esclusa - comportamento coesivo	47	probabile	coesivo
11.200	3.009	esclusa - comportamento coesivo	53	probabile	coesivo
11.400	3.190	esclusa - comportamento coesivo	46	probabile	coesivo
11.600	3.133	esclusa - comportamento coesivo	43	probabile	coesivo
11.800	3.769	esclusa - comportamento coesivo	36	probabile	coesivo
12.000	3.778	esclusa - comportamento coesivo	36	probabile	coesivo
12.200	3.741	esclusa - comportamento coesivo	36	probabile	coesivo
12.400	3.933	esclusa - comportamento coesivo	35	probabile	coesivo
12.600	3.479	esclusa - comportamento coesivo	41	probabile	coesivo
12.800	3.277	esclusa - comportamento coesivo	44	probabile	coesivo
13.000	3.315	esclusa - comportamento coesivo	43	probabile	coesivo
13.200	3.165	esclusa - comportamento coesivo	46	probabile	coesivo
13.400	3.170	esclusa - comportamento coesivo	45	probabile	coesivo
13.600	3.223	esclusa - comportamento coesivo	44	probabile	coesivo
13.800	3.281	esclusa - comportamento coesivo	43	probabile	coesivo
14.000	3.234	esclusa - comportamento coesivo	44	probabile	coesivo
14.200	3.364	esclusa - comportamento coesivo	40	probabile	coesivo
14.400	3.768	esclusa - comportamento coesivo	37	probabile	coesivo
14.600	3.325	esclusa - comportamento coesivo	43	probabile	coesivo
14.800	3.389	esclusa - comportamento coesivo	42	probabile	coesivo
15.000	3.395	esclusa - comportamento coesivo	41	probabile	coesivo

Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Boulanger e Idriss, 2004



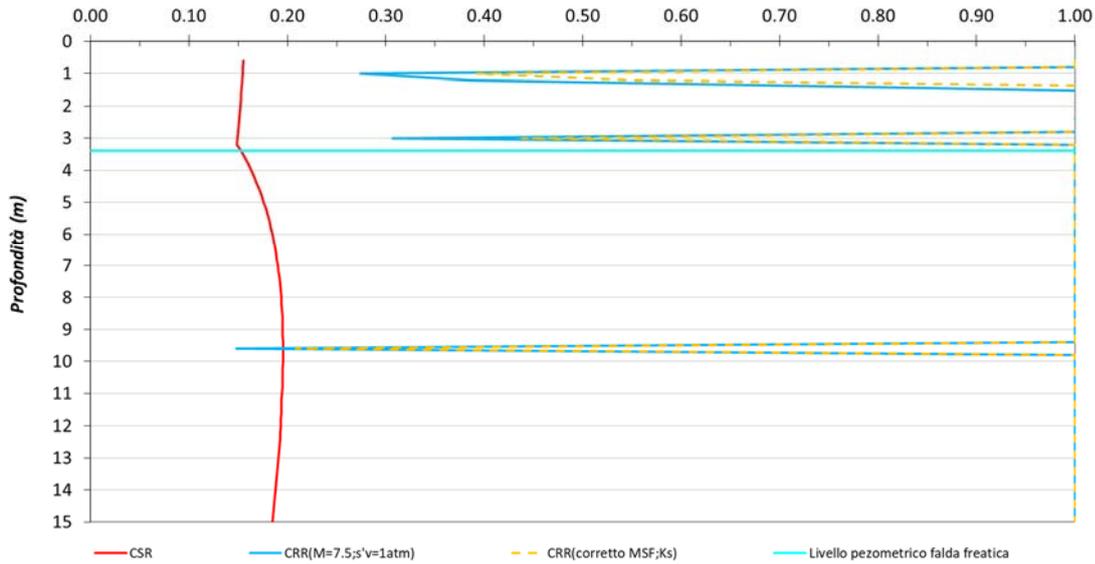
PROVA PENETROMETRICA CPT3

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - METODO Boulanger e Idriss, 2004



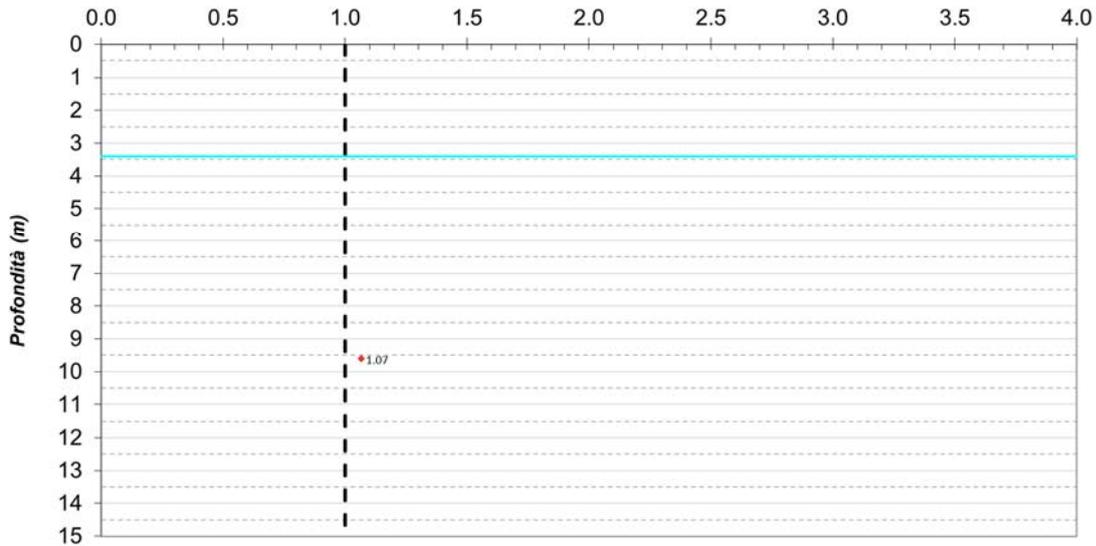
Z (m)	lc	Liquefacibilità	(q_{c1N}) _{cs}	Liquefacibilità	F _l
0.600	2.675	esclusa - comportamento coesivo	101	probabile	non saturo
0.800	2.623	esclusa - comportamento coesivo	149	probabile	non saturo
1.000	2.339	probabile	151	probabile	non saturo
1.200	2.134	probabile	168	probabile	non saturo
1.400	2.208	probabile	191	esclusa - troppo consistente	non saturo
1.600	2.181	probabile	200	esclusa - troppo consistente	non saturo
1.800	2.376	probabile	201	esclusa - troppo consistente	non saturo
2.000	2.389	probabile	206	esclusa - troppo consistente	non saturo
2.200	2.470	probabile	214	esclusa - troppo consistente	non saturo
2.400	2.623	esclusa - comportamento coesivo	218	esclusa - troppo consistente	non saturo
2.600	2.502	probabile	209	esclusa - troppo consistente	non saturo
2.800	2.620	esclusa - comportamento coesivo	199	esclusa - troppo consistente	non saturo
3.000	2.574	probabile	157	probabile	non saturo
3.200	2.778	esclusa - comportamento coesivo	157	probabile	non saturo
3.400	2.761	esclusa - comportamento coesivo	132	probabile	coesivo
3.600	2.939	esclusa - comportamento coesivo	124	probabile	coesivo
3.800	2.706	esclusa - comportamento coesivo	81	probabile	coesivo
4.000	3.628	esclusa - comportamento coesivo	114	probabile	coesivo
4.200	3.182	esclusa - comportamento coesivo	130	probabile	coesivo
4.400	2.959	esclusa - comportamento coesivo	112	probabile	coesivo
4.600	3.212	esclusa - comportamento coesivo	119	probabile	coesivo
4.800	2.973	esclusa - comportamento coesivo	111	probabile	coesivo
5.000	3.053	esclusa - comportamento coesivo	133	probabile	coesivo
5.200	3.038	esclusa - comportamento coesivo	136	probabile	coesivo
5.400	2.871	esclusa - comportamento coesivo	131	probabile	coesivo
5.600	2.810	esclusa - comportamento coesivo	132	probabile	coesivo
5.800	2.807	esclusa - comportamento coesivo	134	probabile	coesivo
6.000	2.820	esclusa - comportamento coesivo	141	probabile	coesivo
6.200	2.866	esclusa - comportamento coesivo	128	probabile	coesivo
6.400	2.956	esclusa - comportamento coesivo	114	probabile	coesivo
6.600	3.195	esclusa - comportamento coesivo	117	probabile	coesivo
6.800	3.073	esclusa - comportamento coesivo	111	probabile	coesivo
7.000	3.081	esclusa - comportamento coesivo	118	probabile	coesivo
7.200	3.087	esclusa - comportamento coesivo	118	probabile	coesivo
7.400	3.050	esclusa - comportamento coesivo	117	probabile	coesivo
7.600	3.077	esclusa - comportamento coesivo	113	probabile	coesivo
7.800	3.004	esclusa - comportamento coesivo	99	probabile	coesivo
8.000	3.159	esclusa - comportamento coesivo	116	probabile	coesivo
8.200	3.118	esclusa - comportamento coesivo	115	probabile	coesivo
8.400	3.101	esclusa - comportamento coesivo	118	probabile	coesivo
8.600	3.064	esclusa - comportamento coesivo	110	probabile	coesivo
8.800	3.244	esclusa - comportamento coesivo	125	probabile	coesivo
9.000	2.634	esclusa - comportamento coesivo	99	probabile	coesivo
9.200	3.102	esclusa - comportamento coesivo	105	probabile	coesivo
9.400	3.195	esclusa - comportamento coesivo	120	probabile	coesivo
9.600	2.592	probabile	103	probabile	1.07
9.800	2.993	esclusa - comportamento coesivo	102	probabile	coesivo
10.000	3.121	esclusa - comportamento coesivo	96	probabile	coesivo
10.200	3.234	esclusa - comportamento coesivo	105	probabile	coesivo
10.400	3.159	esclusa - comportamento coesivo	114	probabile	coesivo
10.600	2.713	esclusa - comportamento coesivo	91	probabile	coesivo
10.800	3.173	esclusa - comportamento coesivo	99	probabile	coesivo
11.000	3.213	esclusa - comportamento coesivo	120	probabile	coesivo
11.200	3.009	esclusa - comportamento coesivo	114	probabile	coesivo
11.400	3.190	esclusa - comportamento coesivo	106	probabile	coesivo
11.600	3.133	esclusa - comportamento coesivo	76	probabile	coesivo
11.800	3.769	esclusa - comportamento coesivo	86	probabile	coesivo
12.000	3.778	esclusa - comportamento coesivo	86	probabile	coesivo
12.200	3.741	esclusa - comportamento coesivo	82	probabile	coesivo
12.400	3.933	esclusa - comportamento coesivo	100	probabile	coesivo
12.600	3.479	esclusa - comportamento coesivo	108	probabile	coesivo
12.800	3.277	esclusa - comportamento coesivo	104	probabile	coesivo
13.000	3.315	esclusa - comportamento coesivo	101	probabile	coesivo
13.200	3.165	esclusa - comportamento coesivo	99	probabile	coesivo
13.400	3.170	esclusa - comportamento coesivo	99	probabile	coesivo
13.600	3.223	esclusa - comportamento coesivo	99	probabile	coesivo
13.800	3.281	esclusa - comportamento coesivo	100	probabile	coesivo
14.000	3.234	esclusa - comportamento coesivo	99	probabile	coesivo
14.200	3.364	esclusa - comportamento coesivo	85	probabile	coesivo
14.400	3.768	esclusa - comportamento coesivo	101	probabile	coesivo
14.600	3.325	esclusa - comportamento coesivo	102	probabile	coesivo
14.800	3.389	esclusa - comportamento coesivo	102	probabile	coesivo
15.000	3.395	esclusa - comportamento coesivo	102	probabile	coesivo

Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Linee Guida AGI, 2005



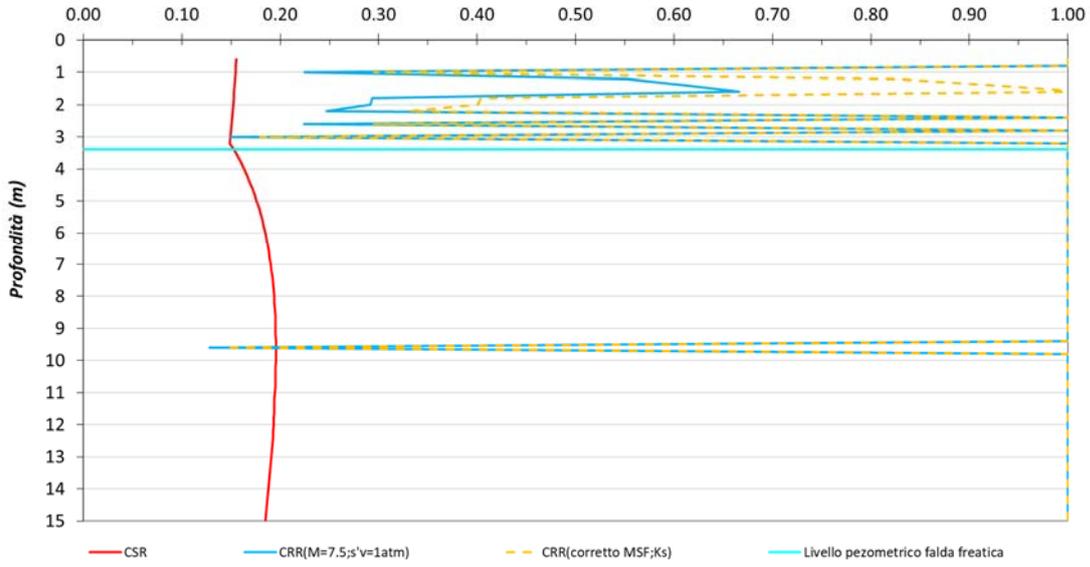
PROVA PENETROMETRICA CPT3

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - LINEE GUIDA AGI (2005)



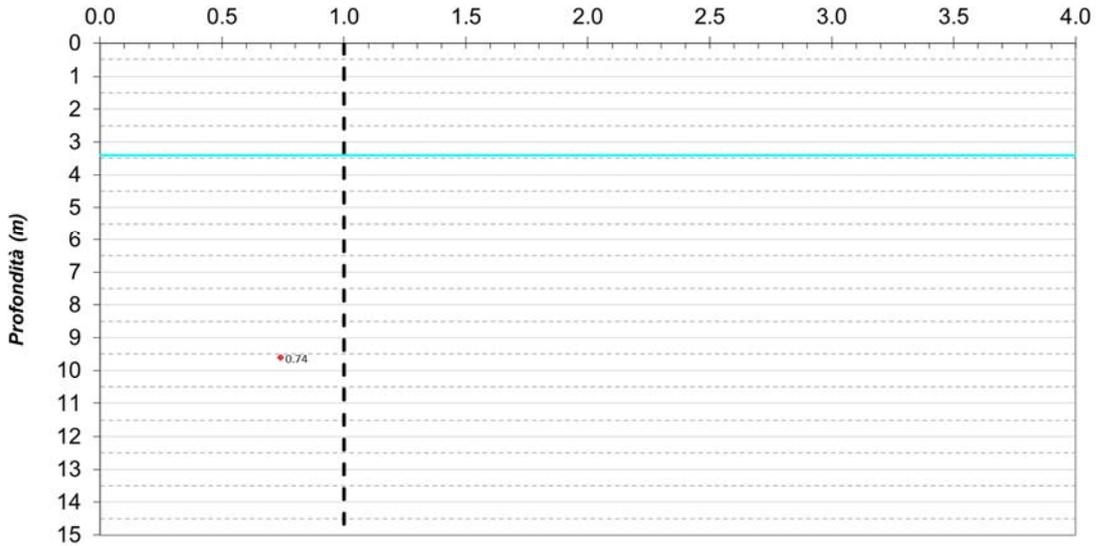
Z (m)	Ic	Liquefabilità	(q_{c1N}) _{cs}	Liquefabilità	F _L
0.600	2.675	esclusa - comportamento coesivo	85	probabile	non saturo
0.800	2.623	esclusa - comportamento coesivo	106	probabile	non saturo
1.000	2.339	probabile	138	probabile	non saturo
1.200	2.134	probabile	173	probabile	non saturo
1.400	2.208	probabile	176	probabile	non saturo
1.600	2.181	probabile	178	probabile	non saturo
1.800	2.376	probabile	151	probabile	non saturo
2.000	2.389	probabile	150	probabile	non saturo
2.200	2.470	probabile	143	probabile	non saturo
2.400	2.623	esclusa - comportamento coesivo	123	probabile	non saturo
2.600	2.502	probabile	138	probabile	non saturo
2.800	2.620	esclusa - comportamento coesivo	119	probabile	non saturo
3.000	2.574	probabile	109	probabile	non saturo
3.200	2.778	esclusa - comportamento coesivo	91	probabile	non saturo
3.400	2.761	esclusa - comportamento coesivo	86	probabile	coesivo
3.600	2.939	esclusa - comportamento coesivo	74	probabile	coesivo
3.800	2.706	esclusa - comportamento coesivo	74	probabile	coesivo
4.000	3.628	esclusa - comportamento coesivo	59	probabile	coesivo
4.200	3.182	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
4.400	2.959	esclusa - comportamento coesivo	72	probabile	coesivo
4.600	3.212	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	coesivo
4.800	2.973	esclusa - comportamento coesivo	71	probabile	coesivo
5.000	3.053	esclusa - comportamento coesivo	72	probabile	coesivo
5.200	3.038	esclusa - comportamento coesivo	74	probabile	coesivo
5.400	2.871	esclusa - comportamento coesivo	80	probabile	coesivo
5.600	2.810	esclusa - comportamento coesivo	84	probabile	coesivo
5.800	2.807	esclusa - comportamento coesivo	85	probabile	coesivo
6.000	2.820	esclusa - comportamento coesivo	86	probabile	coesivo
6.200	2.866	esclusa - comportamento coesivo	80	probabile	coesivo
6.400	2.956	esclusa - comportamento coesivo	73	probabile	coesivo
6.600	3.195	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
6.800	3.073	esclusa - comportamento coesivo	69	probabile	coesivo
7.000	3.081	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
7.200	3.087	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
7.400	3.050	esclusa - comportamento coesivo	71	probabile	coesivo
7.600	3.077	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
7.800	3.004	esclusa - comportamento coesivo	69	probabile	coesivo
8.000	3.159	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
8.200	3.118	esclusa - comportamento coesivo	69	probabile	coesivo
8.400	3.101	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
8.600	3.064	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
8.800	3.244	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
9.000	2.634	esclusa - comportamento coesivo	87	probabile	coesivo
9.200	3.102	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
9.400	3.195	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
9.600	2.592	probabile	93	probabile	0.74
9.800	2.993	esclusa - comportamento coesivo	71	probabile	coesivo
10.000	3.121	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	coesivo
10.200	3.234	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	coesivo
10.400	3.159	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
10.600	2.713	esclusa - comportamento coesivo	81	probabile	coesivo
10.800	3.173	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	coesivo
11.000	3.213	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
11.200	3.009	esclusa - comportamento coesivo	73	probabile	coesivo
11.400	3.190	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
11.600	3.133	esclusa - comportamento coesivo	63	probabile	coesivo
11.800	3.769	esclusa - comportamento coesivo	57	probabile	coesivo
12.000	3.778	esclusa - comportamento coesivo	57	probabile	coesivo
12.200	3.741	esclusa - comportamento coesivo	57	probabile	coesivo
12.400	3.933	esclusa - comportamento coesivo	57	probabile	coesivo
12.600	3.479	esclusa - comportamento coesivo	62	probabile	coesivo
12.800	3.277	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	coesivo
13.000	3.315	esclusa - comportamento coesivo	64	probabile	coesivo
13.200	3.165	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
13.400	3.170	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
13.600	3.223	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	coesivo
13.800	3.281	esclusa - comportamento coesivo	64	probabile	coesivo
14.000	3.234	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	coesivo
14.200	3.364	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	coesivo
14.400	3.768	esclusa - comportamento coesivo	58	probabile	coesivo
14.600	3.325	esclusa - comportamento coesivo	64	probabile	coesivo
14.800	3.389	esclusa - comportamento coesivo	63	probabile	coesivo
15.000	3.395	esclusa - comportamento coesivo	63	probabile	coesivo

**Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Regione E.R. DGR 476/2021**



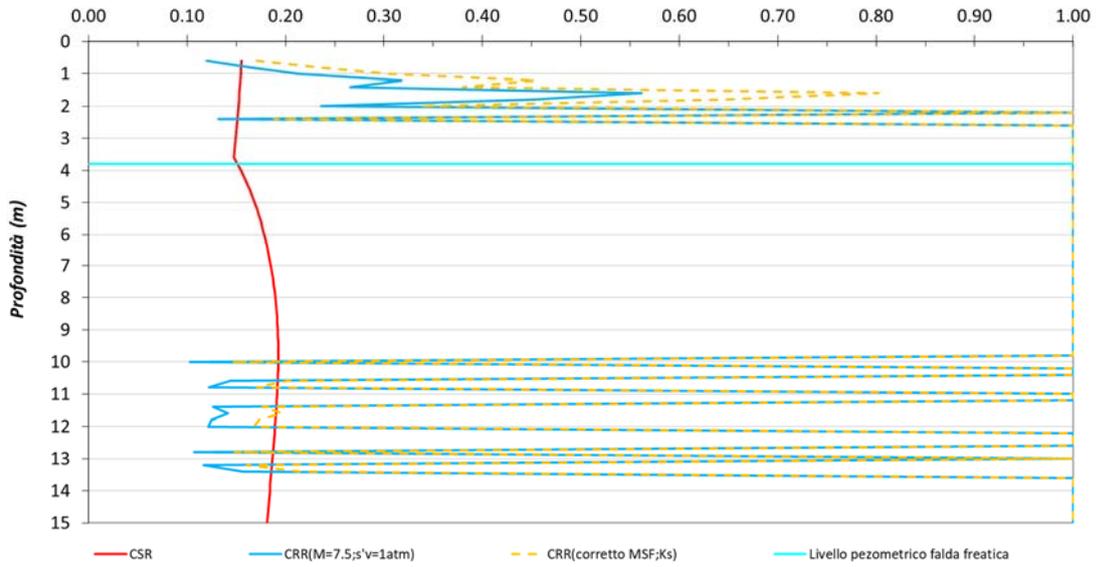
PROVA PENETROMETRICA CPT3

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - REGIONE E.R. (DGR 476/2021)



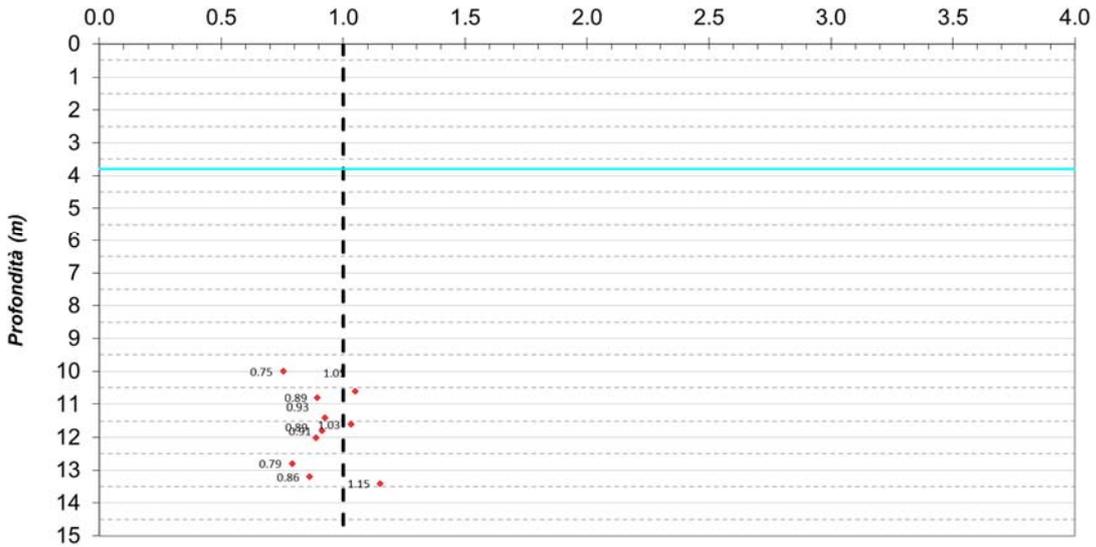
Z (m)	lc	Liquefacibilità	(q_{c1N}) _{cs}	Liquefacibilità	F _L
0.600	2.390	probabile	85	probabile	non saturo
0.800	2.427	probabile	112	probabile	non saturo
1.000	2.330	probabile	134	probabile	non saturo
1.200	2.222	probabile	159	probabile	non saturo
1.400	2.320	probabile	149	probabile	non saturo
1.600	2.206	probabile	182	esclusa - troppo consistente	non saturo
1.800	2.244	probabile	174	probabile	non saturo
2.000	2.192	probabile	141	probabile	non saturo
2.200	2.611	esclusa - comportamento coesivo	107	probabile	non saturo
2.400	2.368	probabile	93	probabile	non saturo
2.600	2.814	esclusa - comportamento coesivo	63	probabile	non saturo
2.800	2.996	esclusa - comportamento coesivo	58	probabile	non saturo
3.000	2.792	esclusa - comportamento coesivo	57	probabile	non saturo
3.200	3.200	esclusa - comportamento coesivo	45	probabile	non saturo
3.400	3.271	esclusa - comportamento coesivo	42	probabile	non saturo
3.600	3.419	esclusa - comportamento coesivo	41	probabile	non saturo
3.800	3.109	esclusa - comportamento coesivo	45	probabile	coesivo
4.000	3.486	esclusa - comportamento coesivo	39	probabile	coesivo
4.200	2.981	esclusa - comportamento coesivo	48	probabile	coesivo
4.400	3.622	esclusa - comportamento coesivo	39	probabile	coesivo
4.600	2.880	esclusa - comportamento coesivo	50	probabile	coesivo
4.800	3.442	esclusa - comportamento coesivo	40	probabile	coesivo
5.000	3.253	esclusa - comportamento coesivo	42	probabile	coesivo
5.200	3.532	esclusa - comportamento coesivo	40	probabile	coesivo
5.400	3.122	esclusa - comportamento coesivo	49	probabile	coesivo
5.600	2.989	esclusa - comportamento coesivo	55	probabile	coesivo
5.800	2.686	esclusa - comportamento coesivo	69	probabile	coesivo
6.000	2.645	esclusa - comportamento coesivo	69	probabile	coesivo
6.200	2.651	esclusa - comportamento coesivo	69	probabile	coesivo
6.400	2.656	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
6.600	2.654	esclusa - comportamento coesivo	62	probabile	coesivo
6.800	2.910	esclusa - comportamento coesivo	49	probabile	coesivo
7.000	3.466	esclusa - comportamento coesivo	39	probabile	coesivo
7.200	3.523	esclusa - comportamento coesivo	38	probabile	coesivo
7.400	3.533	esclusa - comportamento coesivo	38	probabile	coesivo
7.600	3.464	esclusa - comportamento coesivo	40	probabile	coesivo
7.800	3.472	esclusa - comportamento coesivo	39	probabile	coesivo
8.000	3.339	esclusa - comportamento coesivo	41	probabile	coesivo
8.200	3.523	esclusa - comportamento coesivo	38	probabile	coesivo
8.400	3.926	esclusa - comportamento coesivo	36	probabile	coesivo
8.600	2.734	esclusa - comportamento coesivo	62	probabile	coesivo
8.800	2.740	esclusa - comportamento coesivo	59	probabile	coesivo
9.000	3.017	esclusa - comportamento coesivo	50	probabile	coesivo
9.200	3.193	esclusa - comportamento coesivo	46	probabile	coesivo
9.400	3.078	esclusa - comportamento coesivo	50	probabile	coesivo
9.600	2.845	esclusa - comportamento coesivo	60	probabile	coesivo
9.800	2.743	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
10.000	2.577	probabile	73	probabile	0.75
10.200	2.808	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	coesivo
10.400	2.777	esclusa - comportamento coesivo	76	probabile	coesivo
10.600	2.476	probabile	101	probabile	1.05
10.800	2.443	probabile	87	probabile	0.89
11.000	2.710	esclusa - comportamento coesivo	67	probabile	coesivo
11.200	2.851	esclusa - comportamento coesivo	69	probabile	coesivo
11.400	2.578	probabile	90	probabile	0.93
11.600	2.442	probabile	99	probabile	1.03
11.800	2.554	probabile	88	probabile	0.91
12.000	2.396	probabile	86	probabile	0.89
12.200	2.717	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	coesivo
12.400	2.737	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	coesivo
12.600	2.812	esclusa - comportamento coesivo	60	probabile	coesivo
12.800	2.529	probabile	76	probabile	0.79
13.000	2.852	esclusa - comportamento coesivo	64	probabile	coesivo
13.200	2.581	probabile	83	probabile	0.86
13.400	2.108	probabile	108	probabile	1.15
13.600	2.904	esclusa - comportamento coesivo	54	probabile	coesivo
13.800	3.317	esclusa - comportamento coesivo	42	probabile	coesivo
14.000	3.535	esclusa - comportamento coesivo	39	probabile	coesivo
14.200	3.218	esclusa - comportamento coesivo	44	probabile	coesivo
14.400	3.455	esclusa - comportamento coesivo	39	probabile	coesivo
14.600	3.884	esclusa - comportamento coesivo	36	probabile	coesivo
14.800	3.233	esclusa - comportamento coesivo	43	probabile	coesivo
15.000	3.350	esclusa - comportamento coesivo	41	probabile	coesivo

Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Boulanger e Idriss, 2004



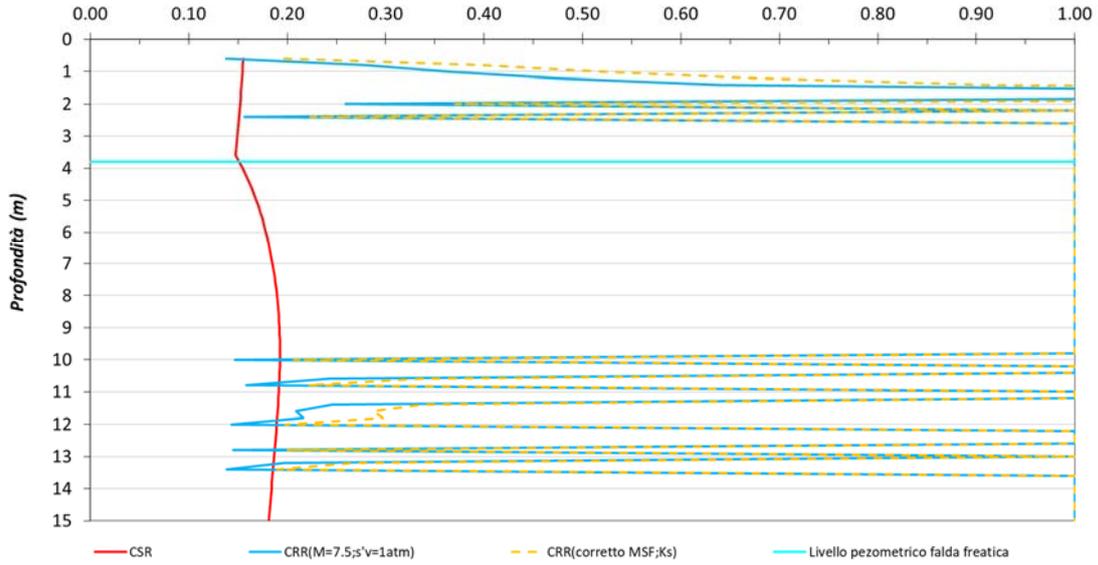
PROVA PENETROMETRICA CPT4

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - METODO Boulanger e Idriss, 2004



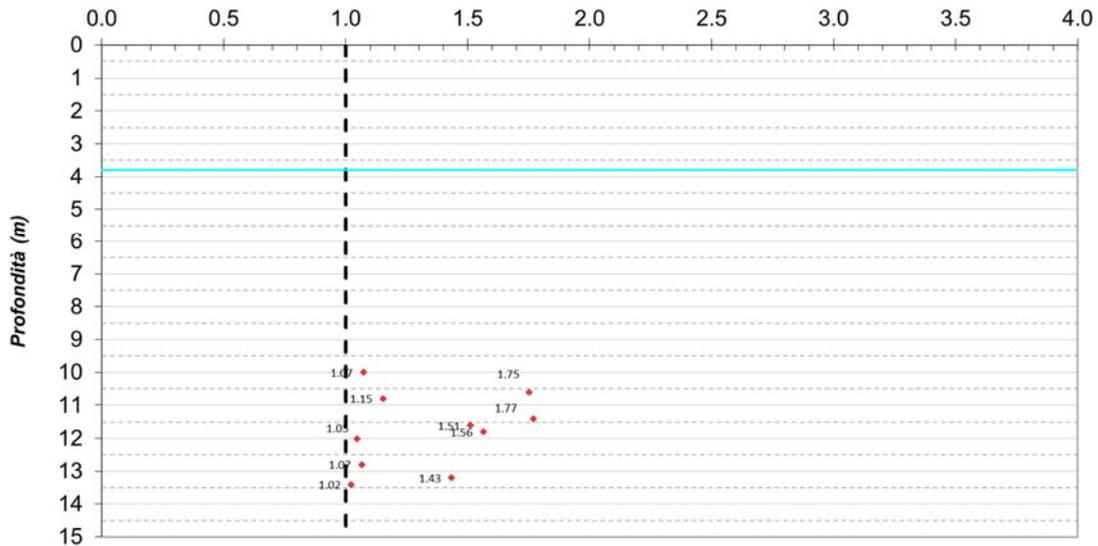
Z (m)	lc	Liquefacibilità	(q_{c1N}) _{cs}	Liquefacibilità	F _L
0.600	2.390	probabile	97	probabile	non saturo
0.800	2.427	probabile	152	probabile	non saturo
1.000	2.330	probabile	165	probabile	non saturo
1.200	2.222	probabile	176	probabile	non saturo
1.400	2.320	probabile	186	esclusa - troppo consistente	non saturo
1.600	2.206	probabile	202	esclusa - troppo consistente	non saturo
1.800	2.244	probabile	202	esclusa - troppo consistente	non saturo
2.000	2.192	probabile	147	probabile	non saturo
2.200	2.611	esclusa - comportamento coesivo	195	esclusa - troppo consistente	non saturo
2.400	2.368	probabile	108	probabile	non saturo
2.600	2.814	esclusa - comportamento coesivo	121	probabile	non saturo
2.800	2.996	esclusa - comportamento coesivo	139	probabile	non saturo
3.000	2.792	esclusa - comportamento coesivo	93	probabile	non saturo
3.200	3.200	esclusa - comportamento coesivo	98	probabile	non saturo
3.400	3.271	esclusa - comportamento coesivo	90	probabile	non saturo
3.600	3.419	esclusa - comportamento coesivo	106	probabile	non saturo
3.800	3.109	esclusa - comportamento coesivo	87	probabile	coesivo
4.000	3.486	esclusa - comportamento coesivo	94	probabile	coesivo
4.200	2.981	esclusa - comportamento coesivo	85	probabile	coesivo
4.400	3.622	esclusa - comportamento coesivo	108	probabile	coesivo
4.600	2.880	esclusa - comportamento coesivo	82	probabile	coesivo
4.800	3.442	esclusa - comportamento coesivo	98	probabile	coesivo
5.000	3.253	esclusa - comportamento coesivo	86	probabile	coesivo
5.200	3.532	esclusa - comportamento coesivo	107	probabile	coesivo
5.400	3.122	esclusa - comportamento coesivo	115	probabile	coesivo
5.600	2.989	esclusa - comportamento coesivo	121	probabile	coesivo
5.800	2.686	esclusa - comportamento coesivo	112	probabile	coesivo
6.000	2.645	esclusa - comportamento coesivo	107	probabile	coesivo
6.200	2.651	esclusa - comportamento coesivo	106	probabile	coesivo
6.400	2.656	esclusa - comportamento coesivo	102	probabile	coesivo
6.600	2.654	esclusa - comportamento coesivo	89	probabile	coesivo
6.800	2.910	esclusa - comportamento coesivo	79	probabile	coesivo
7.000	3.466	esclusa - comportamento coesivo	84	probabile	coesivo
7.200	3.523	esclusa - comportamento coesivo	89	probabile	coesivo
7.400	3.533	esclusa - comportamento coesivo	89	probabile	coesivo
7.600	3.464	esclusa - comportamento coesivo	94	probabile	coesivo
7.800	3.472	esclusa - comportamento coesivo	94	probabile	coesivo
8.000	3.339	esclusa - comportamento coesivo	88	probabile	coesivo
8.200	3.523	esclusa - comportamento coesivo	83	probabile	coesivo
8.400	3.926	esclusa - comportamento coesivo	110	probabile	coesivo
8.600	2.734	esclusa - comportamento coesivo	100	probabile	coesivo
8.800	2.740	esclusa - comportamento coesivo	91	probabile	coesivo
9.000	3.017	esclusa - comportamento coesivo	101	probabile	coesivo
9.200	3.193	esclusa - comportamento coesivo	107	probabile	coesivo
9.400	3.078	esclusa - comportamento coesivo	109	probabile	coesivo
9.600	2.845	esclusa - comportamento coesivo	114	probabile	coesivo
9.800	2.743	esclusa - comportamento coesivo	117	probabile	coesivo
10.000	2.577	probabile	103	probabile	1.07
10.200	2.808	esclusa - comportamento coesivo	112	probabile	coesivo
10.400	2.777	esclusa - comportamento coesivo	157	probabile	coesivo
10.600	2.476	probabile	143	probabile	1.75
10.800	2.443	probabile	109	probabile	1.15
11.000	2.710	esclusa - comportamento coesivo	113	probabile	coesivo
11.200	2.851	esclusa - comportamento coesivo	149	probabile	coesivo
11.400	2.578	probabile	144	probabile	1.77
11.600	2.442	probabile	132	probabile	1.51
11.800	2.554	probabile	135	probabile	1.56
12.000	2.396	probabile	100	probabile	1.05
12.200	2.717	esclusa - comportamento coesivo	111	probabile	coesivo
12.400	2.737	esclusa - comportamento coesivo	114	probabile	coesivo
12.600	2.812	esclusa - comportamento coesivo	109	probabile	coesivo
12.800	2.529	probabile	102	probabile	1.07
13.000	2.852	esclusa - comportamento coesivo	131	probabile	coesivo
13.200	2.581	probabile	127	probabile	1.43
13.400	2.108	probabile	97	probabile	1.02
13.600	2.904	esclusa - comportamento coesivo	100	probabile	coesivo
13.800	3.317	esclusa - comportamento coesivo	96	probabile	coesivo
14.000	3.535	esclusa - comportamento coesivo	96	probabile	coesivo
14.200	3.218	esclusa - comportamento coesivo	94	probabile	coesivo
14.400	3.455	esclusa - comportamento coesivo	85	probabile	coesivo
14.600	3.884	esclusa - comportamento coesivo	97	probabile	coesivo
14.800	3.233	esclusa - comportamento coesivo	94	probabile	coesivo
15.000	3.350	esclusa - comportamento coesivo	94	probabile	coesivo

Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Linee Guida AGI, 2005



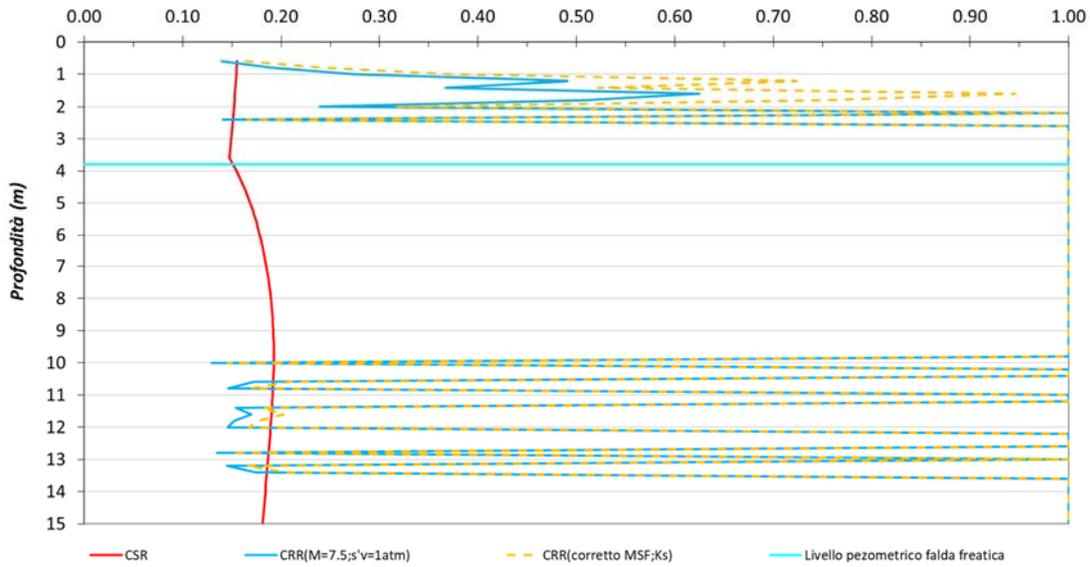
PROVA PENETROMETRICA CPT4

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - LINEE GUIDA AGI (2005)



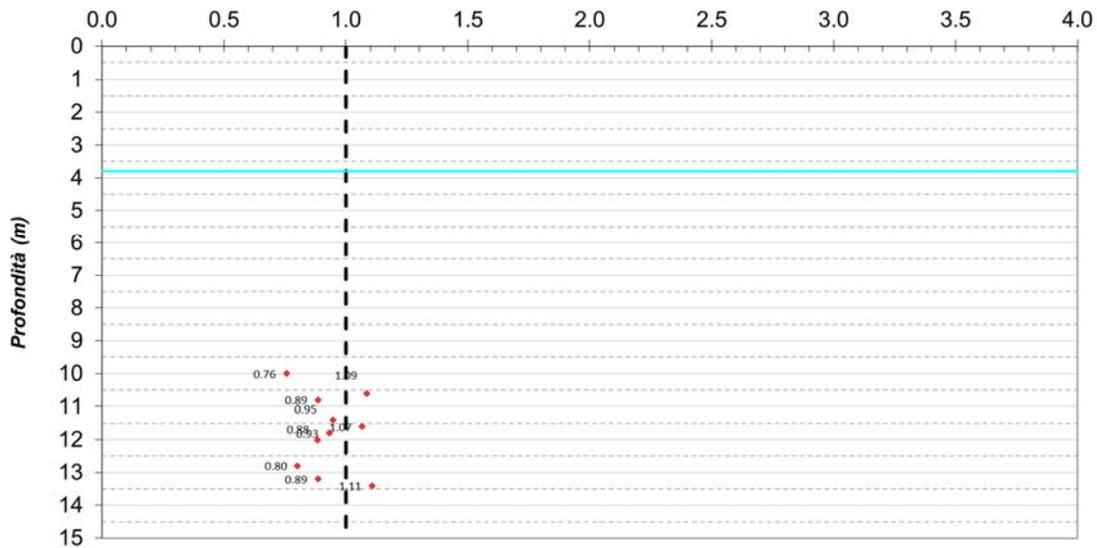
Z (m)	Ic	Liquefacibilità	(q _{clm}) _{cs}	Liquefacibilità	F _L
0.600	2.390	probabile	102	probabile	non saturo
0.800	2.427	probabile	128	probabile	non saturo
1.000	2.330	probabile	148	probabile	non saturo
1.200	2.222	probabile	169	probabile	non saturo
1.400	2.320	probabile	160	probabile	non saturo
1.600	2.206	probabile	176	probabile	non saturo
1.800	2.244	probabile	170	probabile	non saturo
2.000	2.192	probabile	141	probabile	non saturo
2.200	2.611	esclusa - comportamento coesivo	116	probabile	non saturo
2.400	2.368	probabile	103	probabile	non saturo
2.600	2.814	esclusa - comportamento coesivo	78	probabile	non saturo
2.800	2.996	esclusa - comportamento coesivo	74	probabile	non saturo
3.000	2.792	esclusa - comportamento coesivo	73	probabile	non saturo
3.200	3.200	esclusa - comportamento coesivo	63	probabile	non saturo
3.400	3.271	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	non saturo
3.600	3.419	esclusa - comportamento coesivo	60	probabile	non saturo
3.800	3.109	esclusa - comportamento coesivo	63	probabile	coesivo
4.000	3.486	esclusa - comportamento coesivo	58	probabile	coesivo
4.200	2.981	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	coesivo
4.400	3.622	esclusa - comportamento coesivo	58	probabile	coesivo
4.600	2.880	esclusa - comportamento coesivo	69	probabile	coesivo
4.800	3.442	esclusa - comportamento coesivo	60	probabile	coesivo
5.000	3.253	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	coesivo
5.200	3.532	esclusa - comportamento coesivo	59	probabile	coesivo
5.400	3.122	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
5.600	2.989	esclusa - comportamento coesivo	73	probabile	coesivo
5.800	2.686	esclusa - comportamento coesivo	86	probabile	coesivo
6.000	2.645	esclusa - comportamento coesivo	87	probabile	coesivo
6.200	2.651	esclusa - comportamento coesivo	87	probabile	coesivo
6.400	2.656	esclusa - comportamento coesivo	85	probabile	coesivo
6.600	2.654	esclusa - comportamento coesivo	81	probabile	coesivo
6.800	2.910	esclusa - comportamento coesivo	68	probabile	coesivo
7.000	3.466	esclusa - comportamento coesivo	58	probabile	coesivo
7.200	3.523	esclusa - comportamento coesivo	58	probabile	coesivo
7.400	3.533	esclusa - comportamento coesivo	58	probabile	coesivo
7.600	3.464	esclusa - comportamento coesivo	60	probabile	coesivo
7.800	3.472	esclusa - comportamento coesivo	59	probabile	coesivo
8.000	3.339	esclusa - comportamento coesivo	61	probabile	coesivo
8.200	3.523	esclusa - comportamento coesivo	58	probabile	coesivo
8.400	3.926	esclusa - comportamento coesivo	57	probabile	coesivo
8.600	2.734	esclusa - comportamento coesivo	81	probabile	coesivo
8.800	2.740	esclusa - comportamento coesivo	78	probabile	coesivo
9.000	3.017	esclusa - comportamento coesivo	70	probabile	coesivo
9.200	3.193	esclusa - comportamento coesivo	66	probabile	coesivo
9.400	3.078	esclusa - comportamento coesivo	69	probabile	coesivo
9.600	2.845	esclusa - comportamento coesivo	80	probabile	coesivo
9.800	2.743	esclusa - comportamento coesivo	87	probabile	coesivo
10.000	2.577	probabile	93	probabile	0.76
10.200	2.808	esclusa - comportamento coesivo	82	probabile	coesivo
10.400	2.777	esclusa - comportamento coesivo	96	probabile	coesivo
10.600	2.476	probabile	120	probabile	1.09
10.800	2.443	probabile	106	probabile	0.89
11.000	2.710	esclusa - comportamento coesivo	88	probabile	coesivo
11.200	2.851	esclusa - comportamento coesivo	89	probabile	coesivo
11.400	2.578	probabile	111	probabile	0.95
11.600	2.442	probabile	119	probabile	1.07
11.800	2.554	probabile	110	probabile	0.93
12.000	2.396	probabile	106	probabile	0.88
12.200	2.717	esclusa - comportamento coesivo	88	probabile	coesivo
12.400	2.737	esclusa - comportamento coesivo	87	probabile	coesivo
12.600	2.812	esclusa - comportamento coesivo	82	probabile	coesivo
12.800	2.529	probabile	98	probabile	0.80
13.000	2.852	esclusa - comportamento coesivo	86	probabile	coesivo
13.200	2.581	probabile	106	probabile	0.89
13.400	2.108	probabile	121	probabile	1.11
13.600	2.904	esclusa - comportamento coesivo	76	probabile	coesivo
13.800	3.317	esclusa - comportamento coesivo	63	probabile	coesivo
14.000	3.535	esclusa - comportamento coesivo	60	probabile	coesivo
14.200	3.218	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	coesivo
14.400	3.455	esclusa - comportamento coesivo	60	probabile	coesivo
14.600	3.884	esclusa - comportamento coesivo	57	probabile	coesivo
14.800	3.233	esclusa - comportamento coesivo	65	probabile	coesivo
15.000	3.350	esclusa - comportamento coesivo	63	probabile	coesivo

**Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Regione E.R. DGR 476/2021**



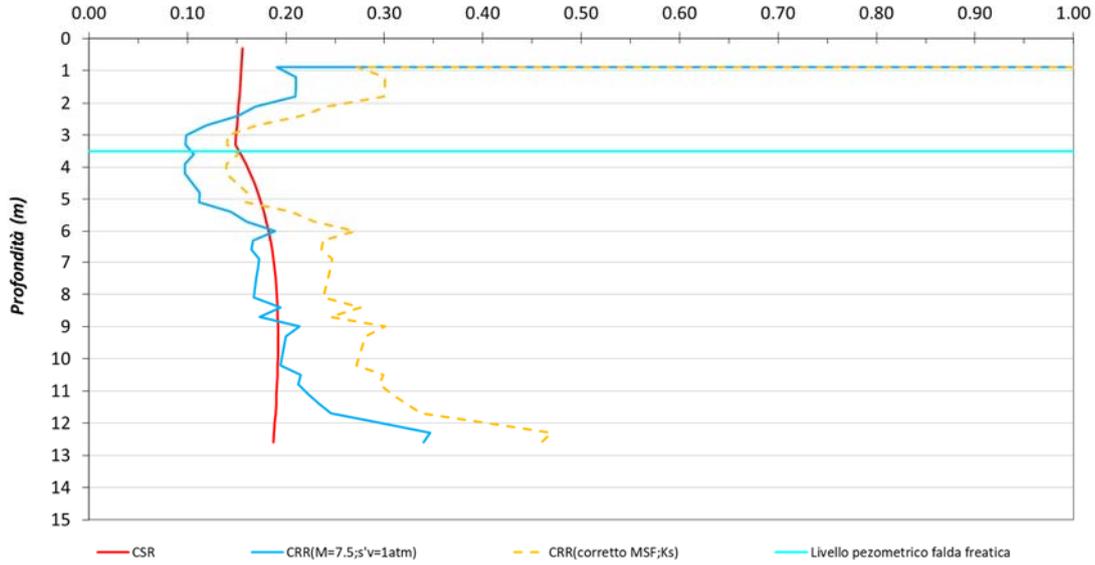
PROVA PENETROMETRICA CPT4

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - REGIONE E.R. (DGR 476/2021)



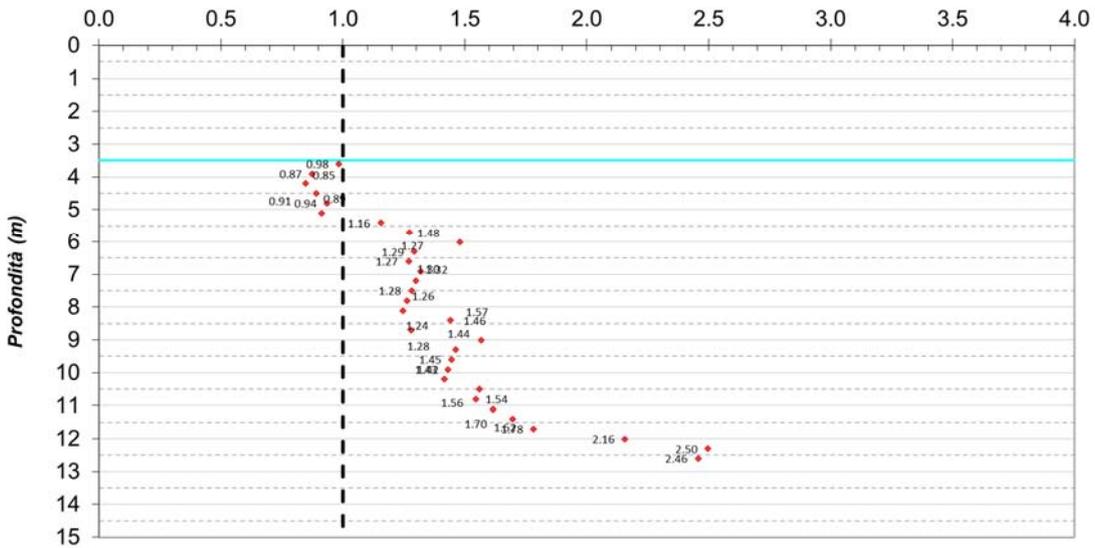
Z (m)	(N ₁) _{60cs}	Liquefacibilità	F _L
0.300	51	esclusa - troppo consistente	non saturo
0.600	51	esclusa - troppo consistente	non saturo
0.900	19	probabile	non saturo
1.200	20	probabile	non saturo
1.500	20	probabile	non saturo
1.800	20	probabile	non saturo
2.100	16	probabile	non saturo
2.400	14	probabile	non saturo
2.700	10	probabile	non saturo
3.000	7	probabile	non saturo
3.300	7	probabile	non saturo
3.600	8	probabile	0.98
3.900	7	probabile	0.87
4.200	7	probabile	0.85
4.500	8	probabile	0.89
4.800	9	probabile	0.94
5.100	9	probabile	0.91
5.400	13	probabile	1.16
5.700	15	probabile	1.27
6.000	19	probabile	1.48
6.300	16	probabile	1.29
6.600	16	probabile	1.27
6.900	17	probabile	1.32
7.200	17	probabile	1.30
7.500	17	probabile	1.28
7.800	16	probabile	1.26
8.100	16	probabile	1.24
8.400	19	probabile	1.44
8.700	17	probabile	1.28
9.000	21	probabile	1.57
9.300	19	probabile	1.46
9.600	19	probabile	1.45
9.900	19	probabile	1.43
10.200	19	probabile	1.42
10.500	21	probabile	1.56
10.800	21	probabile	1.54
11.100	21	probabile	1.62
11.400	22	probabile	1.70
11.700	23	probabile	1.78
12.000	25	probabile	2.16
12.300	27	probabile	2.50
12.600	27	probabile	2.46

Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Boulanger e Idriss, 2004 - Linee Guida AGI, 2005



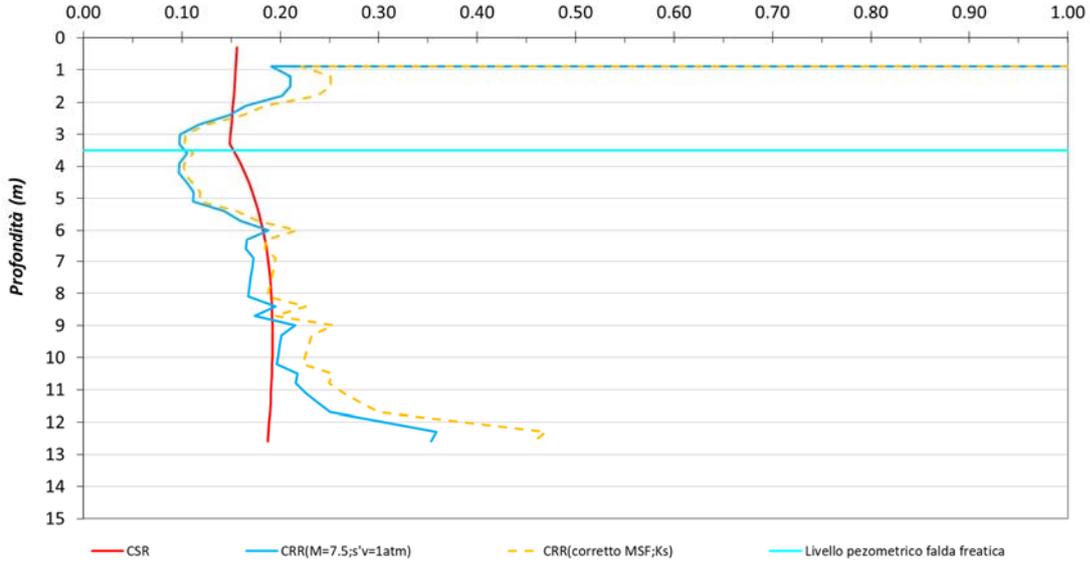
PROVA PENETROMETRICA DPSH1

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - METODO Boulanger e Idriss, 2004 - Linee Guida AGI, 2005



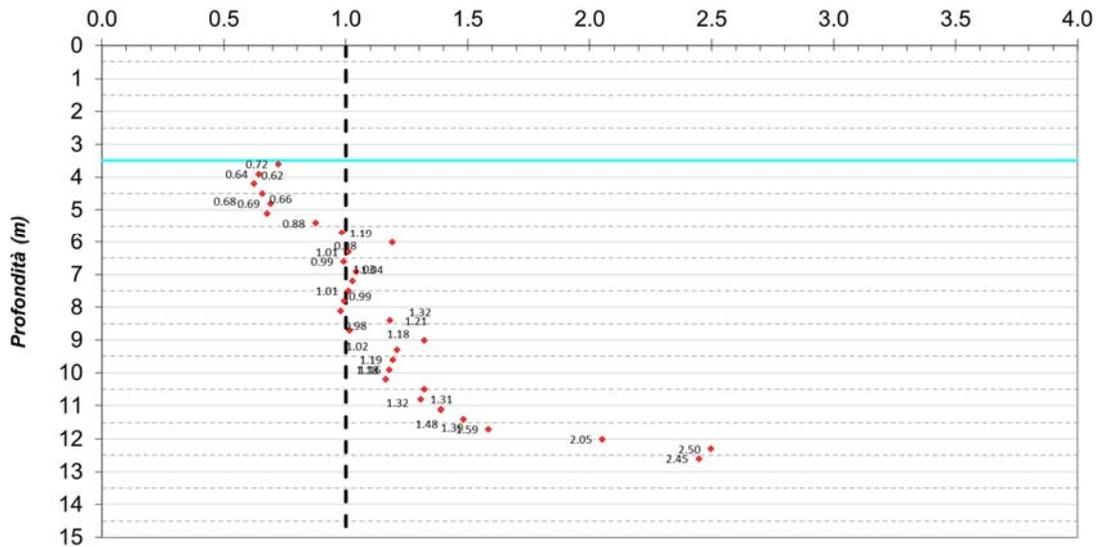
Z (m)	(N ₁) _{60cs}	Liquefacibilità	F _L
0.300	46	esclusa - troppo consistente	non saturo
0.600	46	esclusa - troppo consistente	non saturo
0.900	19	probabile	non saturo
1.200	20	probabile	non saturo
1.500	20	probabile	non saturo
1.800	20	probabile	non saturo
2.100	16	probabile	non saturo
2.400	14	probabile	non saturo
2.700	10	probabile	non saturo
3.000	7	probabile	non saturo
3.300	7	probabile	non saturo
3.600	8	probabile	0.72
3.900	7	probabile	0.64
4.200	7	probabile	0.62
4.500	8	probabile	0.66
4.800	9	probabile	0.69
5.100	9	probabile	0.68
5.400	13	probabile	0.88
5.700	15	probabile	0.98
6.000	18	probabile	1.19
6.300	16	probabile	1.01
6.600	16	probabile	0.99
6.900	17	probabile	1.04
7.200	17	probabile	1.03
7.500	17	probabile	1.01
7.800	16	probabile	0.99
8.100	16	probabile	0.98
8.400	19	probabile	1.18
8.700	17	probabile	1.02
9.000	21	probabile	1.32
9.300	20	probabile	1.21
9.600	19	probabile	1.19
9.900	19	probabile	1.18
10.200	19	probabile	1.16
10.500	21	probabile	1.32
10.800	21	probabile	1.31
11.100	22	probabile	1.39
11.400	22	probabile	1.48
11.700	23	probabile	1.59
12.000	26	probabile	2.05
12.300	27	probabile	2.50
12.600	27	probabile	2.45

**Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Regione E.R. DGR 476/2021**



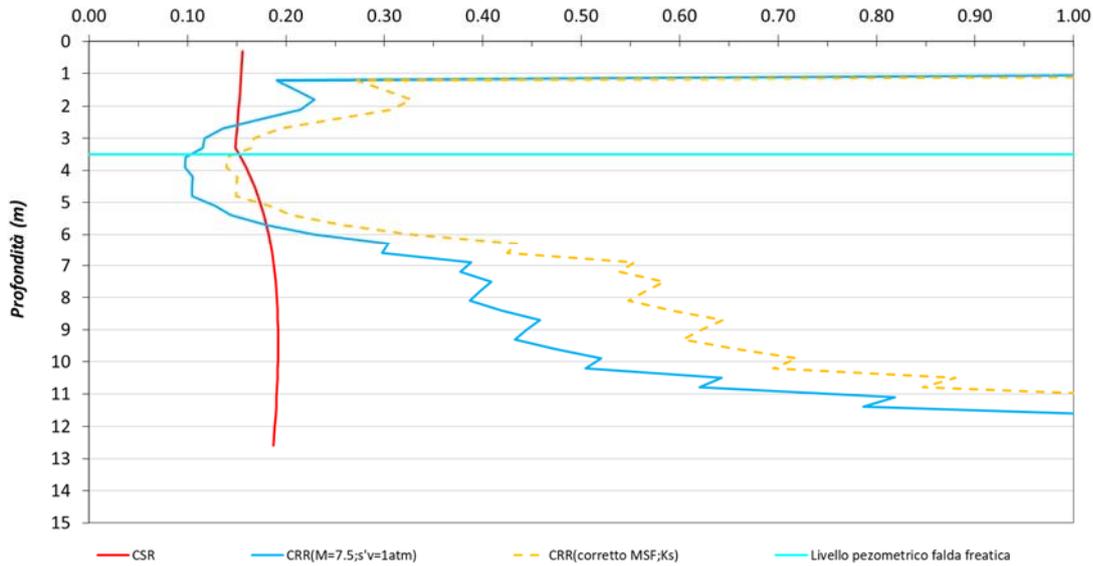
PROVA PENETROMETRICA DPSH1

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - REGIONE E.R. (DGR 476/2021)



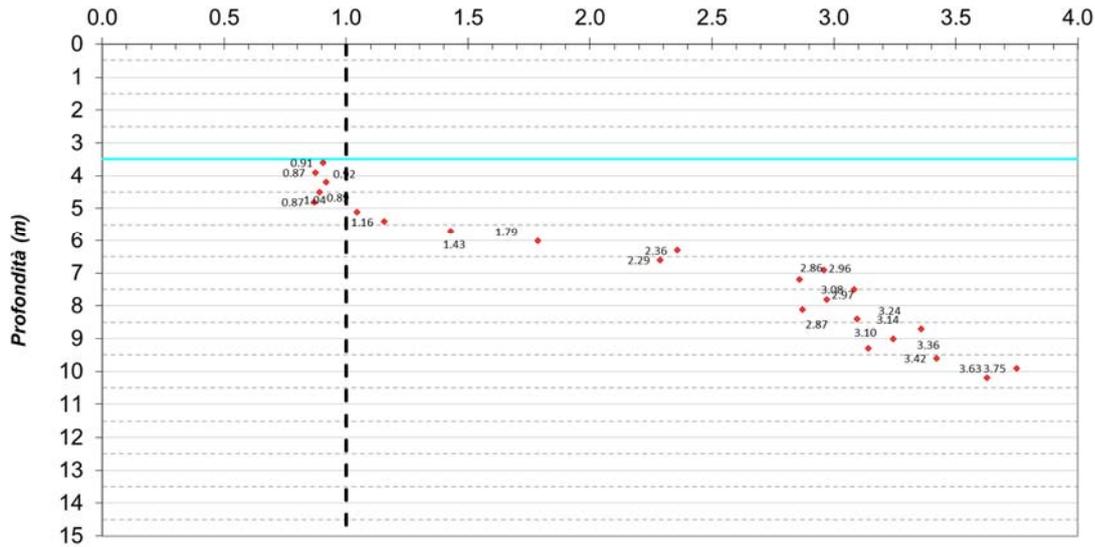
Z (m)	$(N_1)_{60cs}$	Liquefacibilità	F_L
0.300	51	esclusa - troppo consistente	non saturo
0.600	51	esclusa - troppo consistente	non saturo
0.900	37	esclusa - troppo consistente	non saturo
1.200	19	probabile	non saturo
1.500	20	probabile	non saturo
1.800	22	probabile	non saturo
2.100	21	probabile	non saturo
2.400	17	probabile	non saturo
2.700	12	probabile	non saturo
3.000	10	probabile	non saturo
3.300	10	probabile	non saturo
3.600	7	probabile	0.91
3.900	7	probabile	0.87
4.200	8	probabile	0.92
4.500	8	probabile	0.89
4.800	8	probabile	0.87
5.100	11	probabile	1.04
5.400	13	probabile	1.16
5.700	18	probabile	1.43
6.000	22	probabile	1.79
6.300	26	probabile	2.36
6.600	25	probabile	2.29
6.900	28	probabile	2.96
7.200	28	probabile	2.86
7.500	29	probabile	3.08
7.800	28	probabile	2.97
8.100	28	probabile	2.87
8.400	29	probabile	3.10
8.700	30	probabile	3.36
9.000	29	probabile	3.24
9.300	29	probabile	3.14
9.600	30	probabile	3.42
9.900	31	esclusa - troppo consistente	consistente
10.200	30	esclusa - troppo consistente	consistente
10.500	32	esclusa - troppo consistente	consistente
10.800	32	esclusa - troppo consistente	consistente
11.100	33	esclusa - troppo consistente	consistente
11.400	33	esclusa - troppo consistente	consistente
11.700	35	esclusa - troppo consistente	consistente
12.000	35	esclusa - troppo consistente	consistente
12.300	36	esclusa - troppo consistente	consistente
12.600	38	esclusa - troppo consistente	consistente

Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Boulanger e Idriss, 2004 - Linee Guida AGI, 2005



PROVA PENETROMETRICA DPSH2

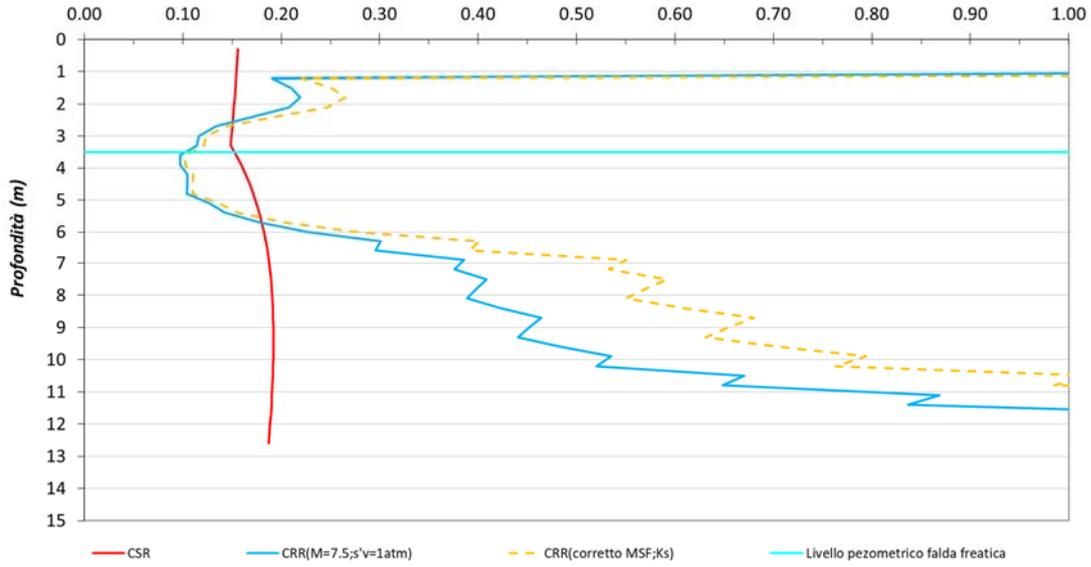
Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - METODO Boulanger e Idriss, 2004 - Linee Guida AGI, 2005



DPSH 2 – Metodo ER

Z (m)	(N ₁) _{60cs}	Liquefacibilità	F _L
0.300	46	esclusa - troppo consistente	non saturo
0.600	46	esclusa - troppo consistente	non saturo
0.900	37	esclusa - troppo consistente	non saturo
1.200	19	probabile	non saturo
1.500	20	probabile	non saturo
1.800	21	probabile	non saturo
2.100	20	probabile	non saturo
2.400	17	probabile	non saturo
2.700	12	probabile	non saturo
3.000	10	probabile	non saturo
3.300	9	probabile	non saturo
3.600	7	probabile	0.67
3.900	7	probabile	0.64
4.200	8	probabile	0.68
4.500	8	probabile	0.66
4.800	8	probabile	0.64
5.100	11	probabile	0.78
5.400	13	probabile	0.88
5.700	18	probabile	1.13
6.000	22	probabile	1.51
6.300	25	probabile	2.18
6.600	25	probabile	2.11
6.900	28	probabile	2.94
7.200	28	probabile	2.83
7.500	29	probabile	3.13
7.800	28	probabile	3.00
8.100	28	probabile	2.88
8.400	29	probabile	3.19
8.700	30	probabile	3.54
9.000	29	probabile	3.41
9.300	29	probabile	3.28
9.600	30	probabile	3.67
9.900	31	esclusa - troppo consistente	consistente
10.200	31	esclusa - troppo consistente	consistente
10.500	32	esclusa - troppo consistente	consistente
10.800	32	esclusa - troppo consistente	consistente
11.100	34	esclusa - troppo consistente	consistente
11.400	34	esclusa - troppo consistente	consistente
11.700	35	esclusa - troppo consistente	consistente
12.000	35	esclusa - troppo consistente	consistente
12.300	37	esclusa - troppo consistente	consistente
12.600	38	esclusa - troppo consistente	consistente

**Andamento del rapporto di resistenza ciclica con la profondità (CRR)
Regione E.R. DGR 476/2021**



PROVA PENETROMETRICA DPSH2

Coeff. di sicurezza alla liquefazione F_L - REGIONE E.R. (DGR 476/2021)

