



# AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

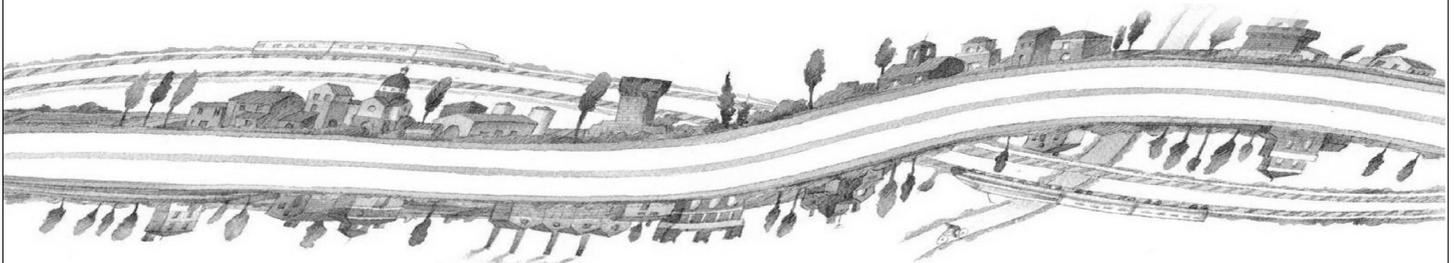
CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

**VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE - D02 (EX 1RE) VARIANTE  
ALLA SP41 IN CORRISP. DEL TRACCIATO CISPADANO-TRATTO TRA SP60 E BRESCELLO  
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA**

### GEOTECNICA

**VIABILITA' DI ADDUZIONE D02 - ADDENDUM ALLE RELAZIONI GEOTECNICHE - LIQUEFAZIONE**



IL PROGETTISTA

Ing. Gianfranco Marchi  
Albo Ing. Ravenna n°342

RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Antonio Anania  
Albo Ing. Perugia n° A2574

**Dott. Ing. Antonio Anania**  
IMPRESA PIZZAROTTI & C. S.p.A.  
Iscritto ordine Ingegneri di Perugia n° A2574

IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale  
Cispadana S.p.A.  
IL PRESIDENTE  
Graziano Pattuzzi

G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	01.08.2019	EMISSIONE PER OTTEMPERANZA DECRETO VIA DEL 25.07.2017				BOSCHI	MARCHI	ANANIA		
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE		
IDENTIFICAZIONE ELABORATO										DATA: <b>AGOSTO 2019</b>
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA: -
7471	PD	0	D02	D0000	0	GT	RH	03	A	



## INDICE

1.	<b>PREMESSA</b> .....	2
2.	<b>NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	3
2.1.	NORMATIVE .....	3
2.2.	ELABORATI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO .....	3
3.	<b>STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE ED INDIVIDUAZIONE DELLE AREE LIQUEFACIBILI CON PGA DA APPROCCIO SEMPLIFICATO DA NTC 2008 (PD 2012)</b> .....	4
3.1.	VERIFICHE DI LIQUEFAZIONE .....	4
3.2.	RISULTATI DELLE VERIFICHE DI LIQUEFAZIONE .....	7
3.3.	INDIVIDUAZIONE AREE LIQUEFACIBILI .....	15
	Appendice 1: Output LiquefyPro.....	16



## 1. PREMESSA

---

Nell'ambito delle attività di progettazione previste per la redazione del Progetto Definitivo di Autostrada Regionale Cispadana dal casello di Reggiolo-Rolo su A22 al casello di Ferrara Sud su A13, il presente documento illustra i seguenti aspetti:

- verifiche di stabilità nei confronti dei fenomeni di liquefazione.

## 2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

---

### 2.1. NORMATIVE

---

Le normative di riferimento sono riportate nell'elaborato:

- PD\_0\_000\_00000\_0\_GE\_KT\_01, "Elenco delle Normative di riferimento".

### 2.2. ELABORATI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO

---

Rif. [1] Elaborato PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_02: CRITERI GENERALI VERIFICHE GEOTECNICHE.

### 3. STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE ED INDIVIDUAZIONE DELLE AREE LIQUEFACIBILI CON PGA DA APPROCCIO SEMPLIFICATO DA NTC 2008 (PD 2012)

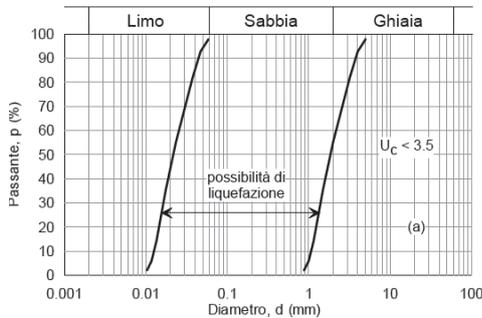
#### 3.1. VERIFICHE DI LIQUEFAZIONE

In terreni saturi sabbiosi sollecitati in condizioni non drenate da azioni cicliche dinamiche, il termine liquefazione comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche.

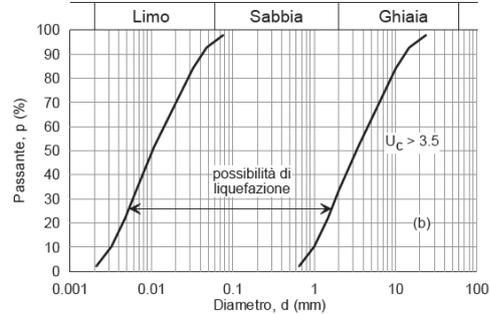
L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

In base alle NTC2008 di cui al D.M. 14-01-2008 la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. accelerazione massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0.1 g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15.0 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a), nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$ , e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .



a)



b)

Nel caso in esame, non essendo nelle condizioni sopra elencate, verrà valutato il coefficiente di sicurezza alla liquefazione ( $F$ ) alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili, adottando metodi di analisi semplificata in termini di tensioni totali.

Tali metodi sono basati sulle prove penetrometriche statiche disponibili e sulla valutazione, ad ogni profondità  $z$  del deposito compreso nei primi 20 m, del coefficiente di sicurezza:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR}$$

dove:

- $CRR = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_v}$ , è la resistenza normalizzata alla pressione verticale efficace iniziale;
- $CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_v} = \frac{0,65 \times \tau_{max}}{\sigma'_v}$  è la tensione normalizzata indotta dal terremoto.

I risultati delle analisi saranno presentati riportando l'andamento con la profondità del fattore di sicurezza alla liquefazione per ciascuna delle verticali indagate e determinando anche l'indice del potenziale di liquefazione  $I_L$  definito dalla seguente relazione:

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

in cui:

- $z$  è la profondità dal piano campagna, variabile tra 0 e 20 metri; l'analisi di liquefazione considera i terreni presenti nei primi 20 m di profondità, in accordo alle indicazioni di letteratura tecnica secondo la quale, oltre questa profondità, sono poco probabili fenomeni di liquefazione significativi;
- $w(z) = 10 - 0,5z$  ;
- $F = 1 - F_L$  se  $F_L \leq 1$  ovvero  $F = 0$  se  $F_L > 1$

Il potenziale di liquefazione  $I_L$  fornisce una valutazione "integrale" degli effetti della liquefazione.

Il rischio di liquefazione può essere così stimato:

- $I_L = 0$  il rischio di liquefazione è molto basso
- $0 < I_L \leq 5$  il rischio di liquefazione è basso
- $5 < I_L \leq 15$  il rischio di liquefazione è elevato
- $I_L > 15$  il rischio di liquefazione è estremamente elevato.

Operativamente, le analisi di liquefazione sono state sviluppate con il programma di calcolo LiquefyPro della CivilTech Software, Washington State (USA).

In accordo alla prescrizione n. 30 del Decreto VIA, nell'aggiornamento del 2019 del Progetto Definitivo sono state:

- analizzate tutte le prove penetrometriche CPTU disponibili a corredo del Progetto Definitivo;
- interpretate le medesime prove per individuare la presenza di orizzonti potenzialmente liquefacibili nei primi 20 m da piano campagna.

In accordo al criterio riportato nell'Ordinanza del Commissario Delegato – Presidente della Regione n. 70/2012, le prove penetrometriche possono essere classificate come:

- L1: presenza di orizzonti liquefacibili spessi almeno 30-40 cm, sotto falda, nei primi 5 m;
- L2: presenza di orizzonti liquefacibili spessi almeno 1 m tra 5 e 10 m;
- L3: presenza di orizzonti liquefacibili spessi almeno 2 m tra 10 e 15 m;
- L4: presenza di orizzonti liquefacibili spessi almeno 2 m tra 15 e 20 m;
- N: assenza di orizzonti liquefacibili importanti nei primi 15-20 m;

Le verifiche a liquefazione sono state condotte quantomeno per le prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) che individuano una stratigrafia conforme alla classificazione L1÷L4 suddetta.

Il potenziale di liquefazione è stato calcolato in questa fase considerando come PGA di input quella da approccio semplificato e assumendo i seguenti parametri:

- Comune di pertinenza della singola prova;
- Vita Nominale: 50 anni;
- Classe d'uso: III;
- Periodo di riferimento: 75 anni;
- Categoria di sottosuolo: C;
- Categoria topografica: T1.

Per il calcolo della PGA è stato utilizzato il foglio elettronico di calcolo *Spettri-NTC ver 1.0.3* messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

La magnitudo momento di riferimento è stata assunta pari a  $M_w = 5.5$ , come descritto nell'elaborato Rif. [1] per tutte le viabilità oggetto di analisi.

Come richiesto dalla prescrizione n. 29-32 del Decreto VIA, tale assunzione progettuale inerente la Magnitudo Momento di progetto è stata concordata con i tecnici della Regione Emilia Romagna durante gli incontri svoltisi:

- in data 16/04/2019 – riferimento verbale con prot. PG/114/2019 del 24/04/19 della Regione Emilia Romagna;
- in data 24/04/2019 – riferimento verbale con prot. PG/137/2019 del 22/05/19 della Regione Emilia Romagna.

### 3.2. RISULTATI DELLE VERIFICHE DI LIQUEFAZIONE

---

Di seguito si riportano, in forma tabellare, i risultati delle verifiche di liquefazione per ciascuna verticale di indagine in termini di:

- IL, potenziale di liquefazione;
- Cedimenti post sismici, per verticale di indagine caratterizzata da  $IL > 5$ .

TABELLA 3-1: RIEPILOGO STIMA POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE IL E CEDIMENTI POST-SISMICI VIABILITÀ DI ADDUZIONE D02

n° CPTU	Vita Nominale [anni]	Classe d'uso	Categoria di sottosuolo	Comune	Falda m da p.c.	Magnitudo	$a_{max}/g$	Potenziale di liquefazione (IL)	Cedimento post-sismico [cm]	IL>5?
1RE-CPTU1	50	III	C	Sorbolo (PR)	2.5	5.50	0.185	0		NO
1RE-CPTU2	50	III	C	Sorbolo (PR)	2.5	5.50	0.185	0		NO
1RE-CPTU3	50	III	C	Sorbolo (PR)	2.5	5.50	0.185	0.00		NO
1RE-CPTU4	50	III	C	Sorbolo (PR)	2.5	5.50	0.185	0.07		NO
1RE-CPTU5	50	III	C	Sorbolo (PR)	2.5	5.50	0.185	0		NO
1RE-CPTU6	50	III	C	Brescello (RE)	2.5	5.50	0.153	0		NO
1RE-CPTU7	50	III	C	Brescello (RE)	2.5	5.50	0.153	0		NO
1RE-CPTU8	50	III	C	Brescello (RE)	2.0	5.50	0.153	0		NO
1RE-CPTU9	50	III	C	Brescello (RE)	2.0	5.50	0.153	0		NO
1RE-CPTU10	50	III	C	Brescello (RE)	1.0	5.50	0.153	0		NO
1RE-CPTU11	50	III	C	Brescello (RE)	1.0	5.50	0.153	0		NO
1RE-CPTU12	50	III	C	Brescello (RE)	1.0	5.50	0.153	0		NO

Gli Output del software LiquefyPro sono consultabili in Appendice 1.

Si riportano, inoltre, per ciascuna prova eseguita lungo la D02, i risultati in forma grafica delle verifiche di liquefazione in termini di:

- IL, potenziale di liquefazione;
- FS, fattore di sicurezza espresso come rapporto tra rapporto di resistenza ciclica CRR e rapporto di tensione ciclica CSR (per la cui descrizione dettagliata si rimanda all'elaborato Rif. [1]).

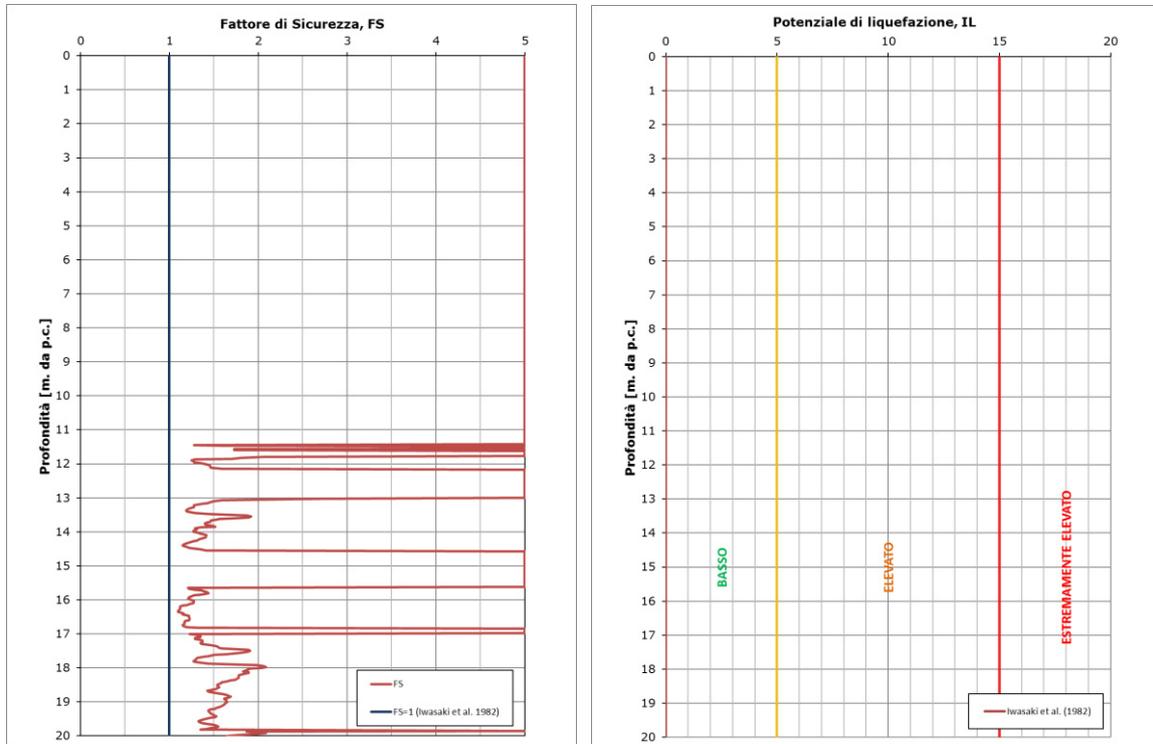
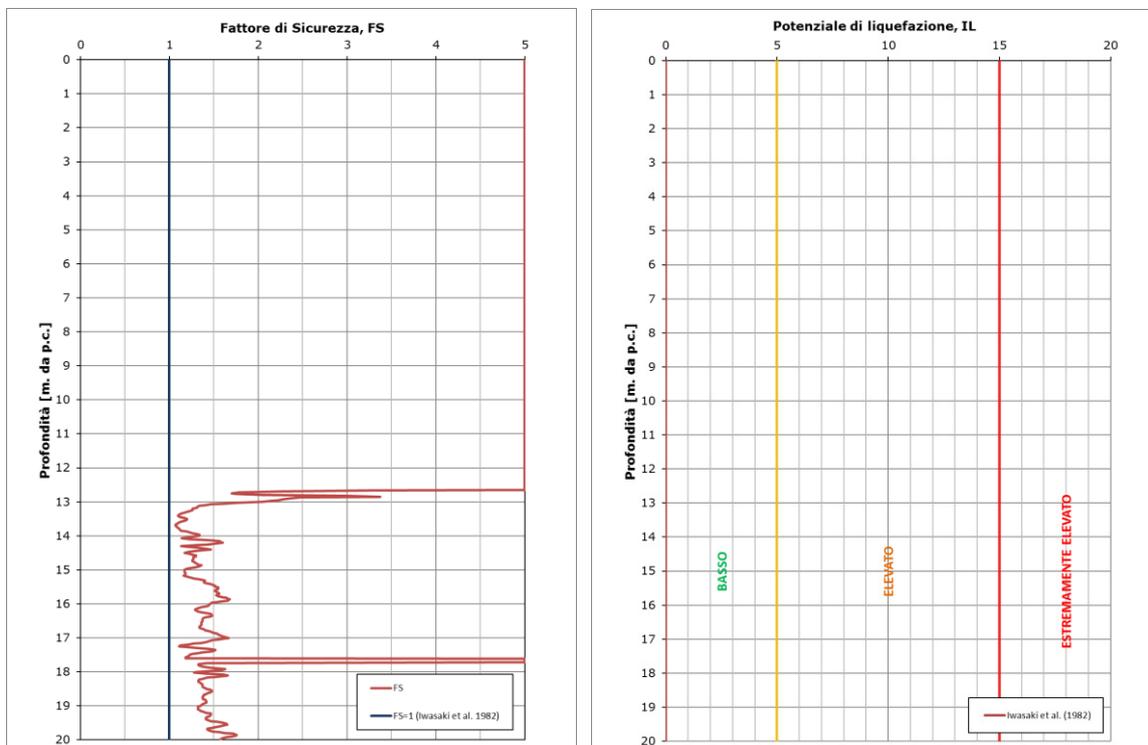
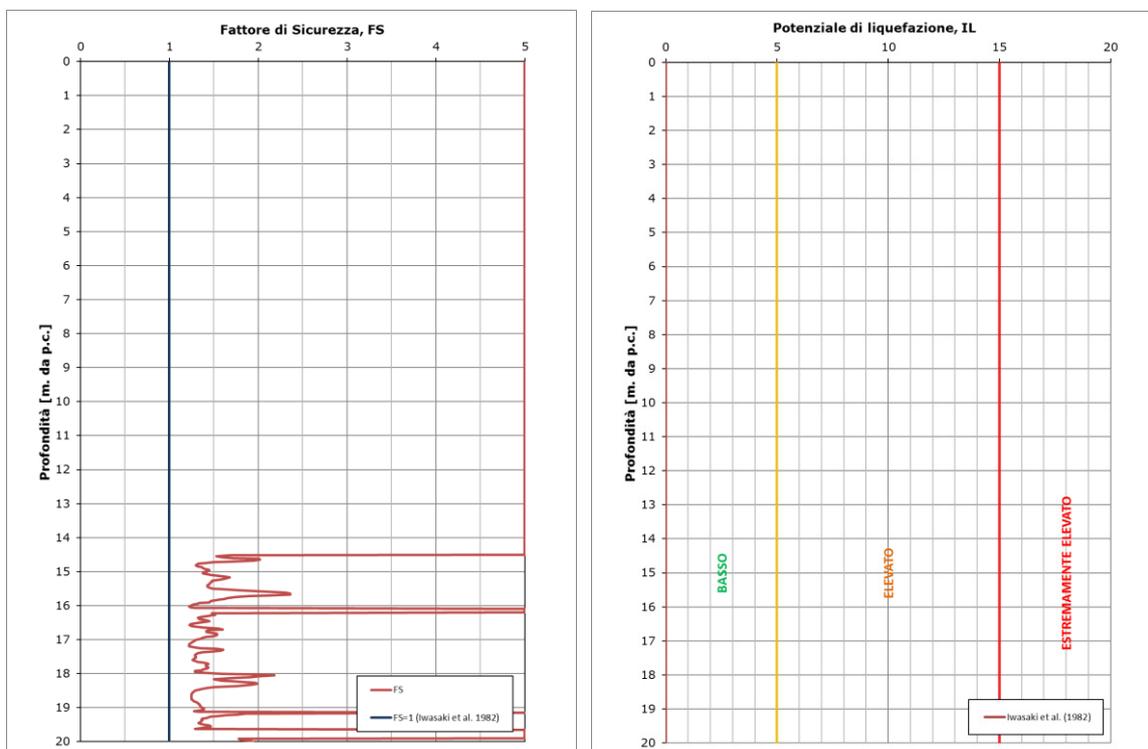


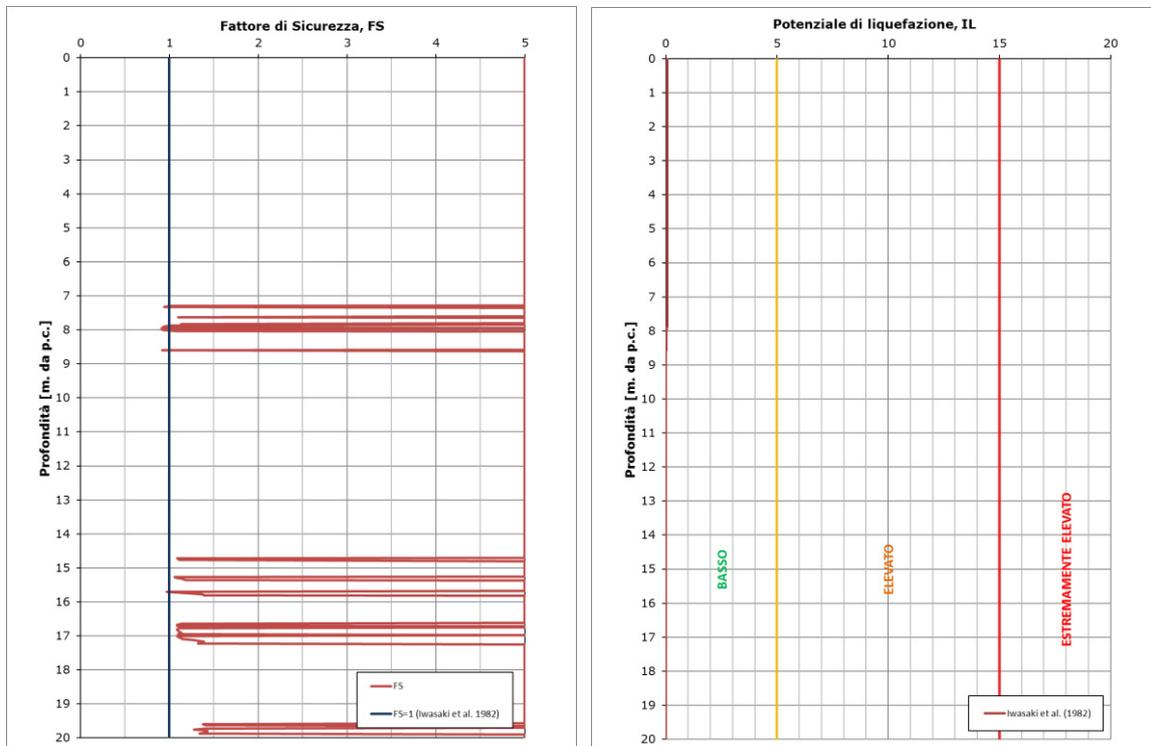
FIGURA 3-1: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1RE-CPTU 001 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO



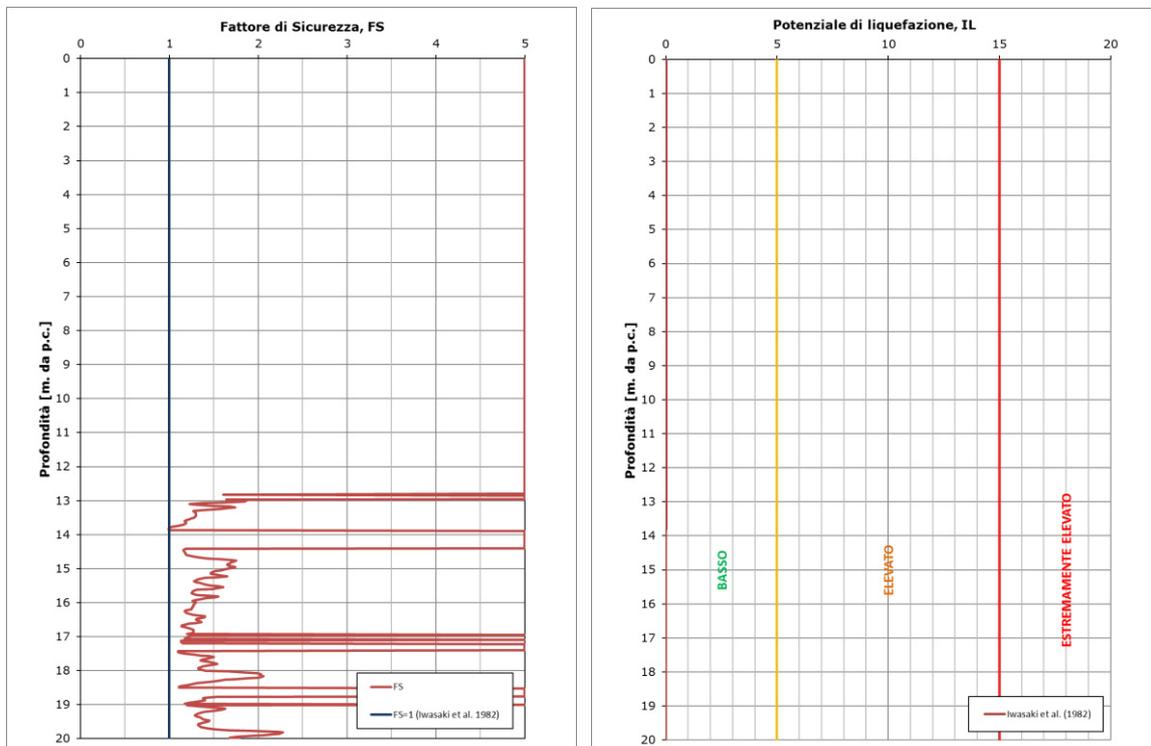
**FIGURA 3-2: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1RE-CPTU 002 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO**



**FIGURA 3-3: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1RE-CPTU 003 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO**



**FIGURA 3-4: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1RE-CPTU 004 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO**



**FIGURA 3-5: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1RE-CPTU 005 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO**

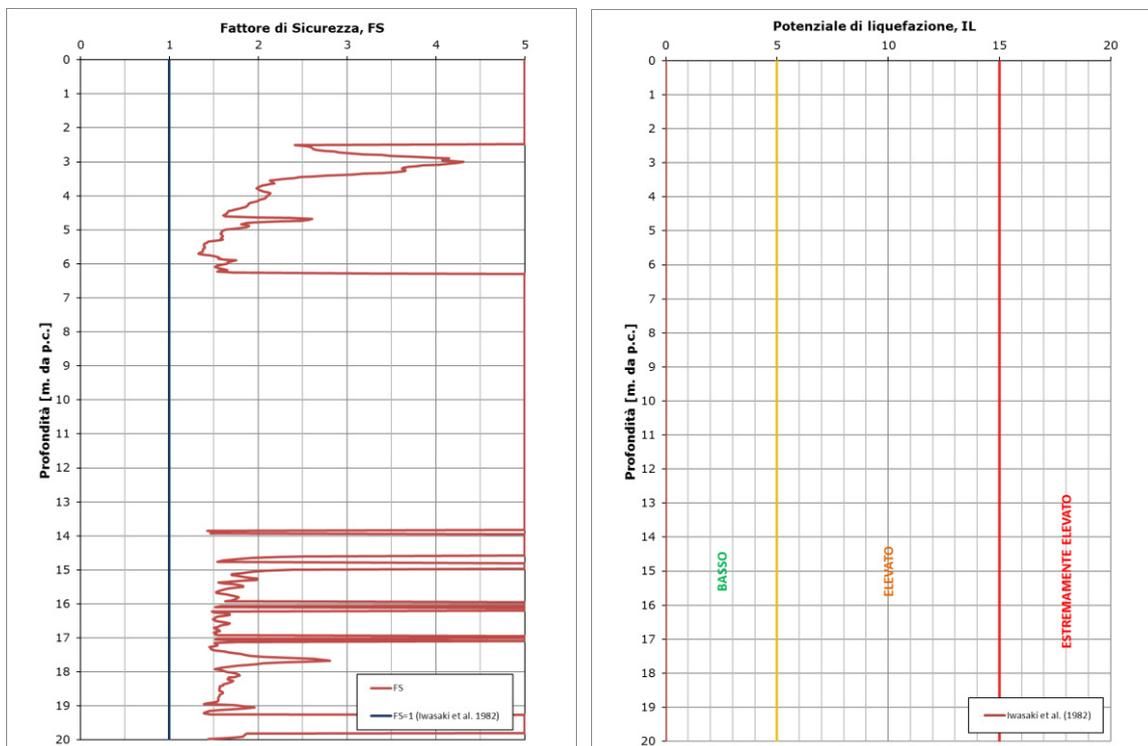


FIGURA 3-6: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1RE-CPTU 006 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

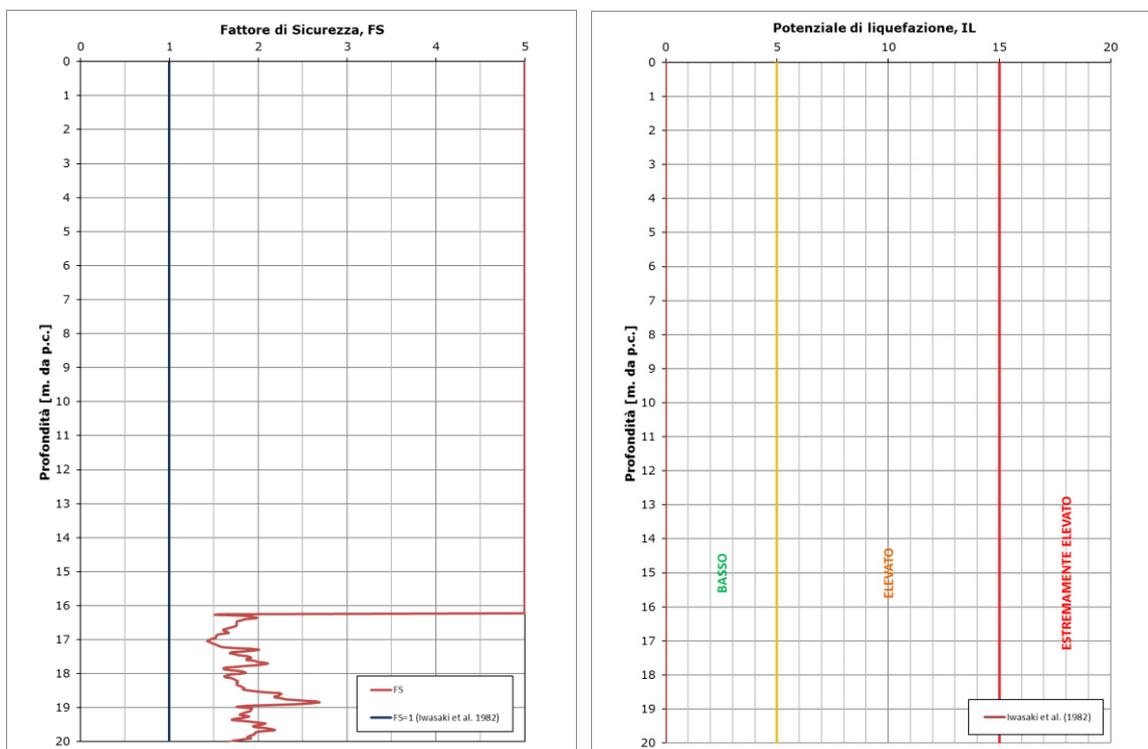


FIGURA 3-7: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1RE-CPTU 007 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

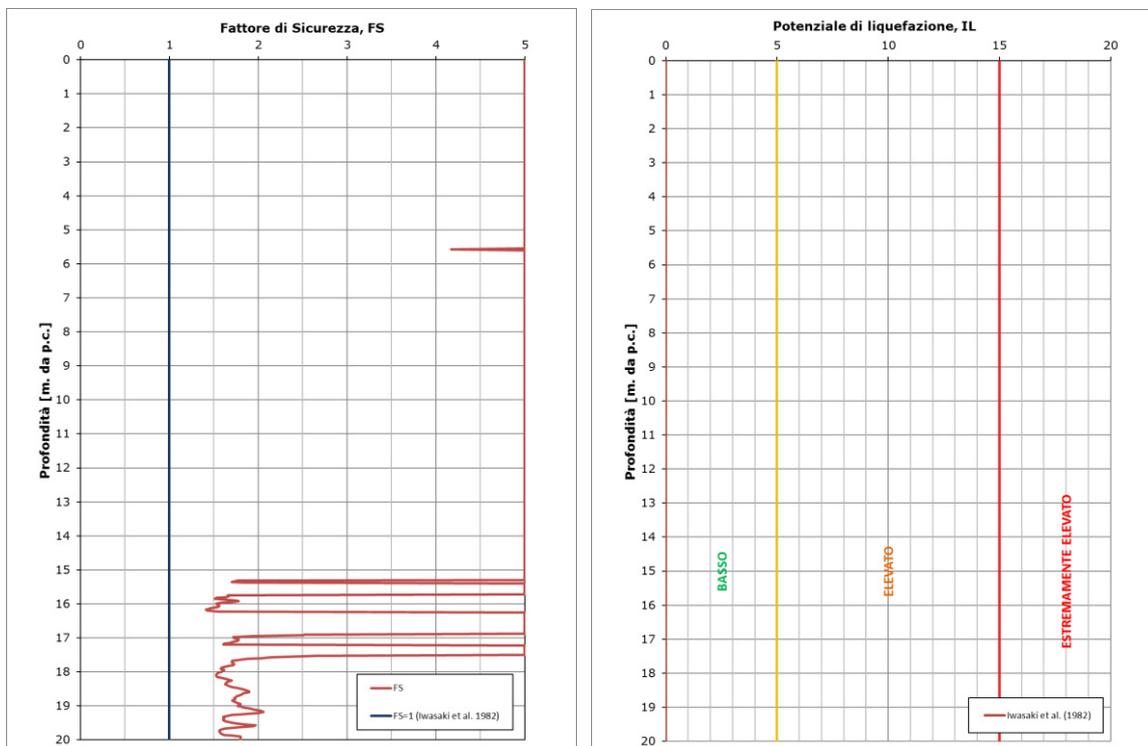


FIGURA 3-8: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1RE-CPTU 008 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

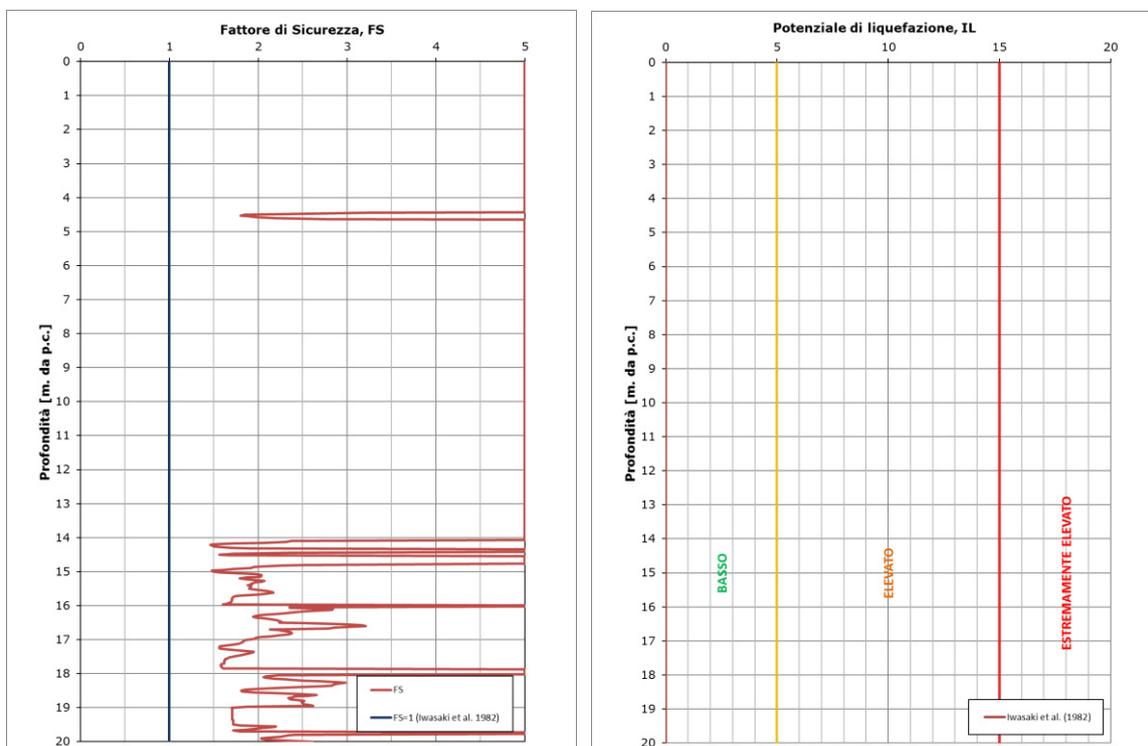


FIGURA 3-9: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1RE-CPTU 009 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

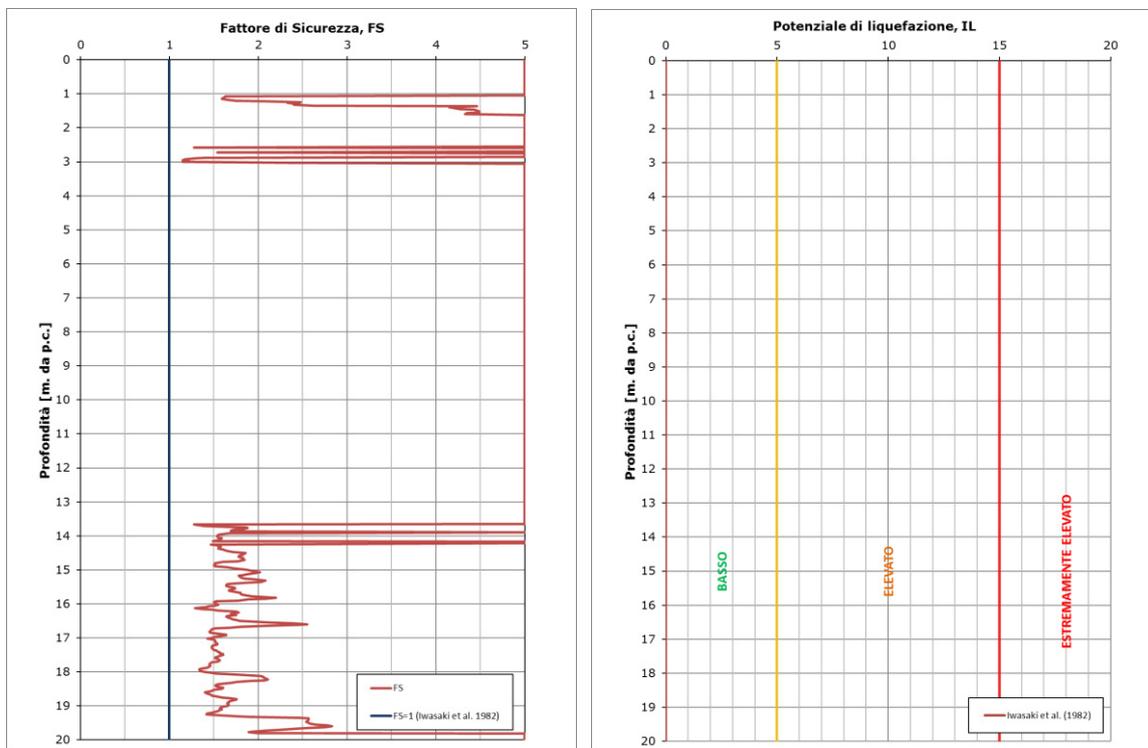


FIGURA 3-10: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1RE-CPTU 010 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

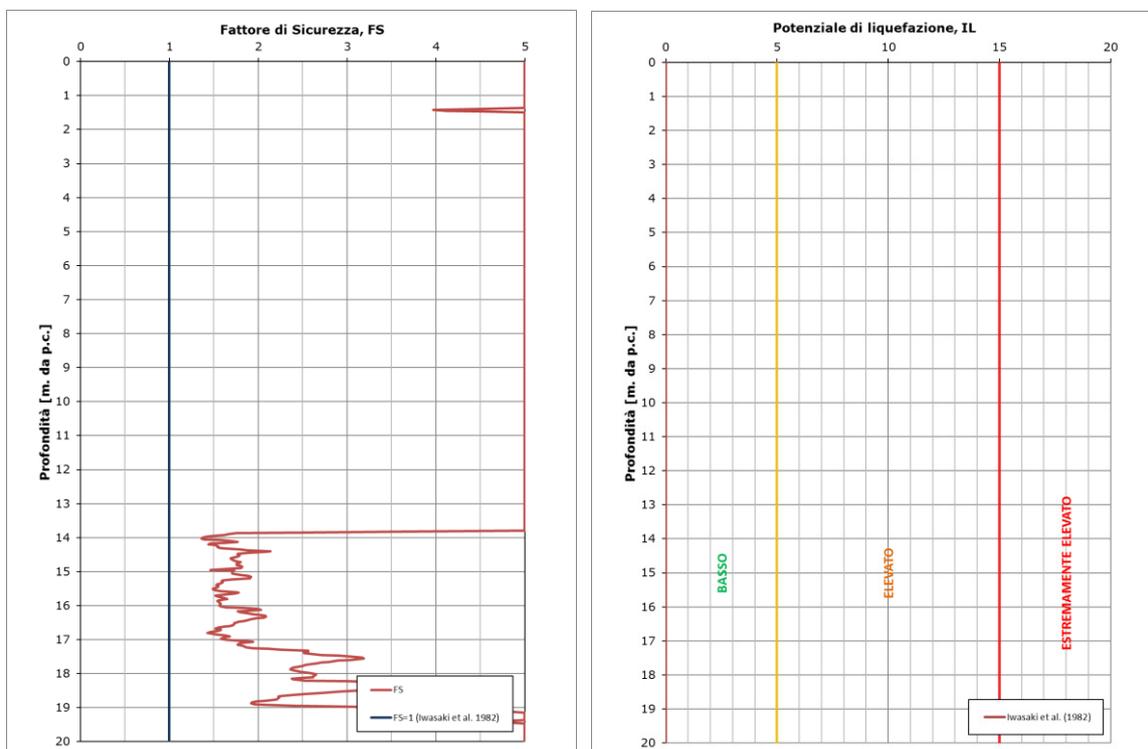


FIGURA 3-11: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1RE-CPTU 011 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

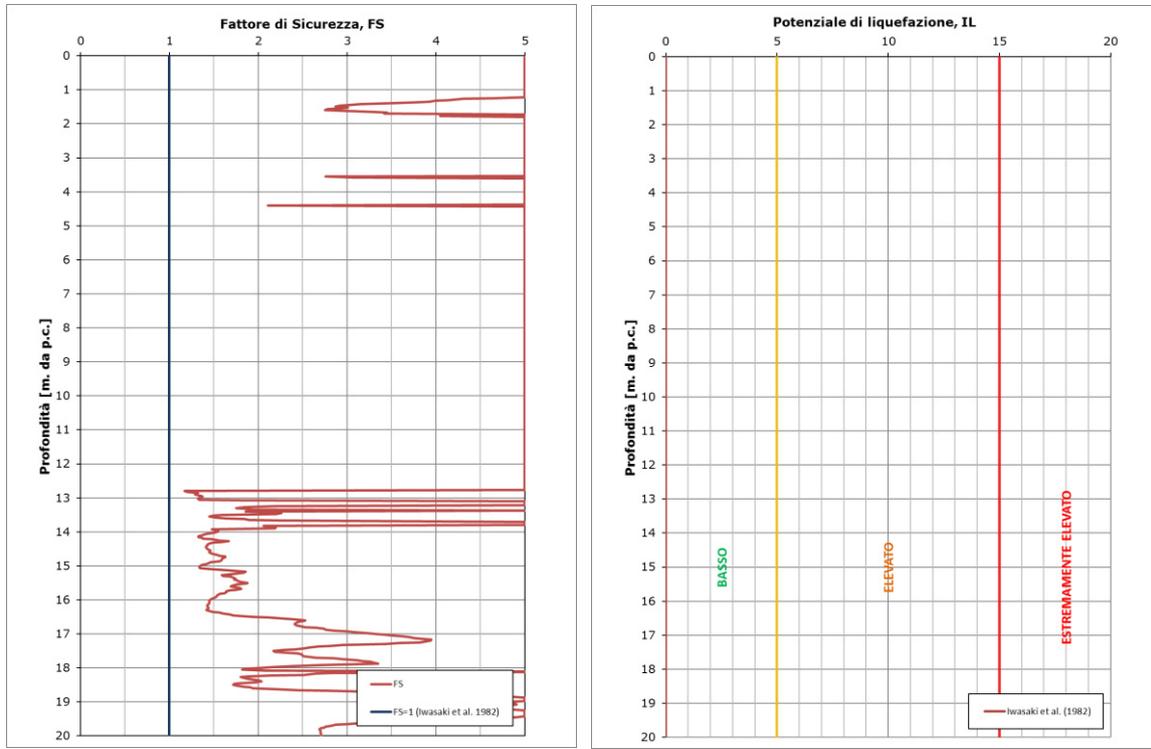


FIGURA 3-12: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1RE-CPTU 012 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

### 3.3. INDIVIDUAZIONE AREE LIQUEFACIBILI

In accordo alla prescrizione n. 33 del Decreto VIA, nell'aggiornamento del 2019 del Progetto Definitivo si identifica "zona liquefacibile" un'area ove il potenziale di liquefazione  $IL > 5$ . Per maggiori dettagli si faccia riferimento al documento Rif. [1].

La Tabella 3-1 evidenzia che in nessun caso si verifica la condizione  $IL > 5$ , pertanto la viabilità di adduzione D02 non presenta aree liquefacibili ai sensi del Decreto VIA.



AUTOSTRADA  
REGIONALE  
CISPADANA

**REGIONE EMILIA ROMAGNA**  
AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA  
dal casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 al casello di Ferrara Sud sulla A13

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA**  
GEOTECNICA

**VIABILITA' DI ADDUZIONE D02 - ADDENDUM ALLE RELAZIONI GEOTECNICHE - LIQUEFAZIONE**

---

#### **APPENDICE 1: OUTPUT LIQUEFYPRO**

