

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

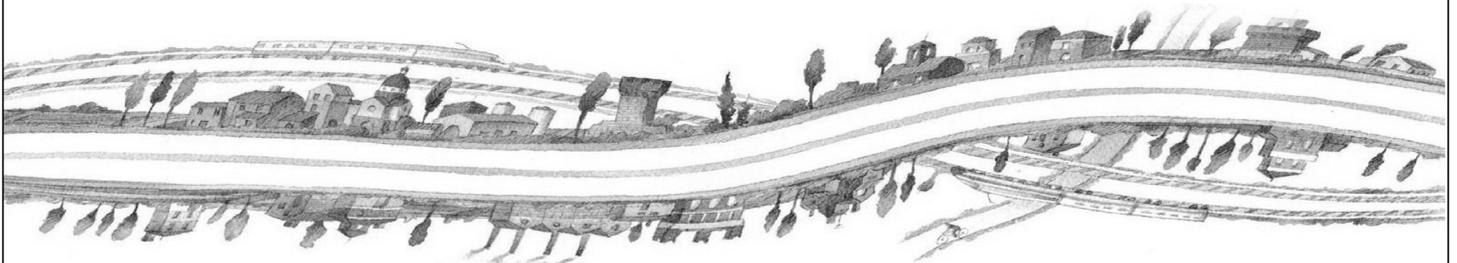
CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

**VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE
 D04-08 (EX 1FE) RACCORDO BONDENO - CENTO - AUTOSTRADA CISPADANA
 GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA**

GEOTECNICA

VIABILITA' DI ADDUZIONE D05 - ADDENDUM RELAZIONI GEOTECNICHE - LIQUEFAZIONE



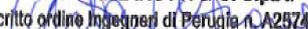
IL PROGETTISTA

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: AGOSTO 2019
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA: _
7482	PD	0	D05	D0000	0	GT	RH	01	A	

INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
2.1. NORMATIVE	3
2.2. ELABORATI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO	3
3. STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE ED INDIVIDUAZIONE DELLE AREE LIQUEFACIBILI CON PGA DA APPROCCIO SEMPLIFICATO DA NTC 2008 (PD 2012)	4
3.1. VERIFICHE DI LIQUEFAZIONE	4
3.2. RISULTATI DELLE VERIFICHE DI LIQUEFAZIONE	7
3.3. INDIVIDUAZIONE AREE LIQUEFACIBILI	19
4. STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE CON ACCELERAZIONE DA RISPOSTA SISMICA LOCALE	21
 Appendice 1: Output LiquefyPro.....	 23



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;

Rif. [2] Elaborato PD_0_D00_D0000_0_GT_RH_02_A: ADDENDUM LIQUEFAZIONE – RISPOSTA SISMICA LOCALE - ZONA 31L

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

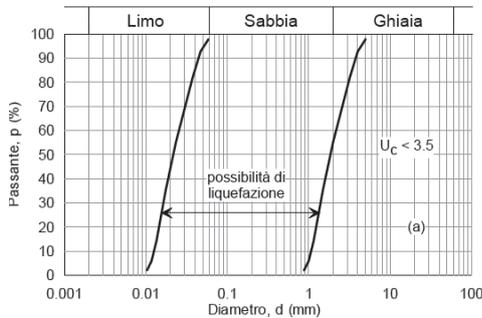
3.1. VERIFICHE DI LIQUEFAZIONE

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.

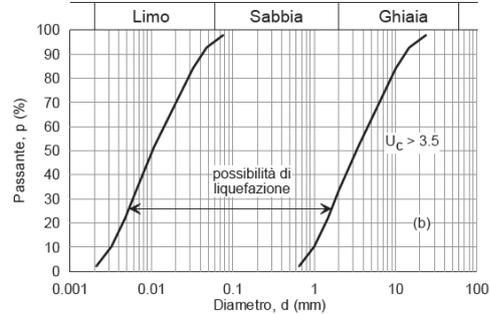
L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

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 e relative integrazioni richieste in ambito VIA;
- 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: D;
- 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 D05

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)	Cedimenti post-sismici [cm]	IL>5?
CPTU565	50	III	D	Cento (FE)	0.5	5.50	0.312	1.84		NO
CPTU566	50	III	D	Cento (FE)	0.5	5.50	0.312	2.1		NO
CPTU567	50	III	D	Cento (FE)	0.5	5.50	0.312	1.05		NO
CPTU568	50	III	D	Cento (FE)	0.5	5.50	0.312	0.78		NO
CPTU569	50	III	D	Cento (FE)	0.5	5.50	0.312	2.17		NO
CPTU570	50	III	D	Cento (FE)	0.5	5.50	0.312	0.67		NO
CPTU571	50	III	D	Cento (FE)	0.5	5.50	0.312	0.04		NO
CPTU279								ESCLUSA		NO
CPTU280								ESCLUSA		NO
CPTU284								ESCLUSA		NO
CPTU285	50	III	D	S. Agostino (FE)	1	5.50	0.308	1.18		NO
CPTU286	50	III	D	S. Agostino (FE)	1	5.50	0.308	0.66		NO
CPTU287	50	III	D	S. Agostino (FE)	1	5.50	0.308	0.53		NO
CPTU288								ESCLUSA		NO
CPTU289								ESCLUSA		NO
1FE-CPTU14	50	III	D	S. Agostino (FE)	1	5.50	0.308	0.47		NO
1FE-CPTU15	50	III	D	S. Agostino (FE)	1	5.50	0.308	0.97		NO
1FE-CPTU16	50	III	D	Bondeno (FE)	1	5.50	0.281	0.1		NO
1FE-CPTU17	50	III	D	Bondeno (FE)	1	5.50	0.281	0.72		NO
1FE-CPTU18	50	III	D	Bondeno (FE)	1	5.50	0.281	0.42		NO
1FE-CPTU518	50	III	D	Bondeno (FE)	1	5.50	0.281	1.61		NO
1FE-CPTU519	50	III	D	Bondeno (FE)	1	5.50	0.281	4.31		NO
1FE-CPTU20	50	III	D	Bondeno (FE)	1	5.50	0.281	1.52		NO
1FE-CPTU520	50	III	D	Bondeno (FE)	1	5.50	0.281	1.91		NO
1FE-CPTU521								ESCLUSA		NO
1FE-CPTU522	50	III	D	Bondeno (FE)	1	5.50	0.281	5.26	10.54	SI
1FE-CPTU23	50	III	D	Bondeno (FE)	1	5.50	0.281	0.02		NO

Gli Output del software LiquefyPro sono consultabili in Appendice 1.

Si riportano, inoltre, per ciascuna prova eseguita lungo la D05, 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]).

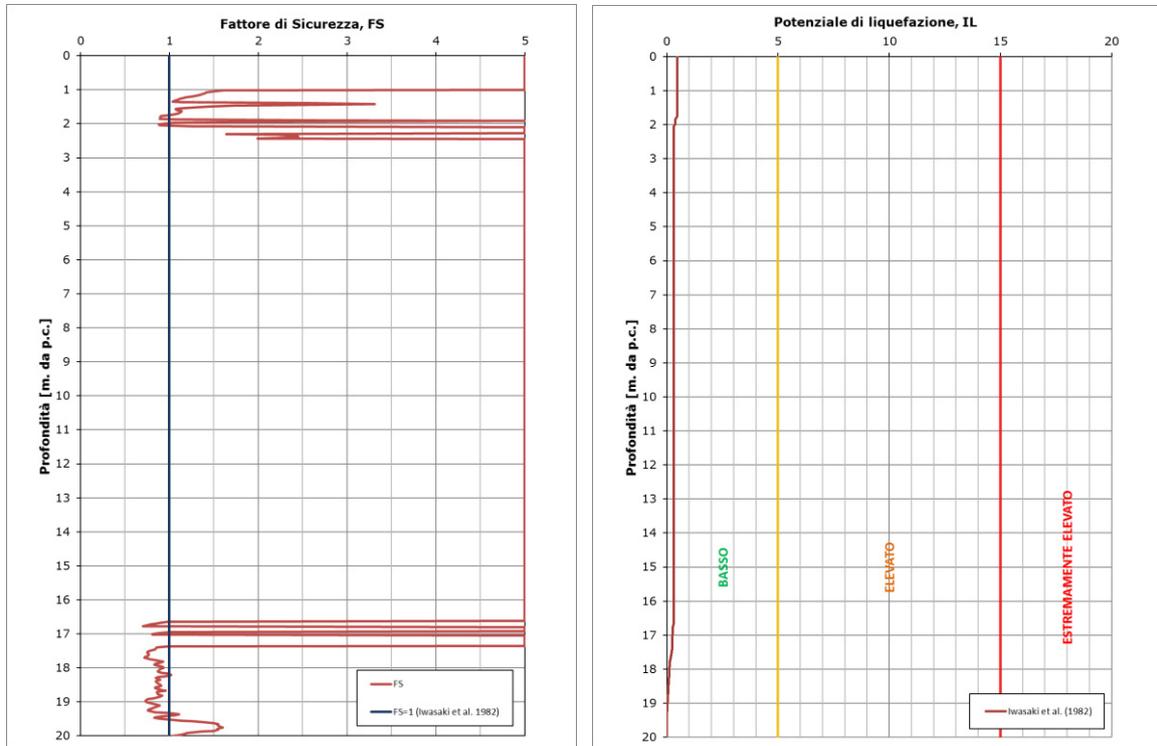


FIGURA 3-1: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1FE-CPTU 014 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

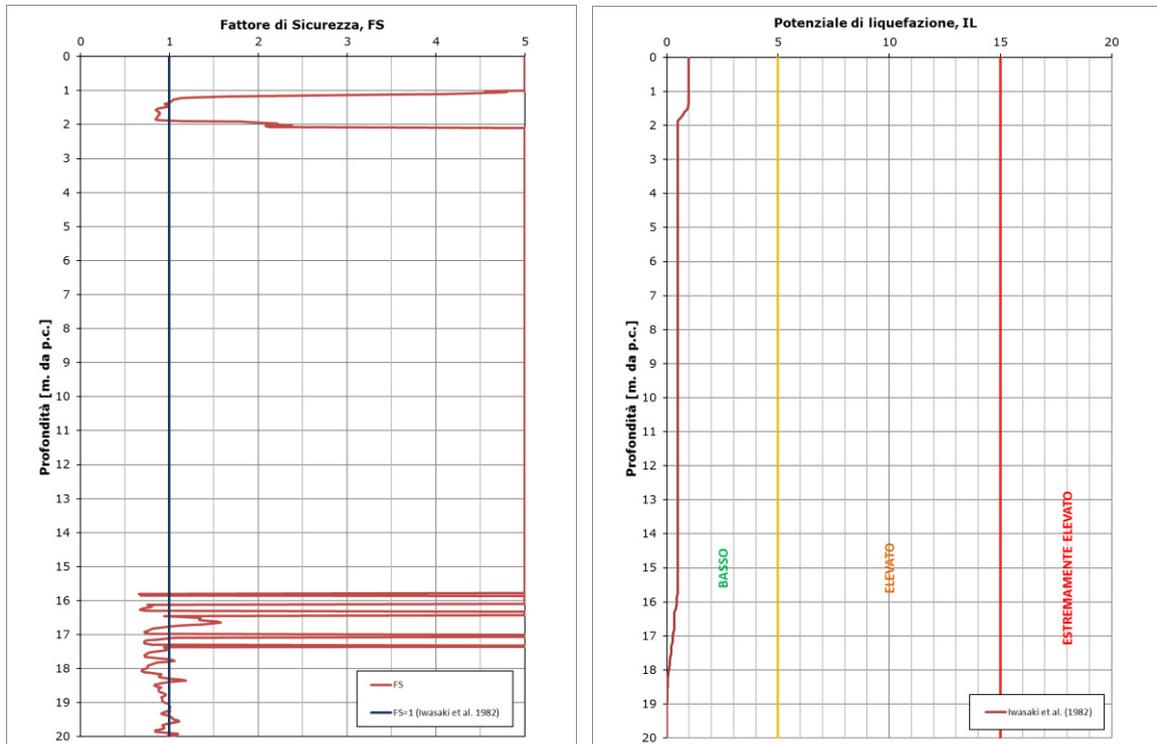


FIGURA 3-2: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1FE-CPTU 015 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

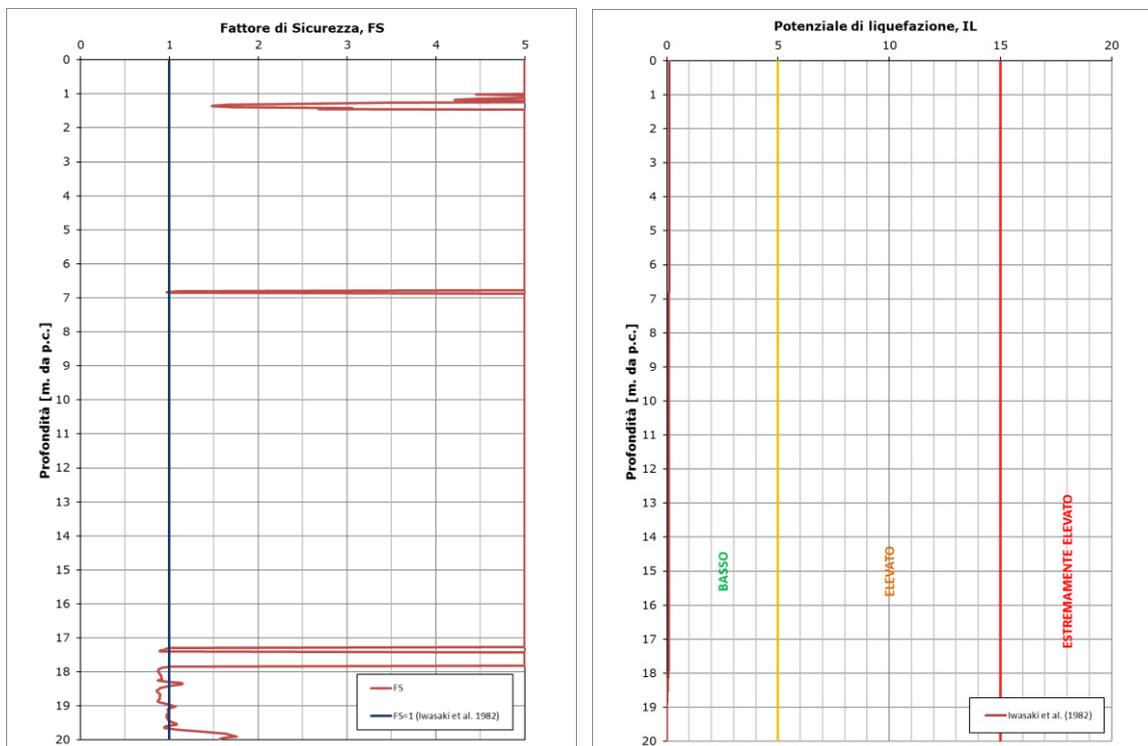


FIGURA 3-3: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1FE-CPTU 016 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

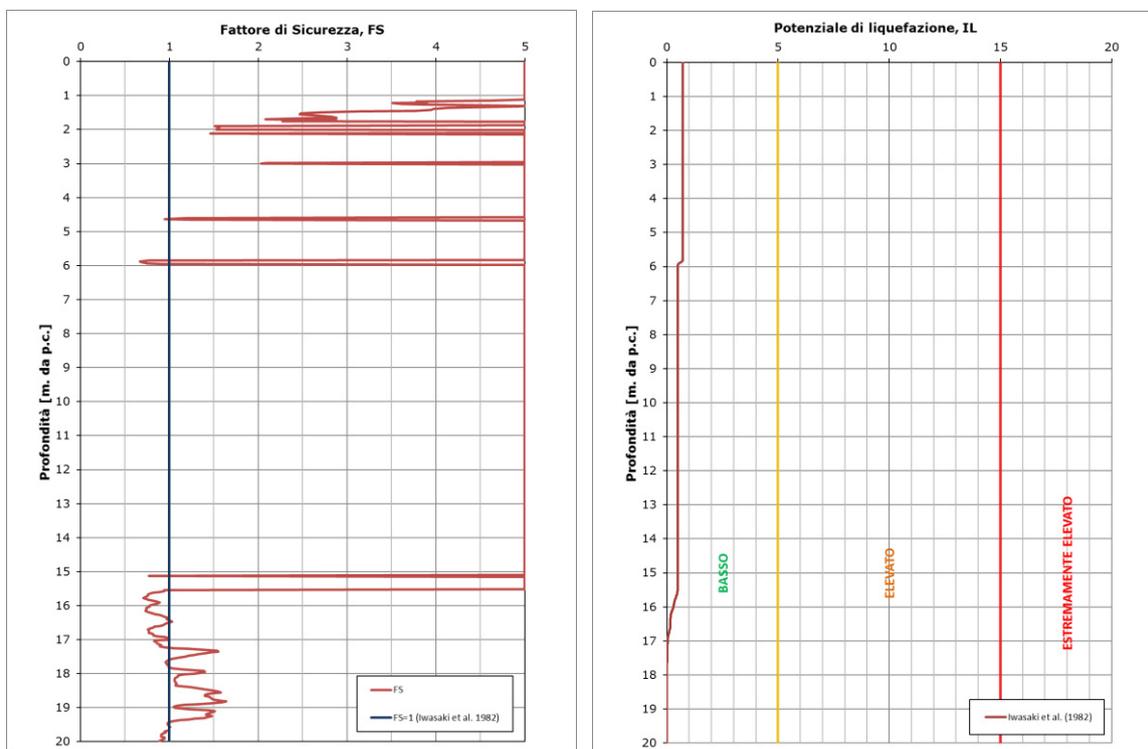


FIGURA 3-4: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1FE-CPTU 017 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

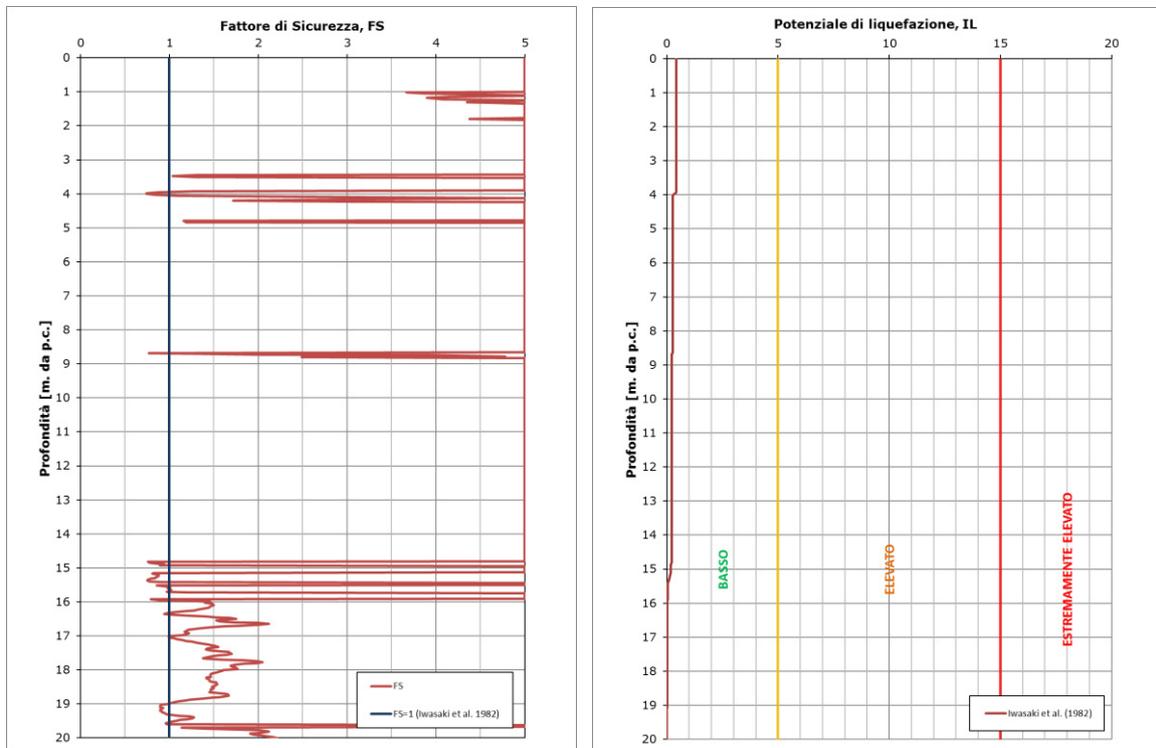


FIGURA 3-5: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1FE-CPTU 018 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

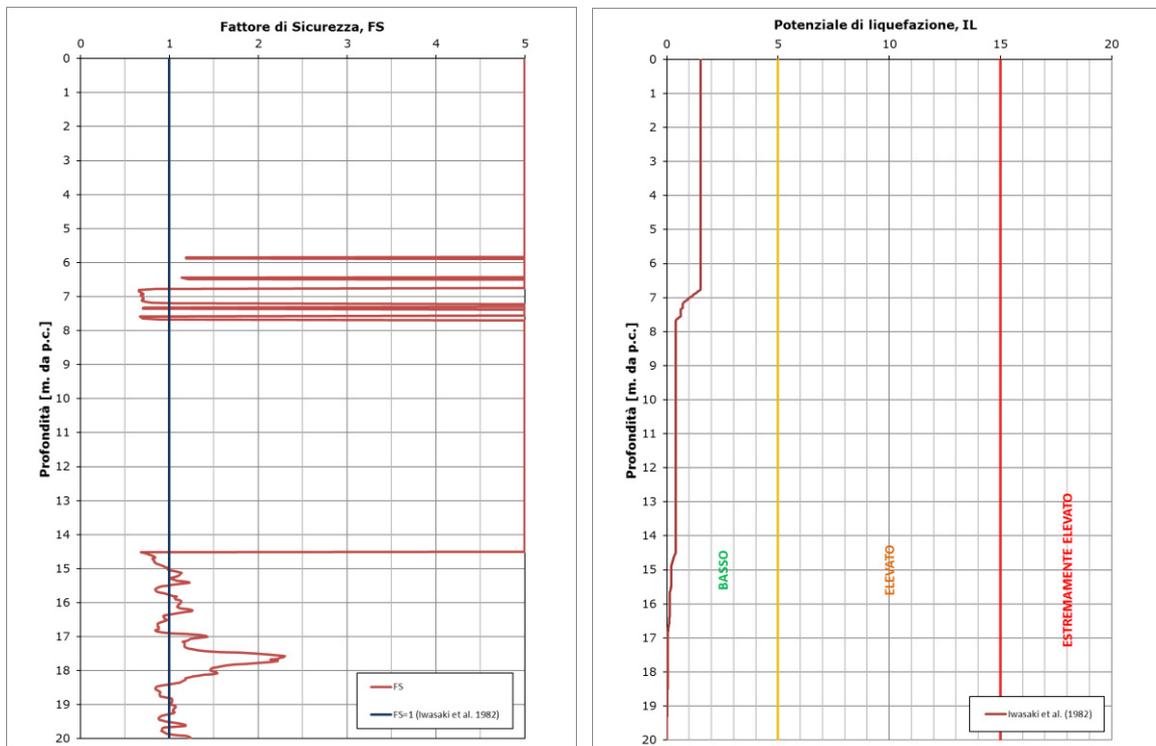


FIGURA 3-6: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1FE-CPTU 020 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

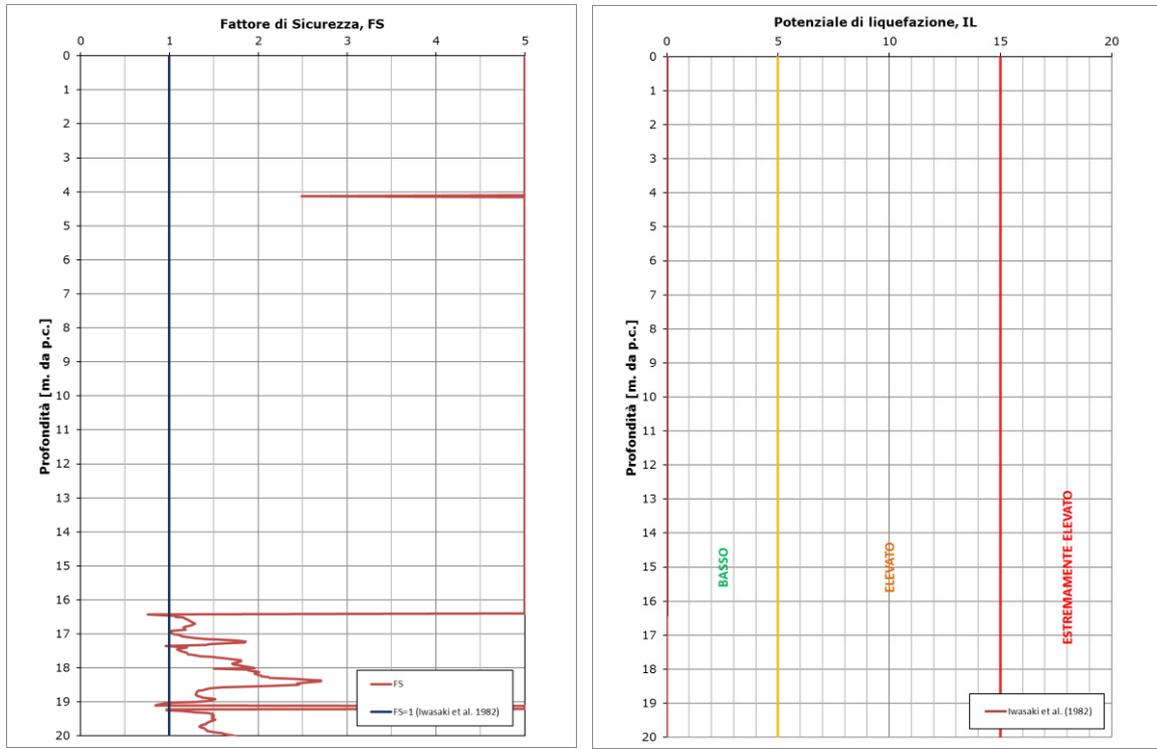


FIGURA 3-7: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1FE-CPTU 023 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

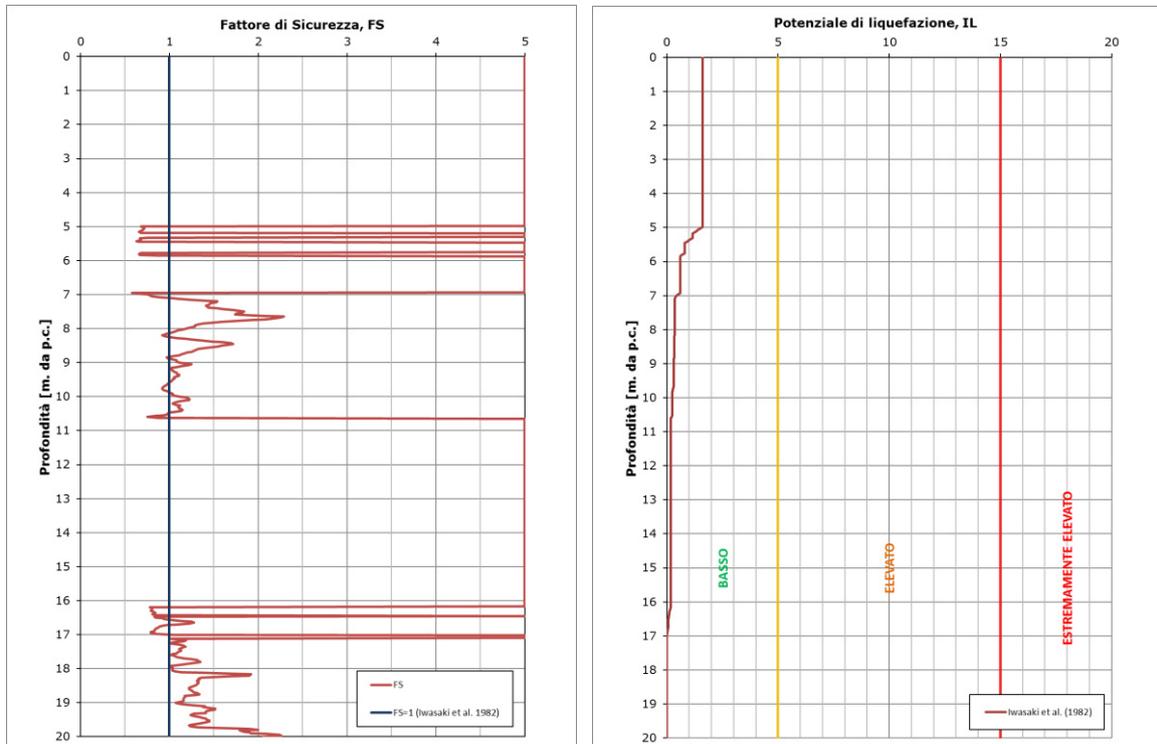


FIGURA 3-8: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1FE-CPTU 518 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

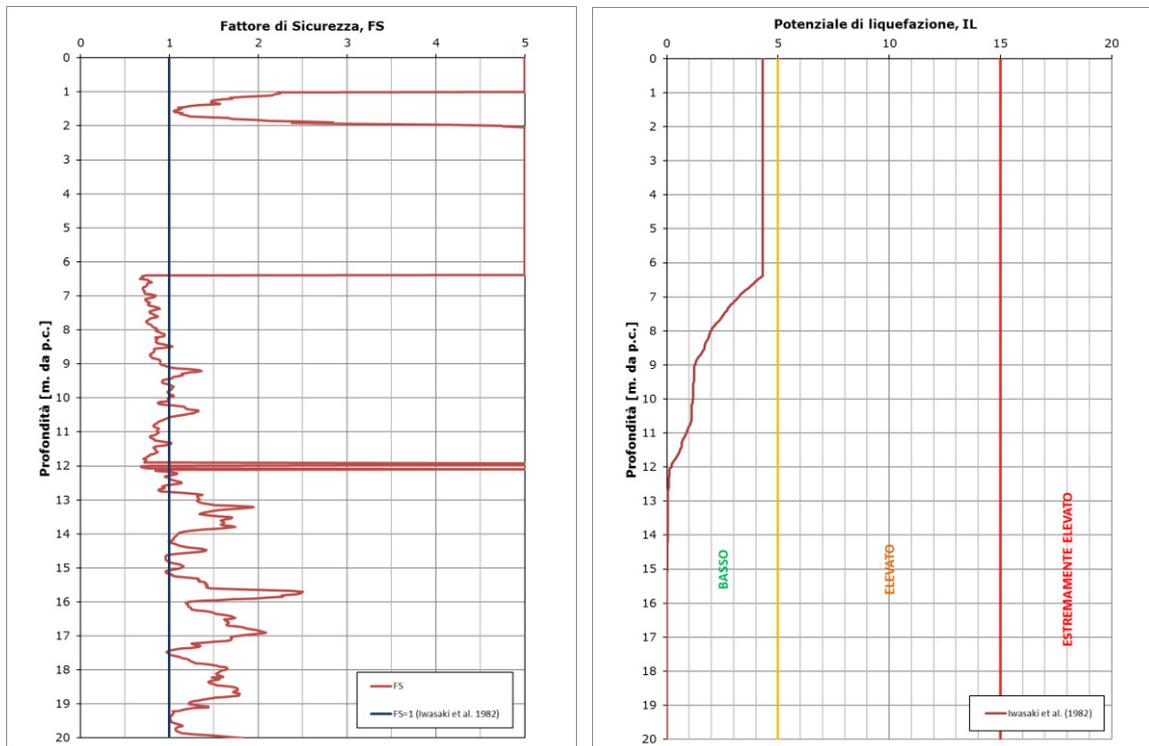


FIGURA 3-9: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1FE-CPTU 519 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

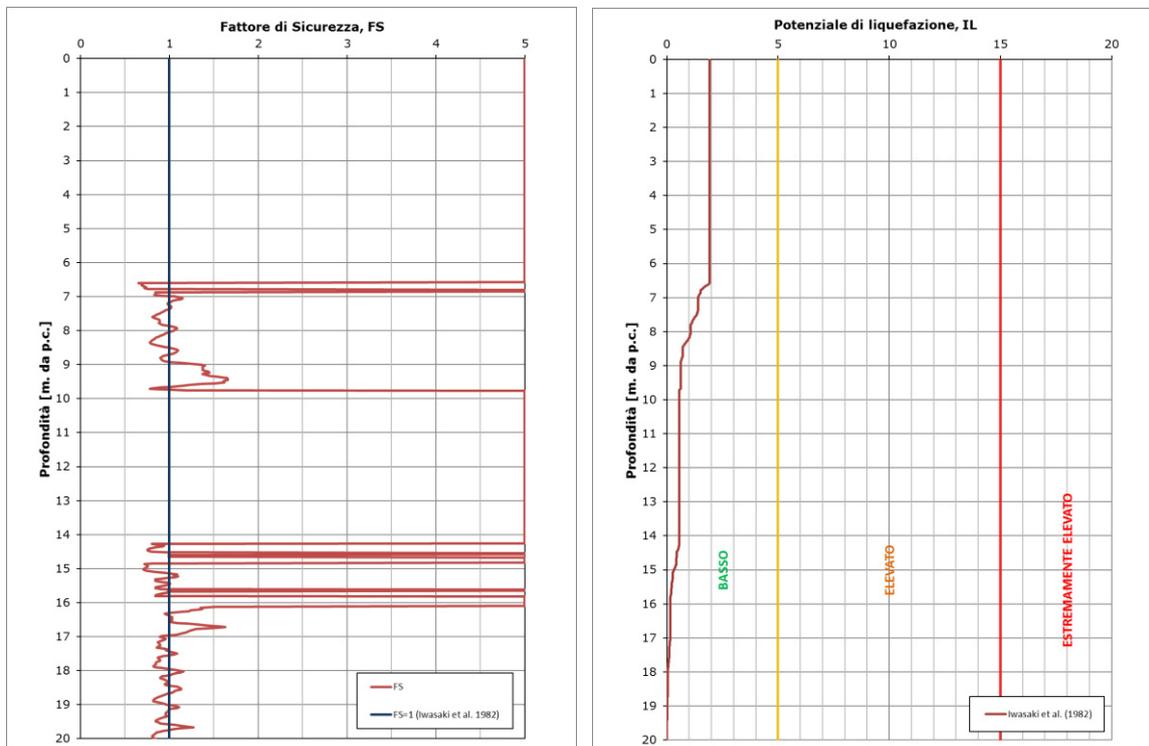


FIGURA 3-10: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1FE-CPTU 520 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

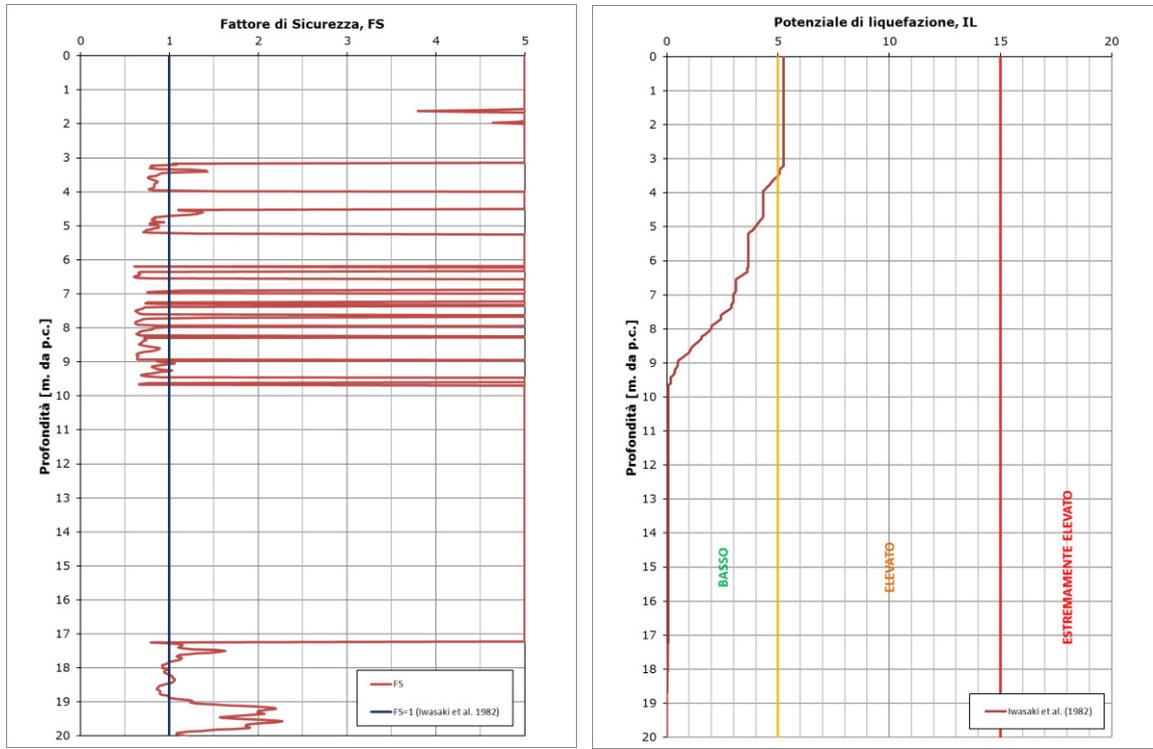


FIGURA 3-11: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA 1FE-CPTU 522 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

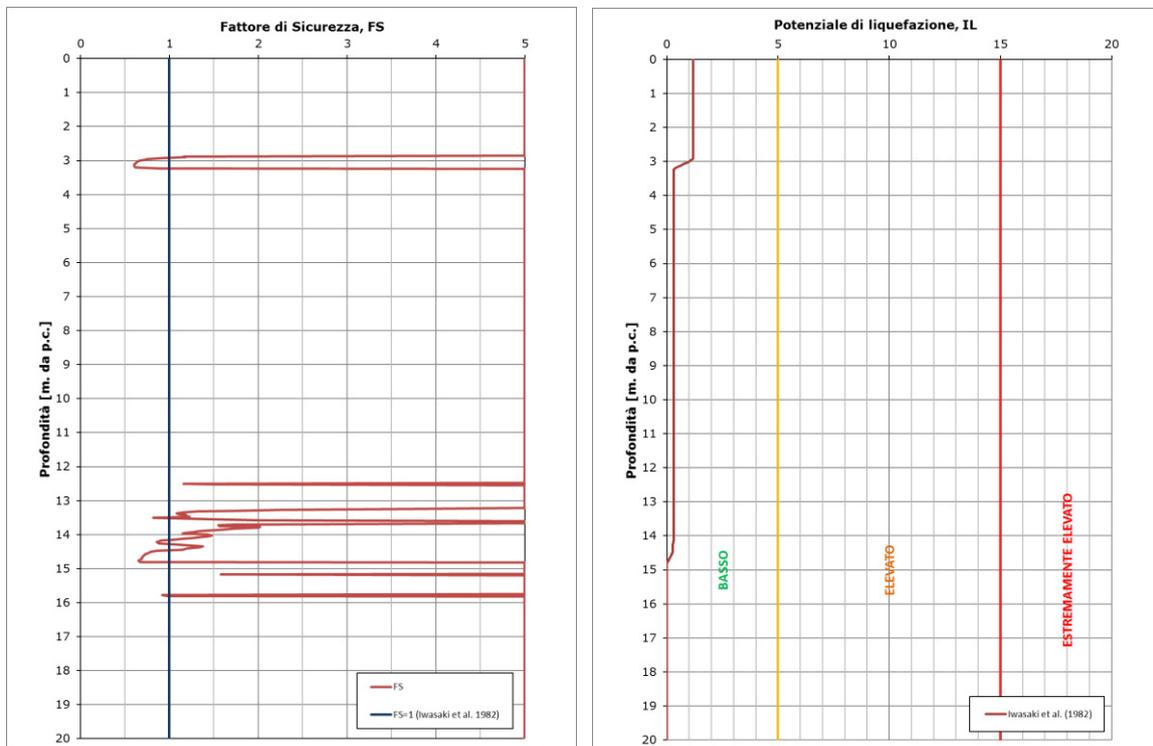


FIGURA 3-12: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA CPTU 285 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

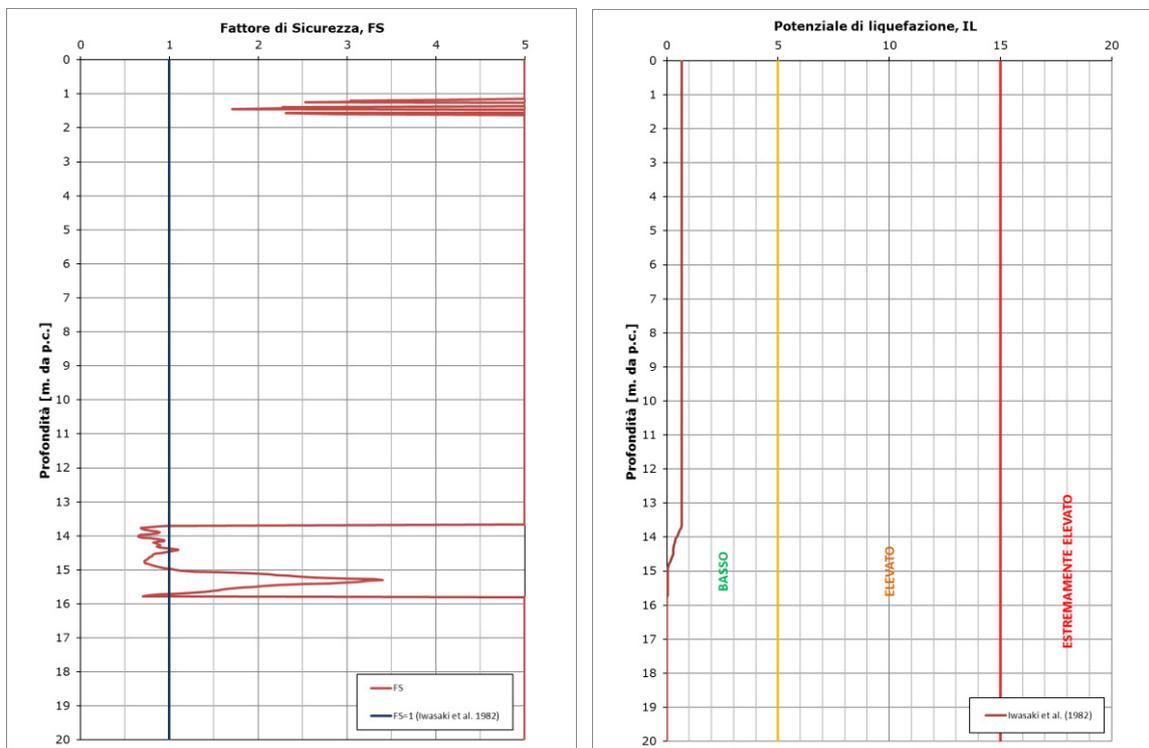


FIGURA 3-13: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA CPTU 286 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

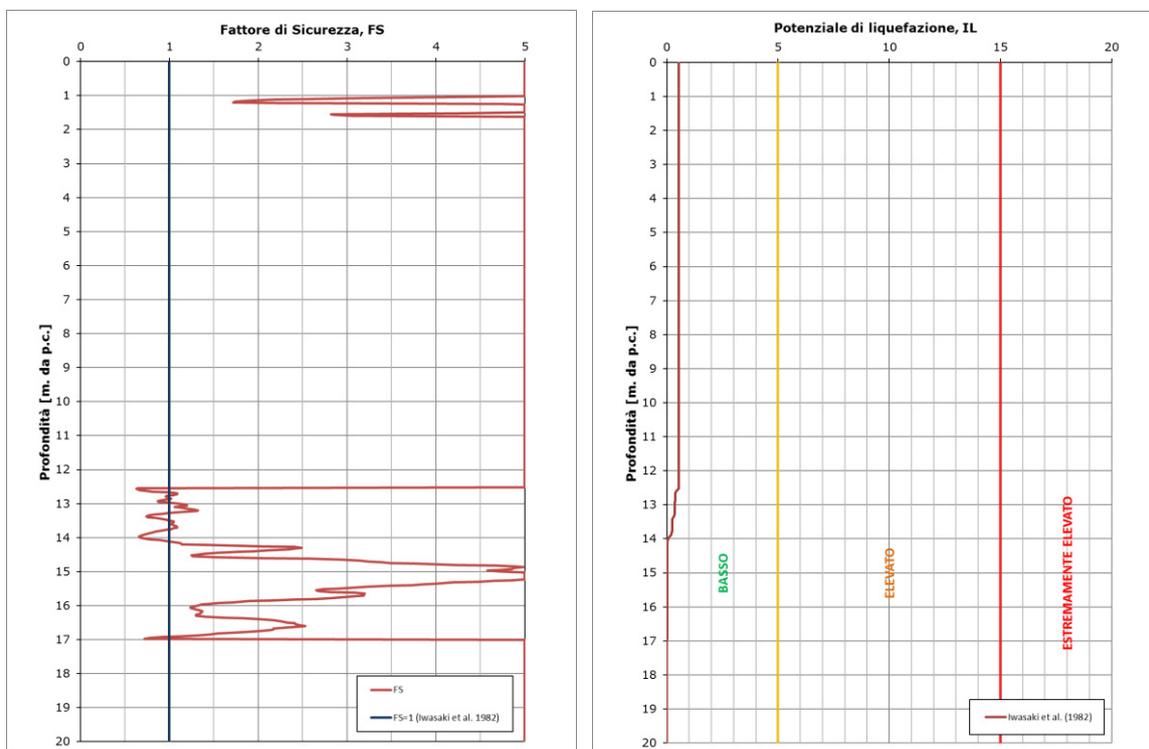


FIGURA 3-14: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA CPTU 287 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

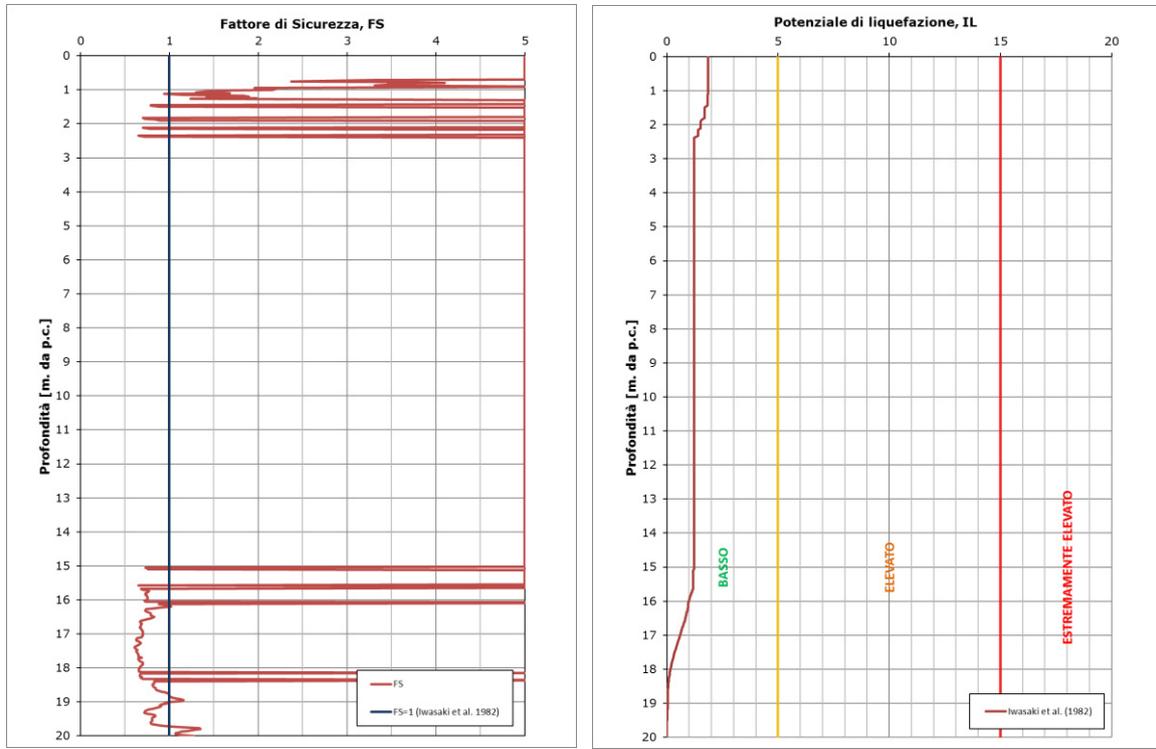


FIGURA 3-15: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA CPTU 565 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

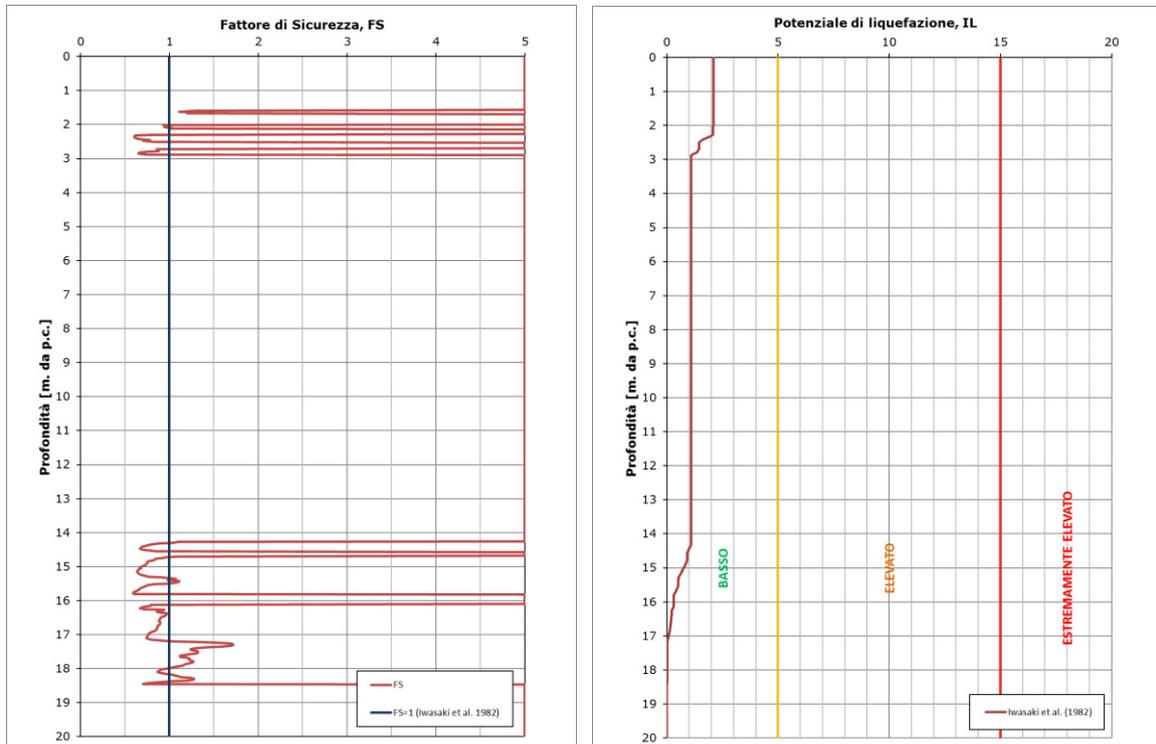


FIGURA 3-16: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA CPTU 566 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

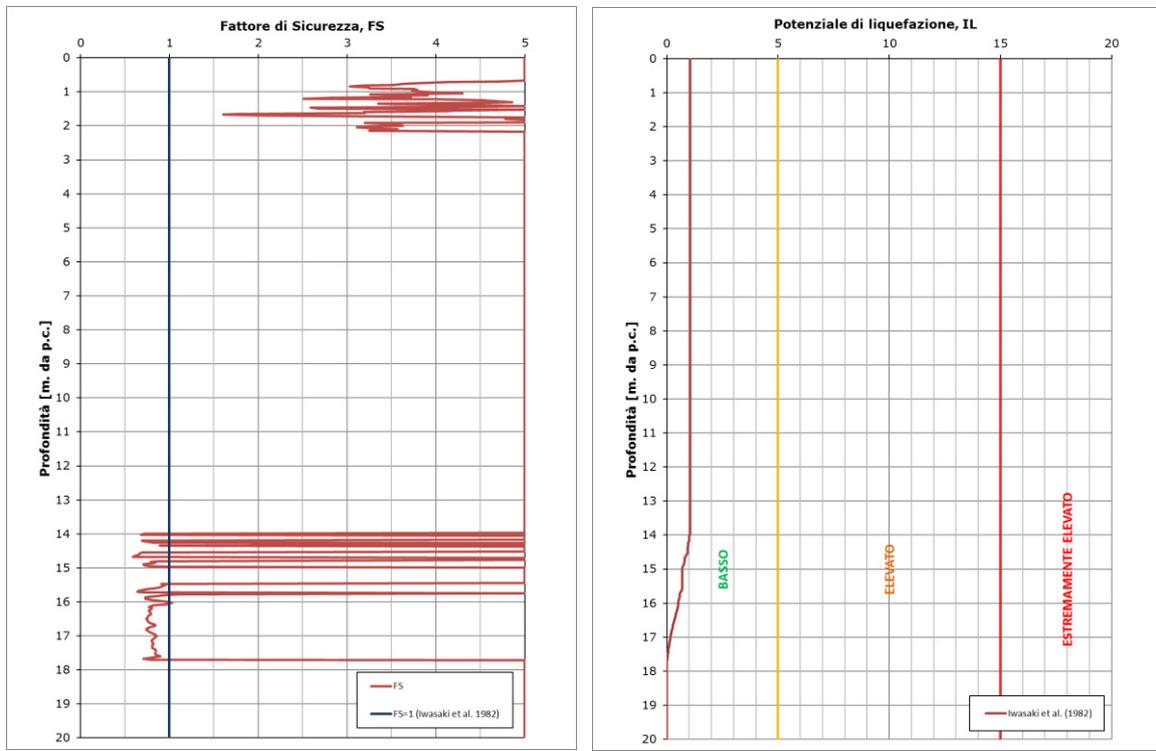


FIGURA 3-17: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA CPTU 567 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

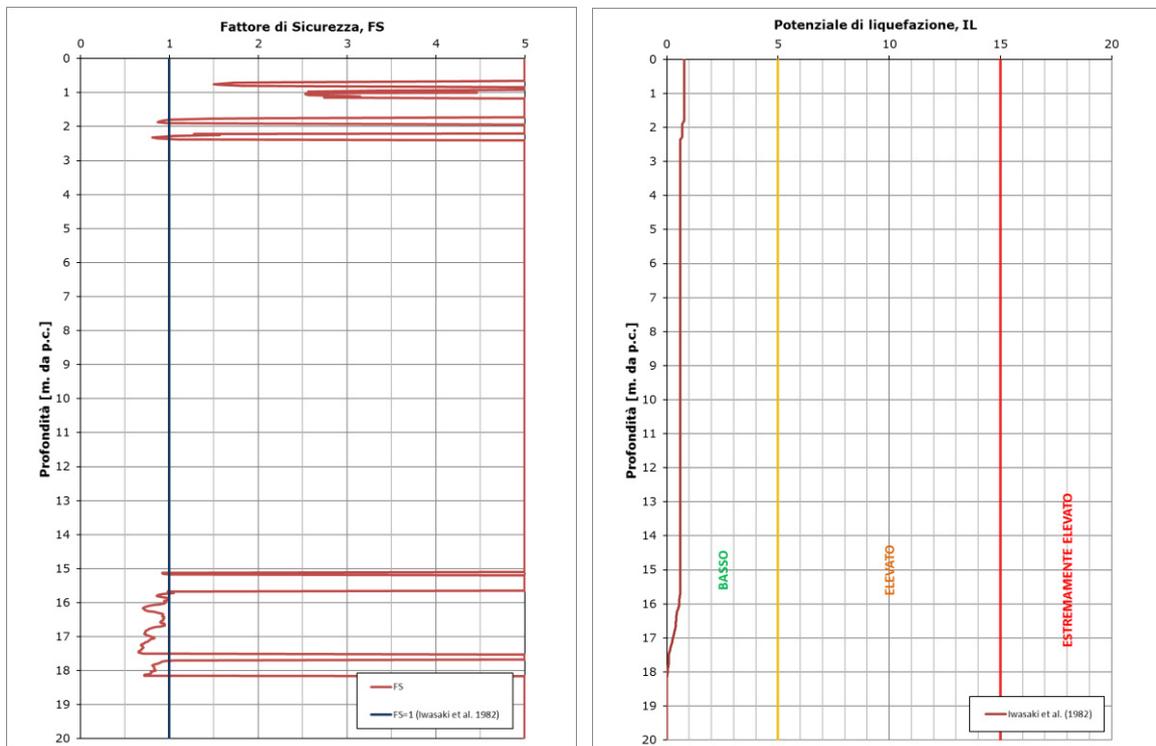


FIGURA 3-18: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA CPTU 568 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

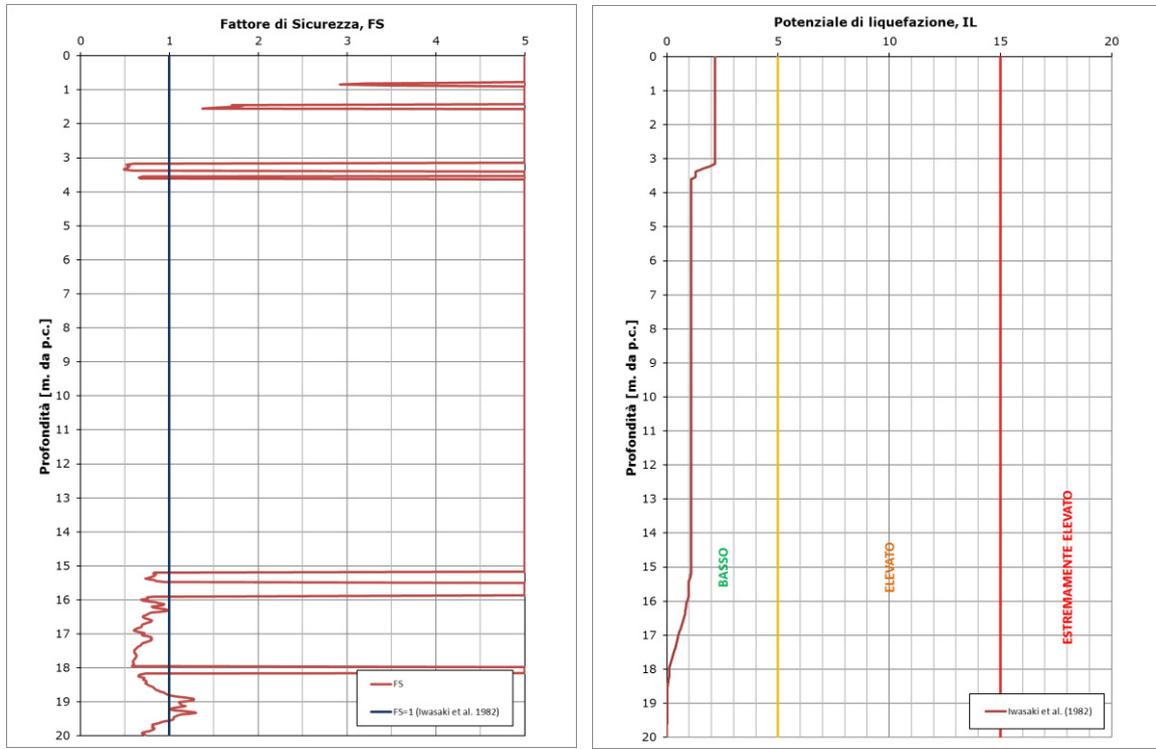


FIGURA 3-19: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA CPTU 569 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

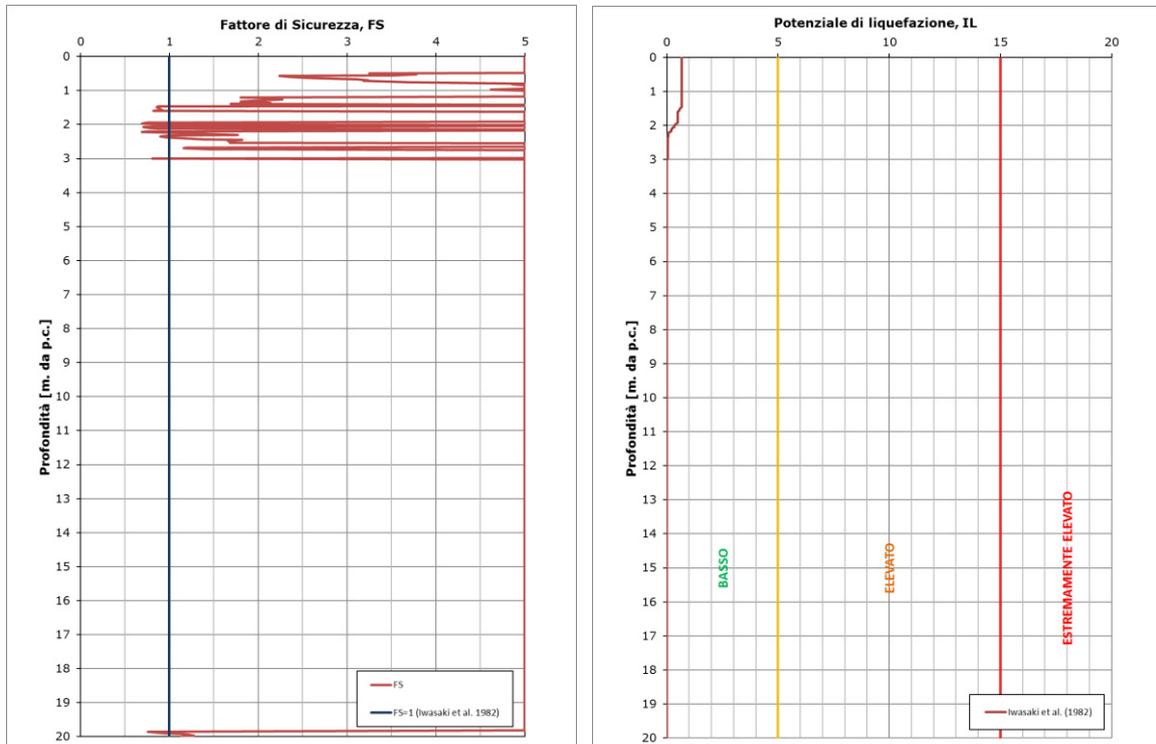


FIGURA 3-20: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA CPTU 570 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

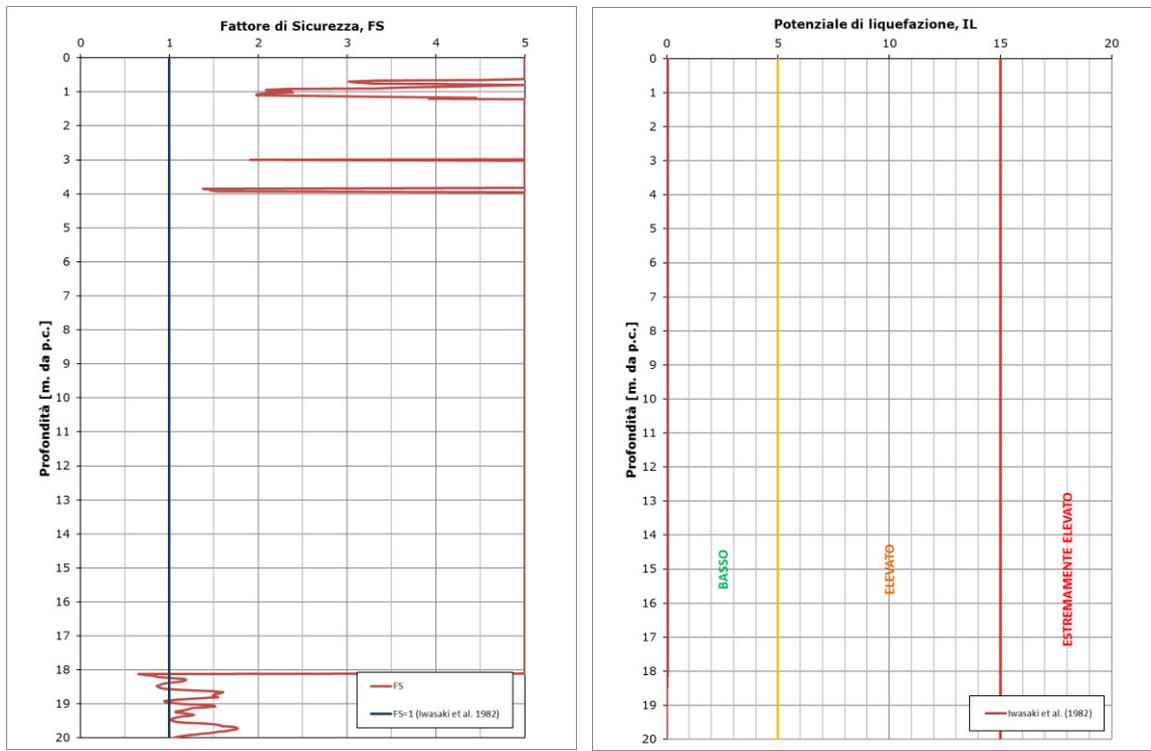


FIGURA 3-21: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA CPTU 571 CON ACCELERAZIONE DA APPROCCIO SEMPLIFICATO

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 solo per la 1FE-CPTU 522 si verifica la condizione $IL > 5$, pertanto la viabilità di adduzione D05 presenta un'unica area liquefacibile.

L'estensione planimetrica dell'area, denominata zona liquefacibile 31L, è stata definita in accordo alla procedura indicata nell'elaborato del Rif. [1] e rappresentata nella figura seguente.

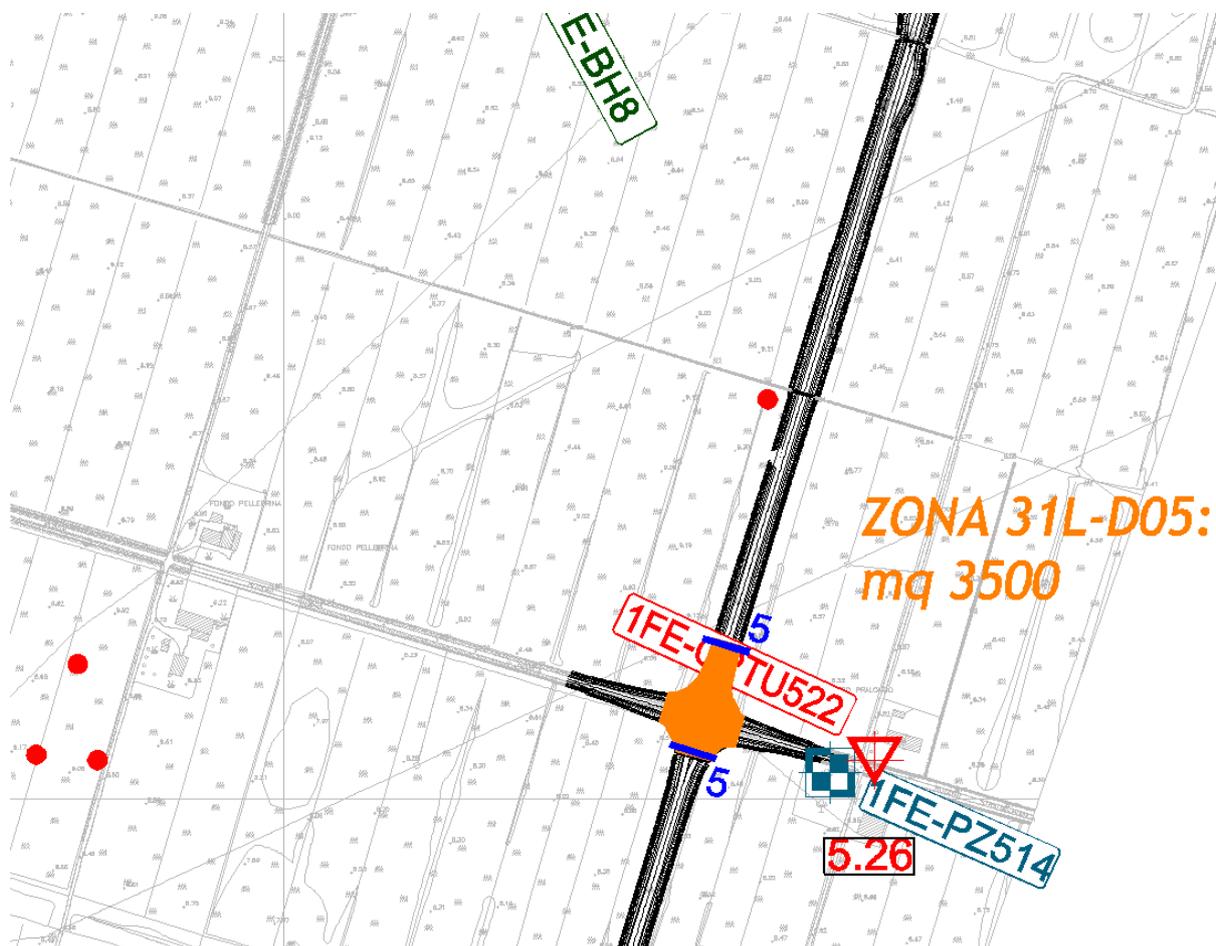


FIGURA 3-22: LOCALIZZAZIONE ZONA LIQUEFACIBILE 31L - D05.

Di seguito si riporta l'area liquefacibile individuata e la superficie complessiva dell'area liquefacibile.

TABELLA 3-2: IDENTIFICAZIONE DELLA ZONA LIQUEFACIBILE LUNGO IL TRACCIATO DELLA D05.

ZONA LIQUEFACIBILE	Superficie [m ²]
31L	3 500

4. STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE CON ACCELERAZIONE DA RISPOSTA SISMICA LOCALE

In corrispondenza di ogni zona liquefacibile, calcolato il potenziale di liquefazione di tutte le prove CPTU a disposizione, è stata estratta la prova CPTU rappresentativa dell'area (i risultati in termini di IL ed FS sono presentati al paragrafo 3), ed è stata eseguita l'analisi di risposta sismica locale al fine di determinare l'accelerazione in superficie (PGA) e lo spettro di progetto.

L'analisi viene svolta seguendo i passaggi qui descritti:

- individuazione di un set di 7 accelerogrammi spettro-compatibili;
- caratterizzazione sismica dei terreni in accordo ai risultati delle indagini disponibili a corredo della progettazione;
- risposta sismica locale condotta in condizioni 1D in termini di tensioni totali.

La Risposta Sismica Locale della zona liquefacibile 31L è riportato nel documento Rif. [2].

Per ciascuna zona liquefacibile definita a partire dalle PGA da approccio semplificato descritto nelle NTC 2008, attraverso l'analisi di risposta sismica è stata quindi ottenuta una nuova PGA di progetto, che ha consentito di ricalcolare nuovamente il potenziale di liquefazione.

Di seguito si riporta per la prova 1FE-CPTU 522, caratterizzata da $IL > 5$, i risultati delle verifiche di liquefazione stimati con accelerazione da Risposta Sismica Locale 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, facendo riferimento ai criteri espressi nel paragrafo 3 e nell'elaborato Rif. [1].

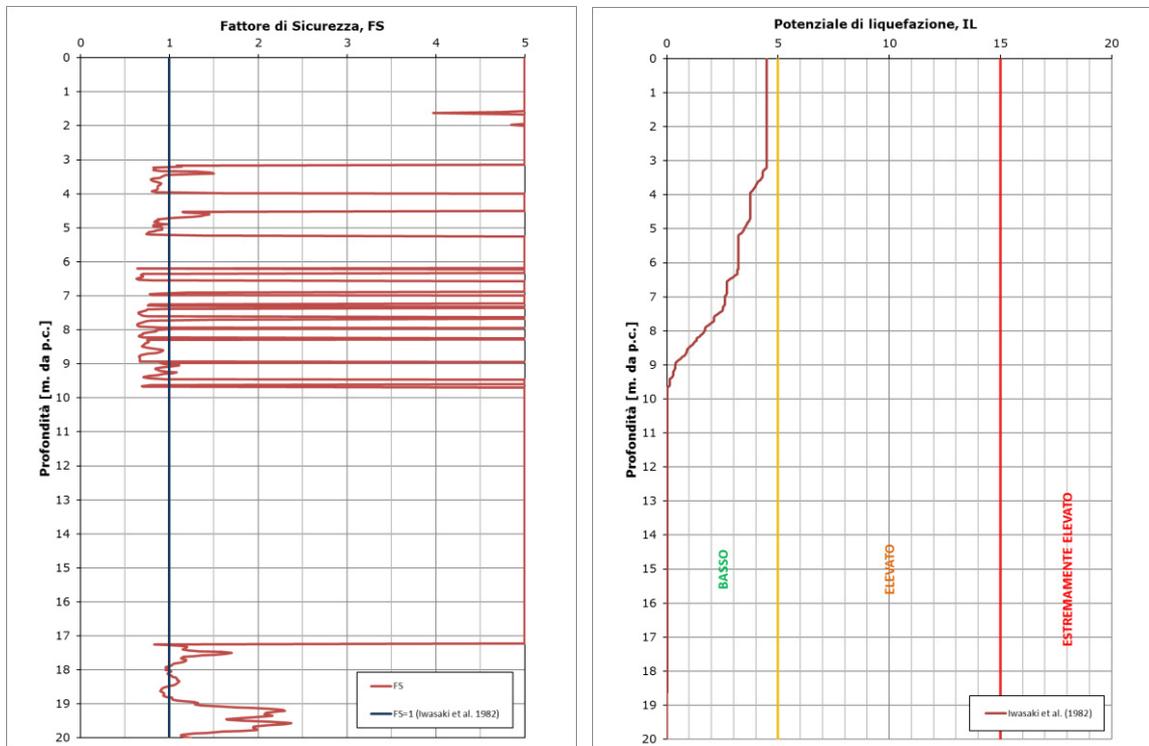


FIGURA 4-1: OUTPUT DI CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE PER LA1FE-CPTU 522 CON ACCELERAZIONE DA RSL

Nella successiva tabella sono riepilogati:

- la prova CPTU di riferimento;
- la PGA da analisi di risposta sismica locale e il relativo potenziale di liquefazione;
- l'indicazione delle aree che risultano liquefacibili considerando il potenziale di liquefazione ottenuto da PGA da analisi di risposta sismica locale.

TABELLA 4-1: RIASSUNTO DEI RISULTATI DELL'ANALISI DI LIQUEFAZIONE NELLE ZONE LIQUEFACIBILI – D05

ZONA LIQUEFACIBILE	CPTU di riferimento	PGA da RSL [g]	IL da RSL	ZONE LIQUEFACIBILI da RSL
31L	1FE-CPTU 522	0.269	4.48	-

Le verifiche di liquefazione, a seguito della RSL, mostrano che per l'area 31L non si riscontra il requisito $IL > 5$ e di conseguenza non è più necessario procedere con ulteriori analisi ai sensi del Decreto VIA.



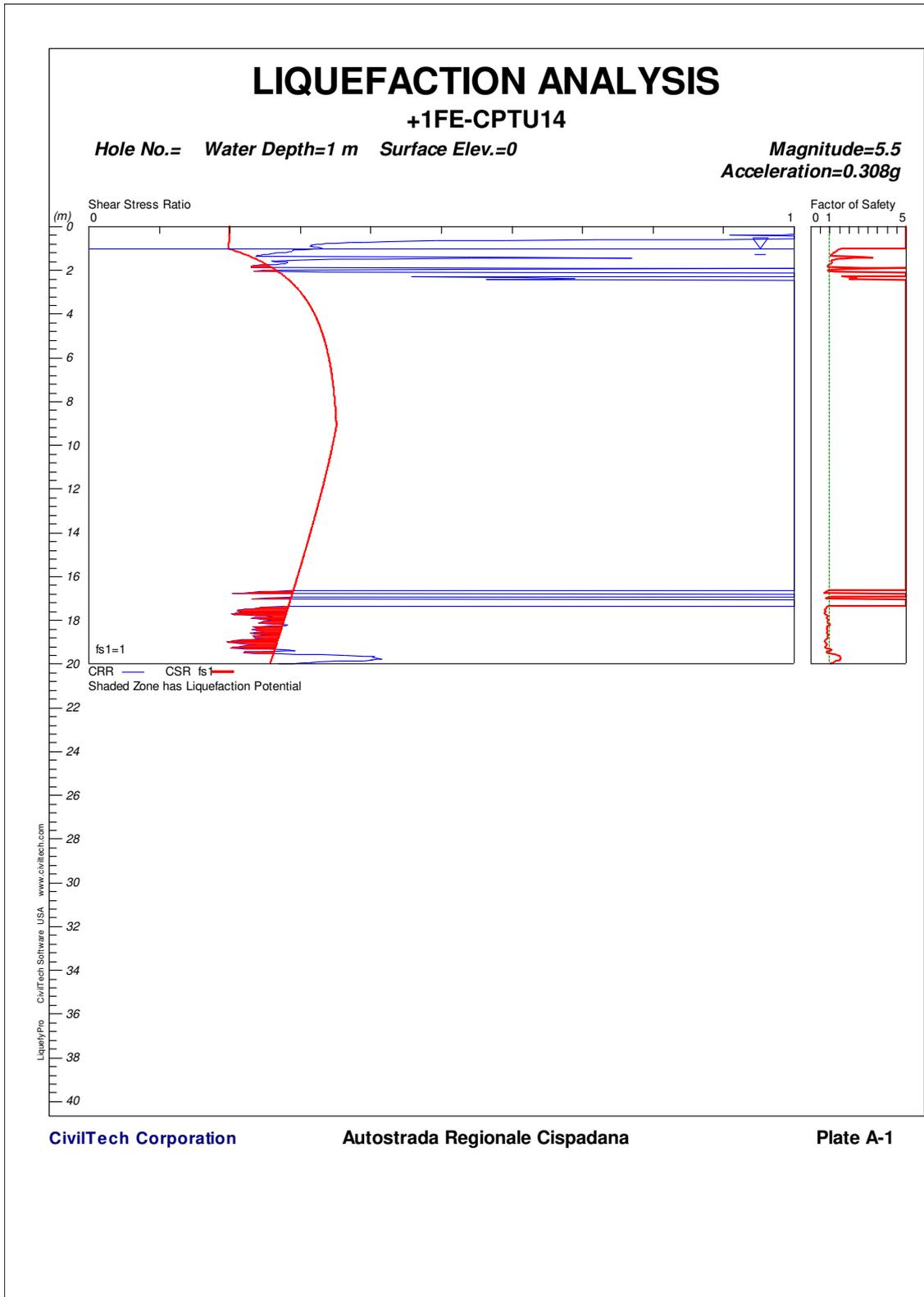
AUTOSTRADA
REGIONALE
CISPADANA

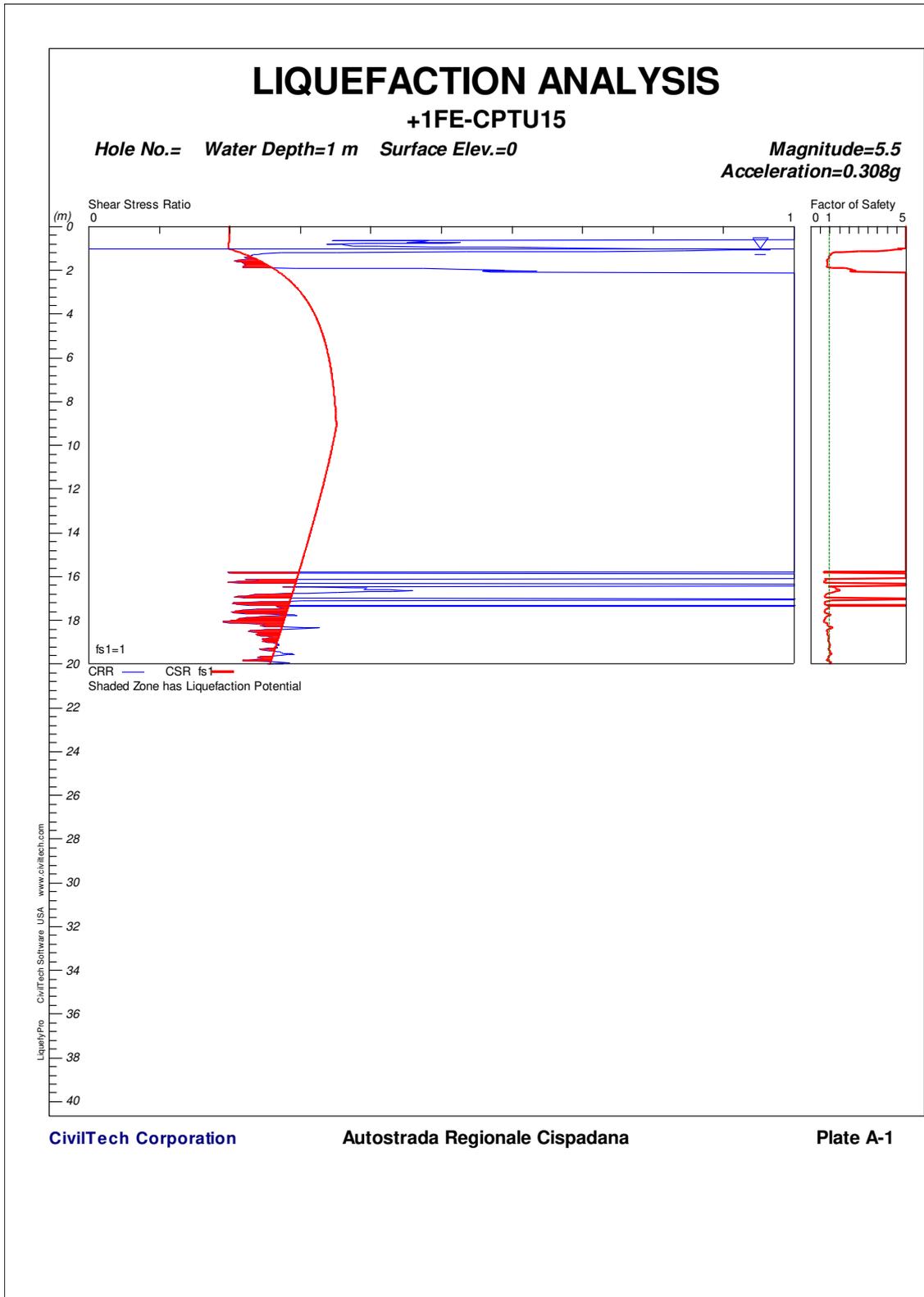
REGIONE EMILIA ROMAGNA
AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA
dal casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 al casello di Ferrara Sud sulla A13

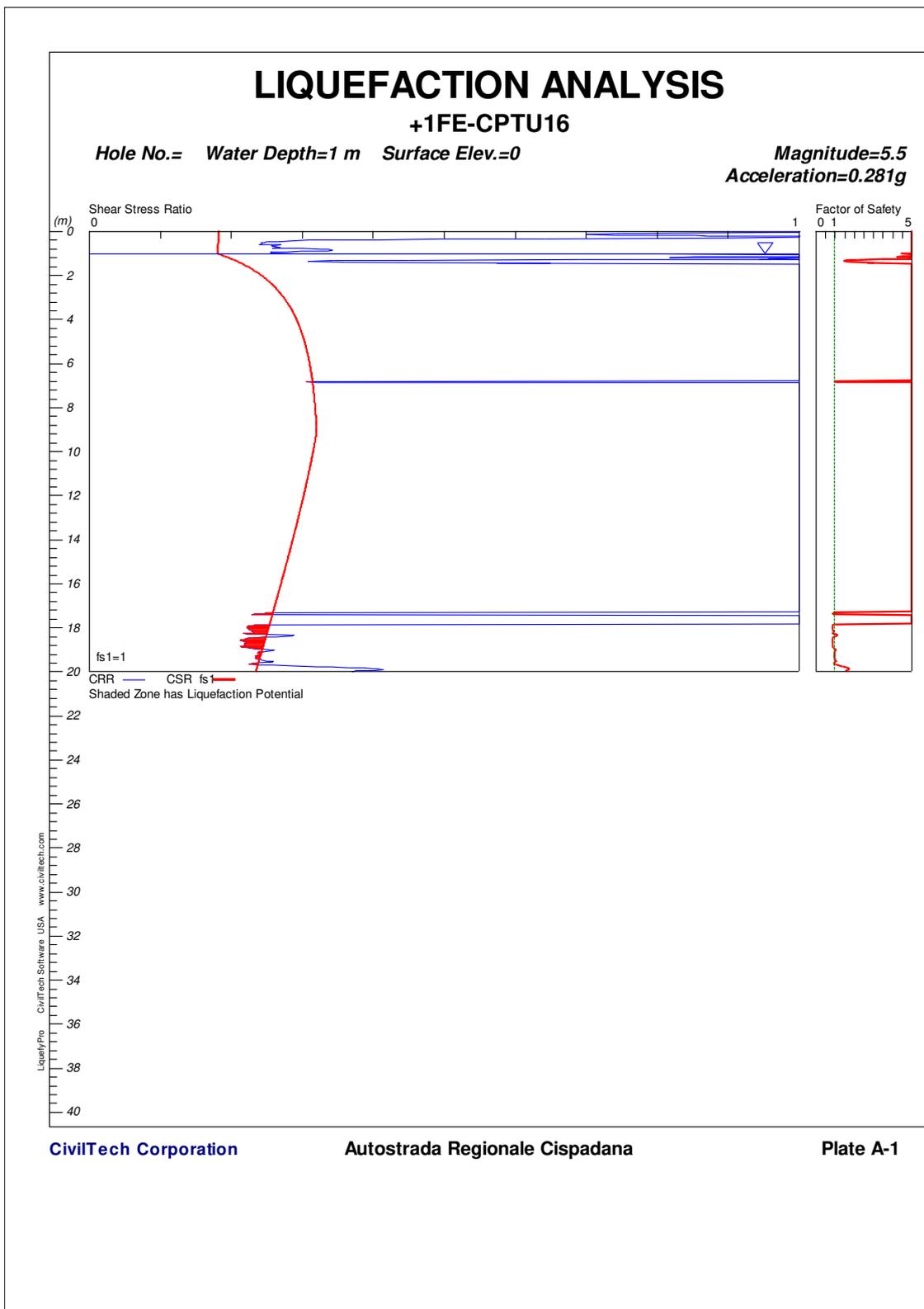
PROGETTO DEFINITIVO
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA
GEOTECNICA

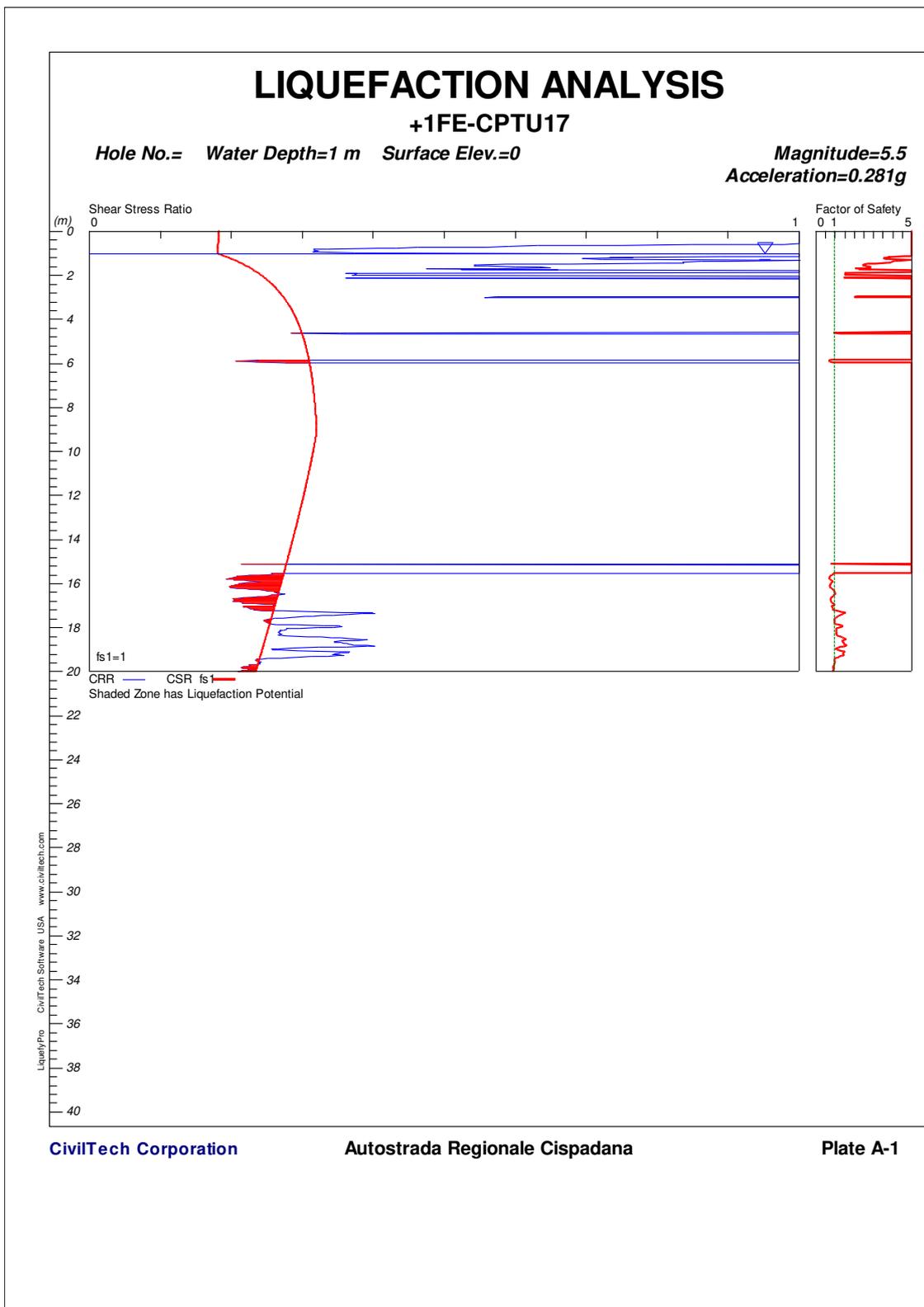
VIABILITA' DI ADDUZIONE D05 - ADDENDUM ALLE RELAZIONI GEOTECNICHE - LIQUEFAZIONE

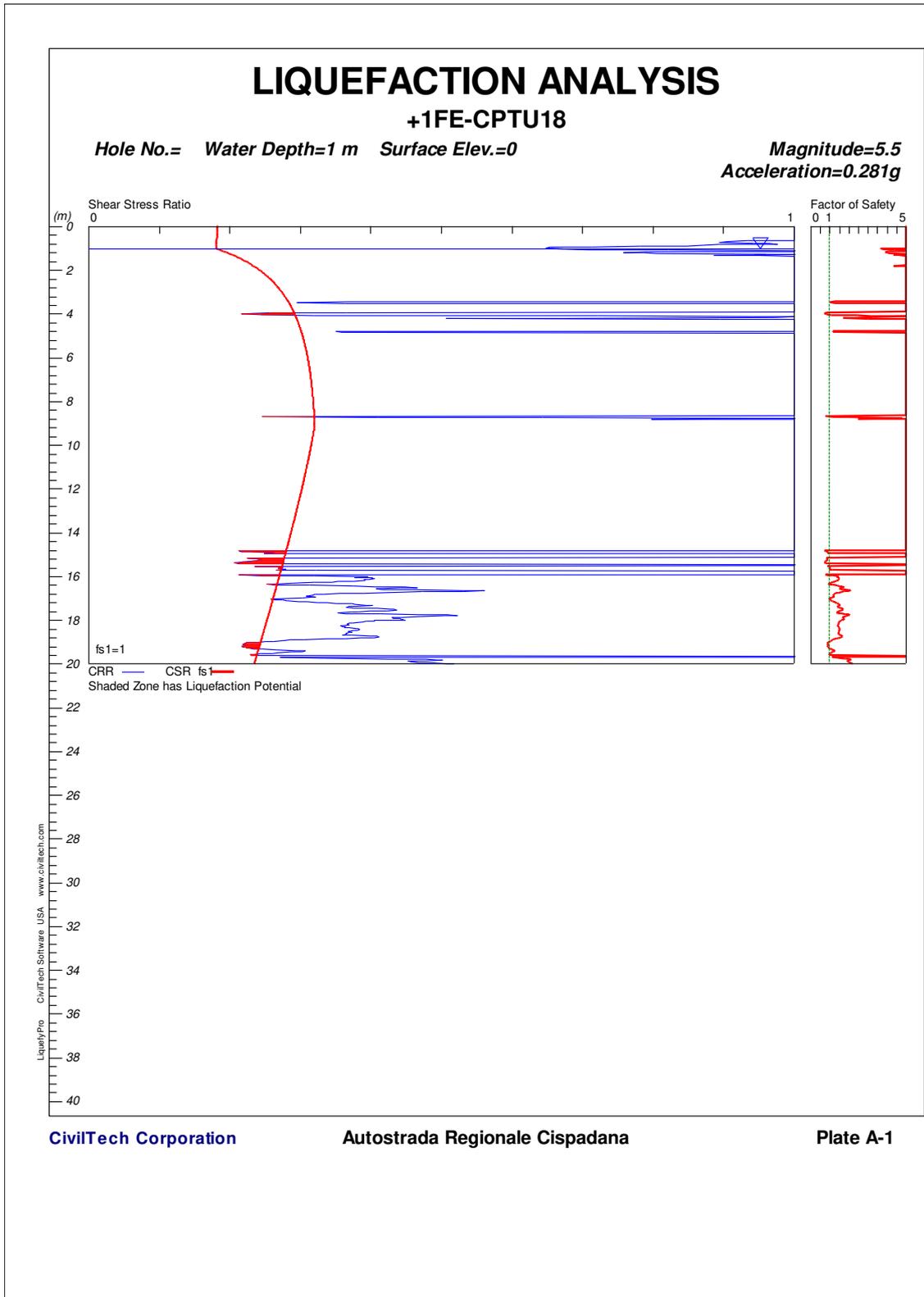
APPENDICE 1: OUTPUT LIQUEFYPRO

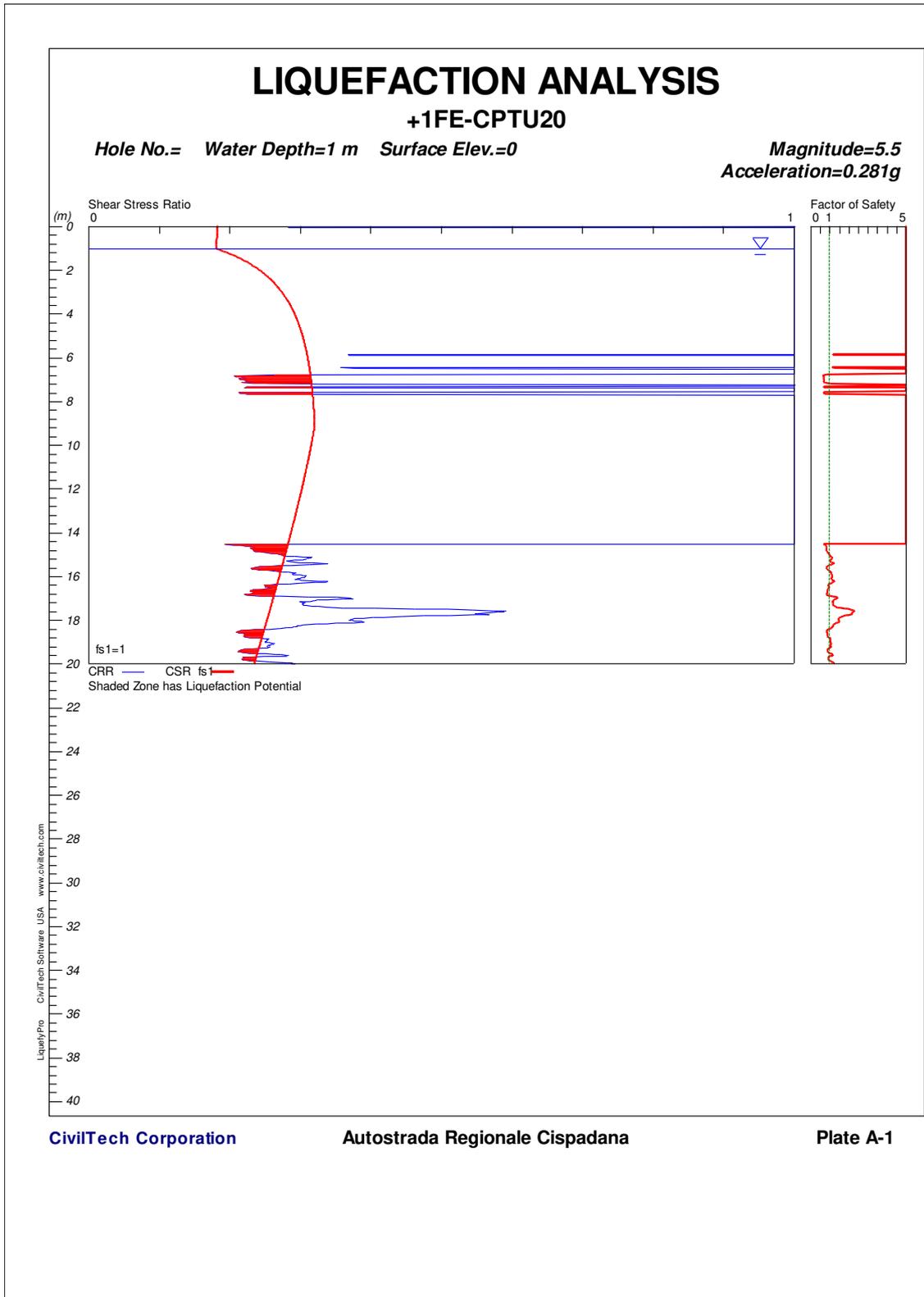


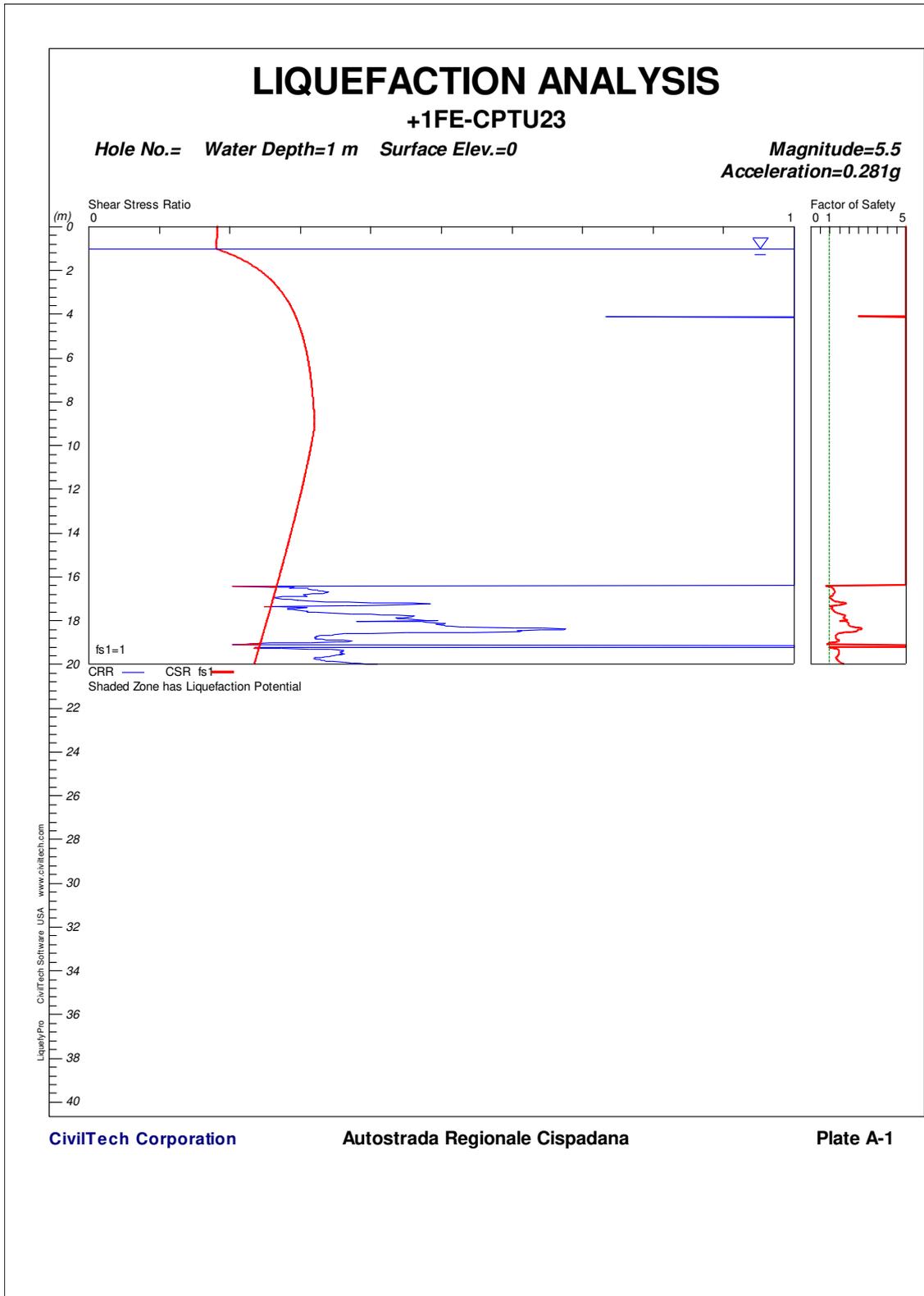


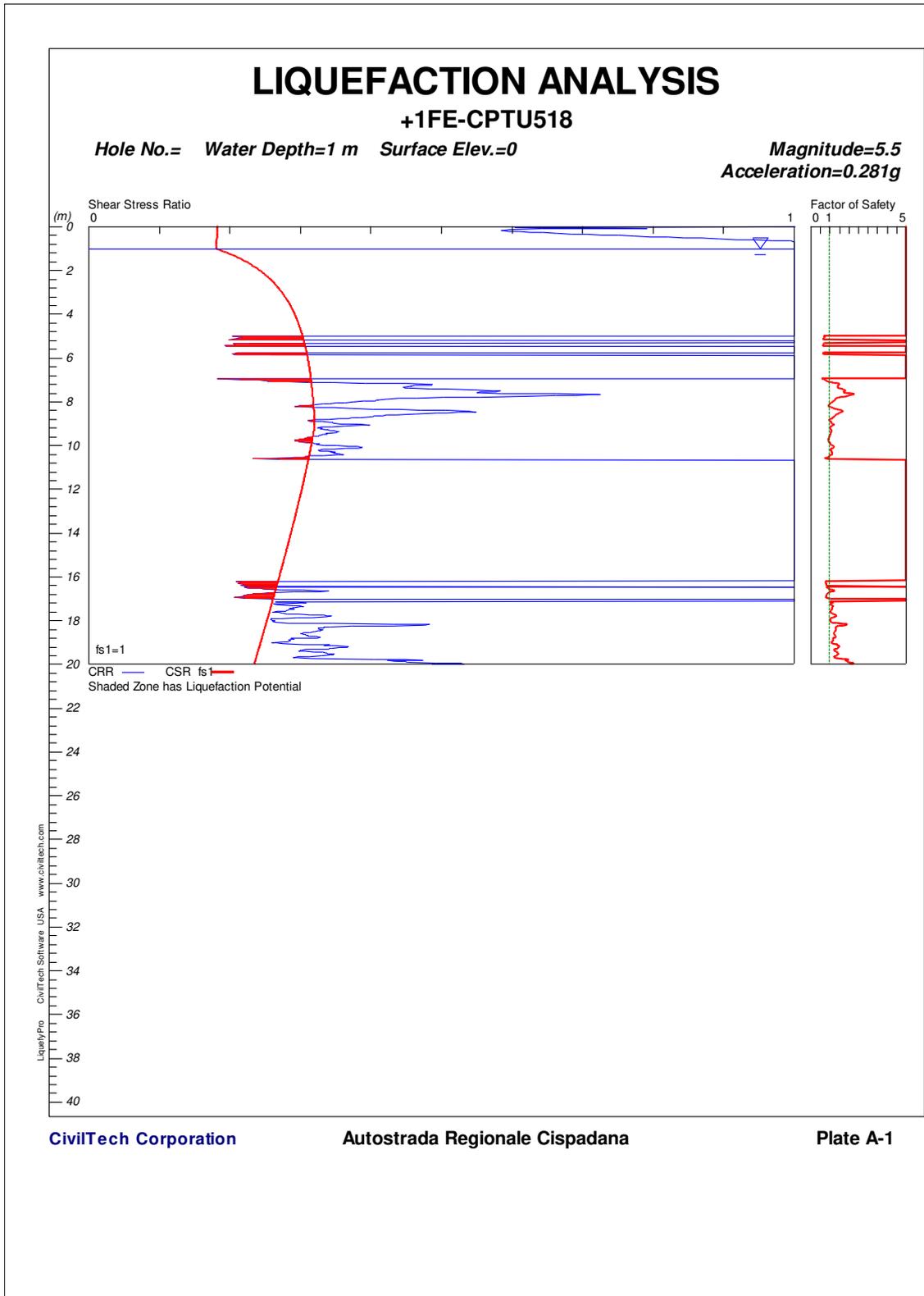












CivilTech Corporation

Autostrada Regionale Cispadana

Plate A-1

