

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI

RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA

II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA – ORSARA

GEOTECNICA GENERALE TRATTI ALLO SCOPERTO

Relazione sismica tratta allo scoperto da pk 68+550 a pk 68+950

SCALA:

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

IF1V 02 D 09 GE OC0000 004 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Approvato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F.Bianchi	Luglio 2018	M.E.D'Effremo	Luglio 2018	D.Aprea	Luglio 2018	A. Vitozzi	Luglio 2018

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
N° A20783  
ITALFERR S.p.A.  
Opere Civili e Gestione delle varianti  
Dott. Ing. Angelo Vitozzi

## INDICE

1.	PREMESSA .....	4
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
2.1	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....	5
2.1.1	<i>Geologia</i> .....	5
2.1.2	<i>Geotecnica</i> .....	6
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO .....	6
3.	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....	7
3.1	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	7
3.1.1	<i>Prove di riferimento</i> .....	7
3.1.2	<i>Velocità di propagazione delle onde di taglio</i> .....	8
3.1.2.1	<i>Prove MASW</i> .....	8
3.1.2.2	<i>Prove Down-hole</i> .....	9
3.1.2.3	<i>Stima della velocità delle onde di taglio da prove penetrometriche dinamiche NSPT</i> .....	11
3.1.3	<i>Classificazione sulla base della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio <math>V_{s,30}</math></i> .....	13
3.1.4	<i>Sintesi dei risultati</i> .....	15
3.2	CATEGORIA TOPOGRAFICA .....	15
3.3	AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....	16
3.3.1	<i>Definizione della Vita Nominale, <math>V_N</math></i> .....	16
3.3.2	<i>Definizione della classe d'uso, <math>C_U</math></i> .....	16
3.3.3	<i>Periodo di riferimento dell'azione sismica, <math>V_R</math></i> .....	17
3.3.4	<i>Definizione dell'azione sismica</i> .....	18
4.	MAGNITUDO .....	20
5.	VERIFICA DI LIQUEFAZIONE .....	20
5.1	METODOLOGIA DI ANALISI DEI CRITERI DI ESCLUSIONE .....	20
5.1.1	<i>Criteria di esclusione ai sensi del DM 14/01/2008</i> .....	20
5.1.2	<i>Criteria di esclusione in accordo con quanto proposto da NCCER per terreni con elevato contenuto di fine</i> .....	21

5.2	VERIFICA DEI CRITERI DI ESCLUSIONE ALLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE DEI TERRENI .....	23
5.2.1	<i>Analisi dei risultati</i> .....	25
5.2.2	<i>Conclusione</i> .....	25

## 1. PREMESSA

La presente relazione illustra e riassume le analisi svolte in merito alla caratterizzazione sismica di progetto e al tema della possibile liquefazione dei terreni alluvionali incoerenti. Le elaborazioni sono state svolte a supporto della progettazione definitiva del raddoppio tratta Orsara-Hirpinia (itinerario Napoli – Bari; vedasi Fig. 1).

Nella presente relazione si tratterà esclusivamente della caratterizzazione sismica della tratta allo scoperto dalla pk 68+550 alla pk 68+950. Nello studio si è fatto riferimento ai risultati della campagna di indagini geognostiche in sito appositamente realizzate nel corso del 2017 per l'aggiornamento del Progetto Preliminare e del 2018 nell'ambito della presente fase progettuale, nonché alle indagini disponibili in campagne pregresse e bibliografiche.

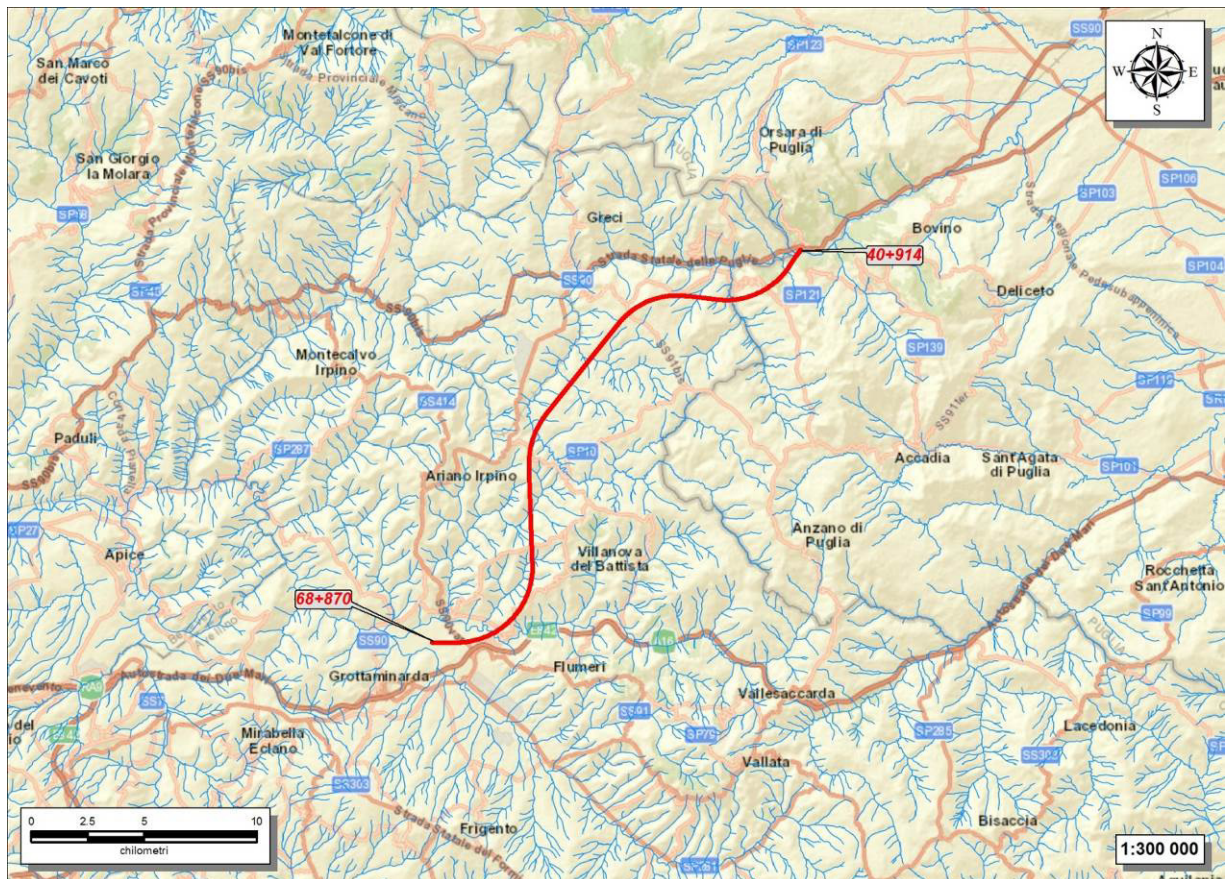


Fig. 1 – Ubicazione area di studio.

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documentazione di riferimento

#### 2.1.1 Geologia

- Ref. 1 IF1V 02 D 69 RG GE 0001 001 A - “Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e sismica”
- Ref. 2 IF1V 02 D 69 G5 GE 0001 001 A - “Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrutturali tav.1/8”
- Ref. 3 IF1V 02 D 69 G5 GE 0001 002 A - “Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrutturali tav.2/8”
- Ref. 4 IF1V 02 D 69 G5 GE 0001 003 A - “Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrutturali tav.3/8”
- Ref. 5 IF1V 02 D 69 G5 GE 0001 004 A - “Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrutturali tav.4/8”
- Ref. 6 IF1V 02 D 69 G5 GE 0001 005 A - “Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrutturali tav.5/8”
- Ref. 7 IF1V 02 D 69 G5 GE 0001 006 A - “Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrutturali tav.6/8”
- Ref. 8 IF1V 02 D 69 G5 GE 0001 007 A - “Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrutturali tav.7/8”
- Ref. 9 IF1V 02 D 69 G5 GE 0001 008 A - “Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrutturali tav.8/8”
- Ref. 10 IF1V 02 D 69 FZ GE 0001 001 A - “Profilo geologico in asse al tracciato - tav. 1/8”
- Ref. 11 IF1V 02 D 69 FZ GE 0001 002 A - “Profilo geologico in asse al tracciato - tav. 2/8”
- Ref. 12 IF1V 02 D 69 FZ GE 0001 003 A - “Profilo geologico in asse al tracciato - tav. 3/8”
- Ref. 13 IF1V 02 D 69 FZ GE 0001 004 A - “Profilo geologico in asse al tracciato - tav. 4/8”
- Ref. 14 IF1V 02 D 69 FZ GE 0001 005 A - “Profilo geologico in asse al tracciato - tav. 5/8”
- Ref. 15 IF1V 02 D 69 FZ GE 0001 006 A - “Profilo geologico in asse al tracciato - tav. 6/8”
- Ref. 16 IF1V 02 D 69 FZ GE 0001 007 A - “Profilo geologico in asse al tracciato - tav. 7/8”
- Ref. 17 IF1V 02 D 69 FZ GE 0001 008 A - “Profilo geologico in asse al tracciato - tav. 8/8”

### 2.1.2 Geotecnica

- Ref. 18 IF1V 02 D 09 GE OC 0000 002 A – “Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto da pk 68+550 a pk 68+950”
- Ref. 19 IF1V 03 D 09 F6 OC 0000 002 A – “Profilo Geotecnico tratta allo scoperto da pk 68+550 a pk 68+950”

### 2.2 Normativa e Standard di riferimento

- Ref. 20 Decreto Ministeriale del 17/01/2018: “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” (GU n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8)
- Ref. 21 Decreto Ministeriale del 14/01/2008: “Approvazione delle Nuove Norma Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04/02/2008, Supplemento Ordinario n.30
- Ref. 22 Circolare 01/02/2009, n.617 – Istruzione per l’applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14/01/2008
- Ref. 23 Circolare 01/02/2009, n.617 – Istruzione per l’applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14/01/2008
- Ref. 24 DM 06/05/2008 – “Integrazione al DM 14/01/2008 di approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- Ref. 25 RFI DTC SI MA IFS 001 A – “Manuale di progettazione delle opere civili”
- Ref. 26 RFI DTC SI SP IFS 001 A – “Capitolato generale tecnico d’appalto delle opere civili”
- Ref. 27 UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- Ref. 28 UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

### 3. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Nel seguito verranno descritte ed approfondite le seguenti tematiche:

- categoria di sottosuolo;
- categoria topografica;
- definizione dei parametri dell'azione sismica di riferimento.

Per quanto concerne la caratterizzazione sismo-tettonica del territorio e la magnitudo storica si rimanda a quanto riportato in Relazione Geologica [Ref. 1].

#### 3.1 Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessario tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, perché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale.

Per la valutazione degli effetti stratigrafici si può fare riferimento (DM 17/01/2018) ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . In tale approccio la classificazione del suolo si effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$ .

Nel caso in esame la velocità di propagazione delle onde di taglio può essere determinata:

- in maniera diretta a partire dai risultati delle prove sismiche in foro down-hole;
- in maniera indiretta a partire dai risultati degli stendimenti sismici (MASW);
- in maniera indiretta, utilizzando correlazioni di letteratura a partire dai valori della prova penetrometrica dinamica SPT (Standard Penetration Test).

##### 3.1.1 Prove di riferimento

Nelle seguenti tabelle si elencano le prove disponibili.

Tab. 1: Sondaggi di riferimento

Sondaggio	Campagna	Profondità	SPT (n.)	Down-Hole
IO_S12	2017	50.0	8	
C2	2017	30.0	9	

Relazione sismica tratta allo scoperto da pk  
68+550 a pk 68+950

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1V	02 D 09	GE	OC0000 004	A	8 di 25

IF16G18	2018	60.0	10	X
IF16R24	2017	35.0	10	
C3	2017	30.0	9	

Tab. 2: Stendimenti sismici (Masw) di riferimento

Stendimento	Campagna
C2_MASW	2017
MASW_01	2018

### 3.1.2 Velocità di propagazione delle onde di taglio

#### 3.1.2.1 Prove MASW

In Fig. 2 si riporta il profilo della velocità delle onde di taglio stimato a seguito dell'esecuzione delle prove MASW.



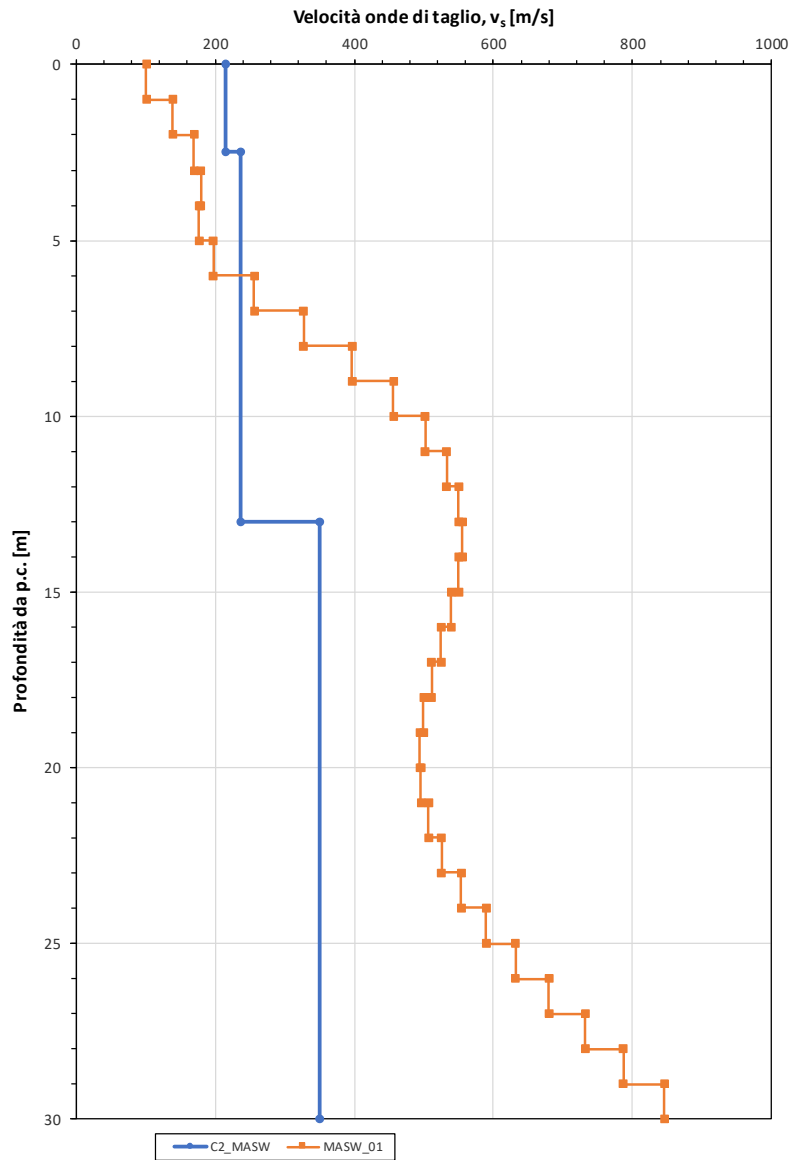


Fig. 2: Profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) da prove MASW.

### 3.1.2.2 Prove Down-hole

In Fig. 3 si riporta il profilo di velocità delle onde di taglio misurato da prove down-hole.

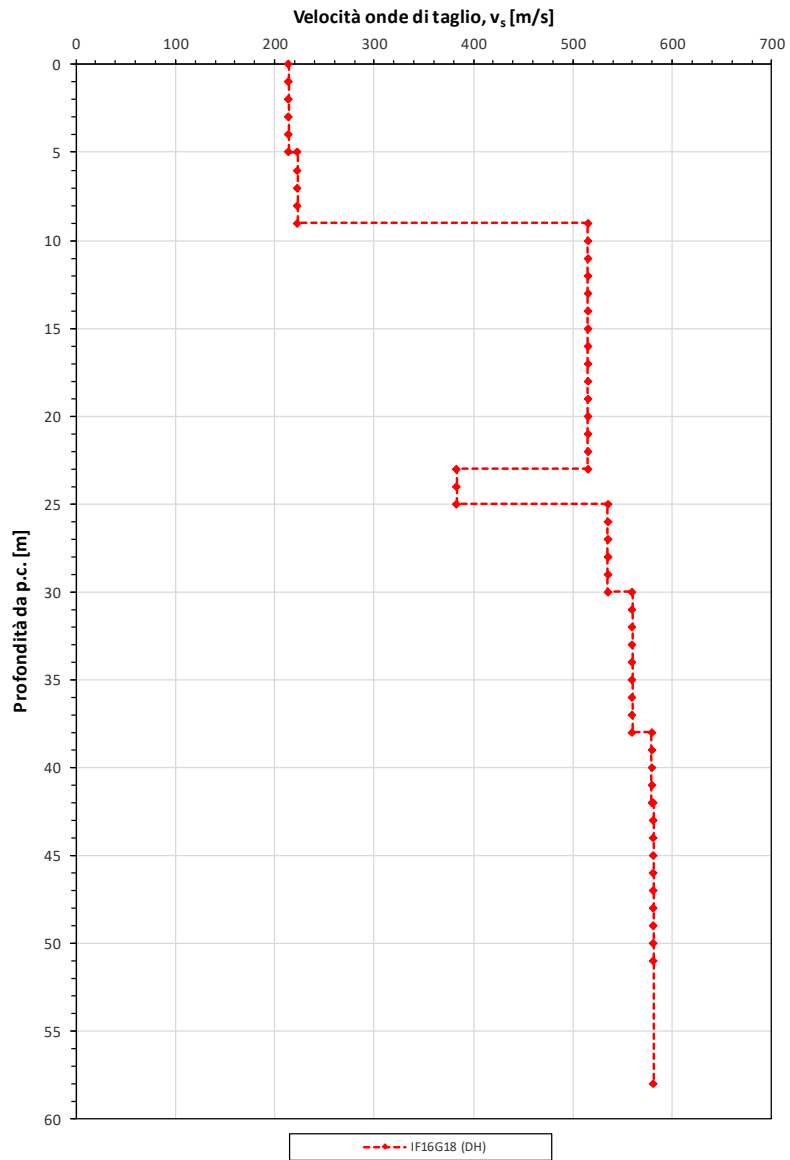


Fig. 3: Profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) da down-hole.

**Relazione sismica tratta allo scoperto da pk  
68+550 a pk 68+950**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1V	02 D 09	GE	OC0000 004	A	11 di 25

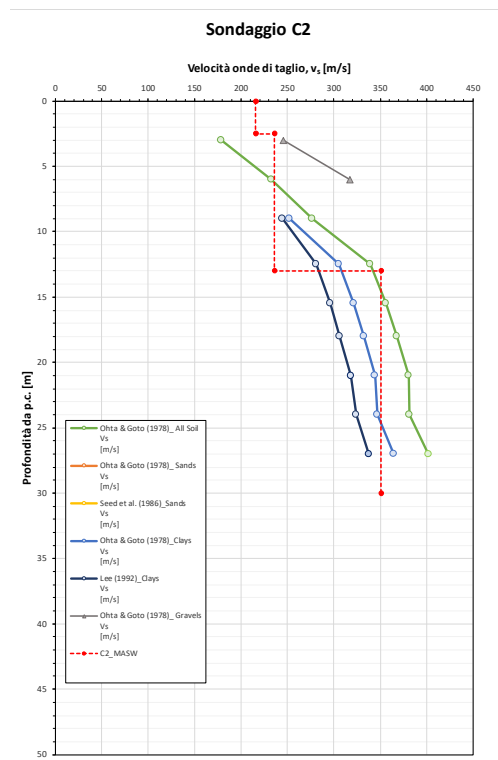
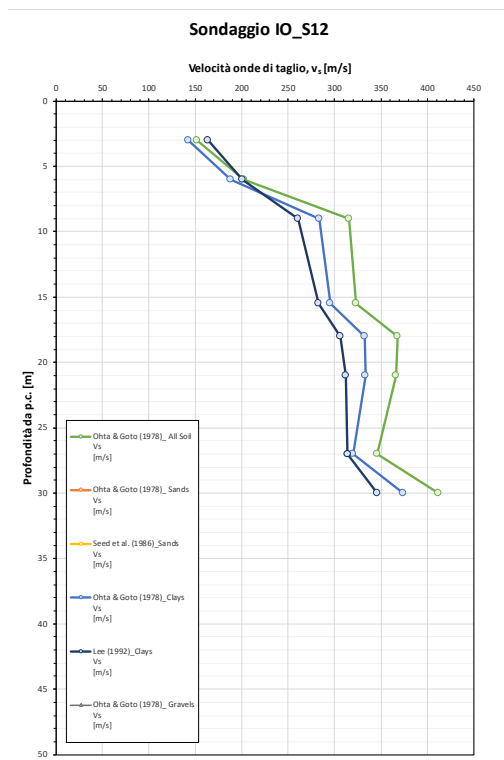
### 3.1.2.3 Stima della velocità delle onde di taglio da prove penetrometriche dinamiche NSPT

La velocità delle onde di taglio nel terreno ( $V_s$ ) è stata determinata a partire dai valori di  $N_{SPT}$  in funzione:

- della tipologia di terreno (argille, sabbie, ghiaie,...);
- della profondità ( $z$  in m).

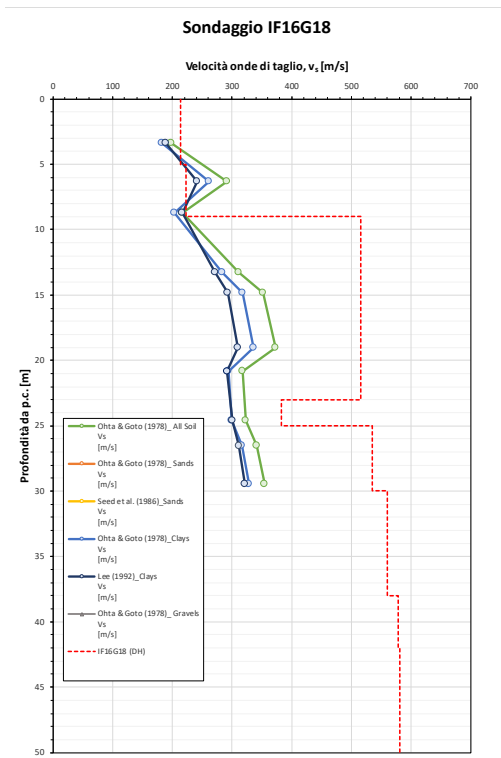
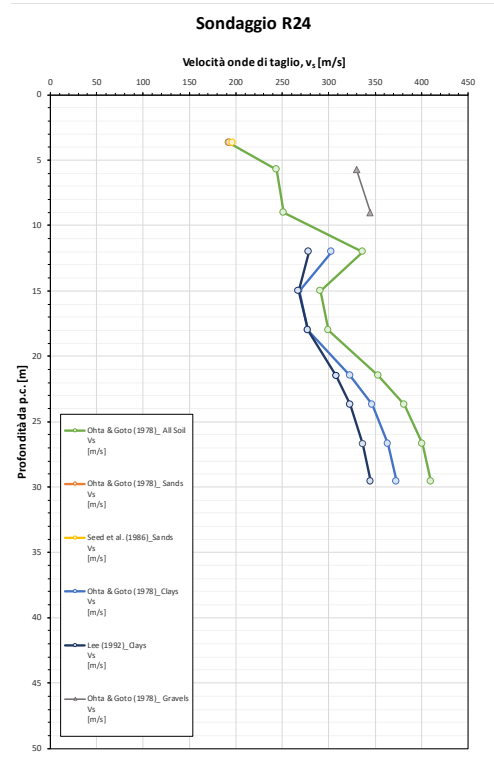
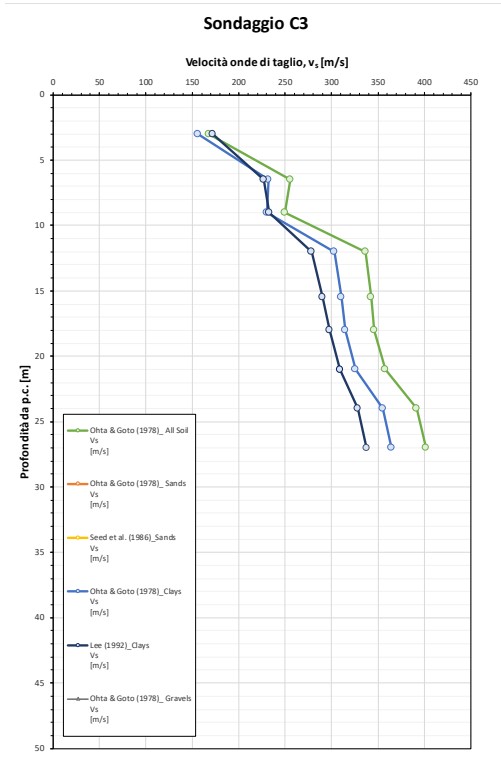
Nel documento di caratterizzazione geotecnica [Ref. 18] sono riportate le correlazioni da letteratura tecnica adottate.

Di seguito si riporta, per ciascun sondaggio l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio ricavato dalle prove SPT disponibili.



**Relazione sismica tratta allo scoperto da pk  
68+550 a pk 68+950**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1V	02 D 09	GE	OC0000 004	A	12 di 25



### 3.1.3 Classificazione sulla base della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,30}$

In Tab. 3 ed in Fig. 4 si riportano i valori di velocità equivalente  $V_{s,h}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità, o a profondità  $h < 30$  m qualora la profondità del substrato ( $V_s \geq 800$  m/s) è inferiore a 30m o non siano stati raggiunti i 30 m, e la corrispondente categoria di suolo, determinati dalle prove masw, down-hole, SPT.

Tab. 3: Velocità equivalente delle onde di taglio e relativa categoria di sottosuolo da prove down-hole, masw, SPT.

Prova	$V_{s,h}$ da MASW	h		Categoria
C2_MASW	287	30	$V_{s,30}$	Categoria C
MASW_01	348	30	$V_{s,30}$	Categoria C

Prova	$V_{s,h}$ da DH	h		Categoria
IF16G18	361	30	$V_{s,30}$	Categoria B

Prova	$V_{s,h}$ da SPT	h		Categoria
C2	191	27	$V_{s,27}$	Categoria C
C3	278	27	$V_{s,27}$	Categoria C
IO_S12	226	30	$V_{s,30}$	Categoria C
IF16G18	282	30	$V_{s,30}$	Categoria C
R24	285	30	$V_{s,30}$	Categoria C

Relazione sismica tratta allo scoperto da pk 68+550 a pk 68+950

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1V	02 D 09	GE	OC0000 004	A	14 di 25

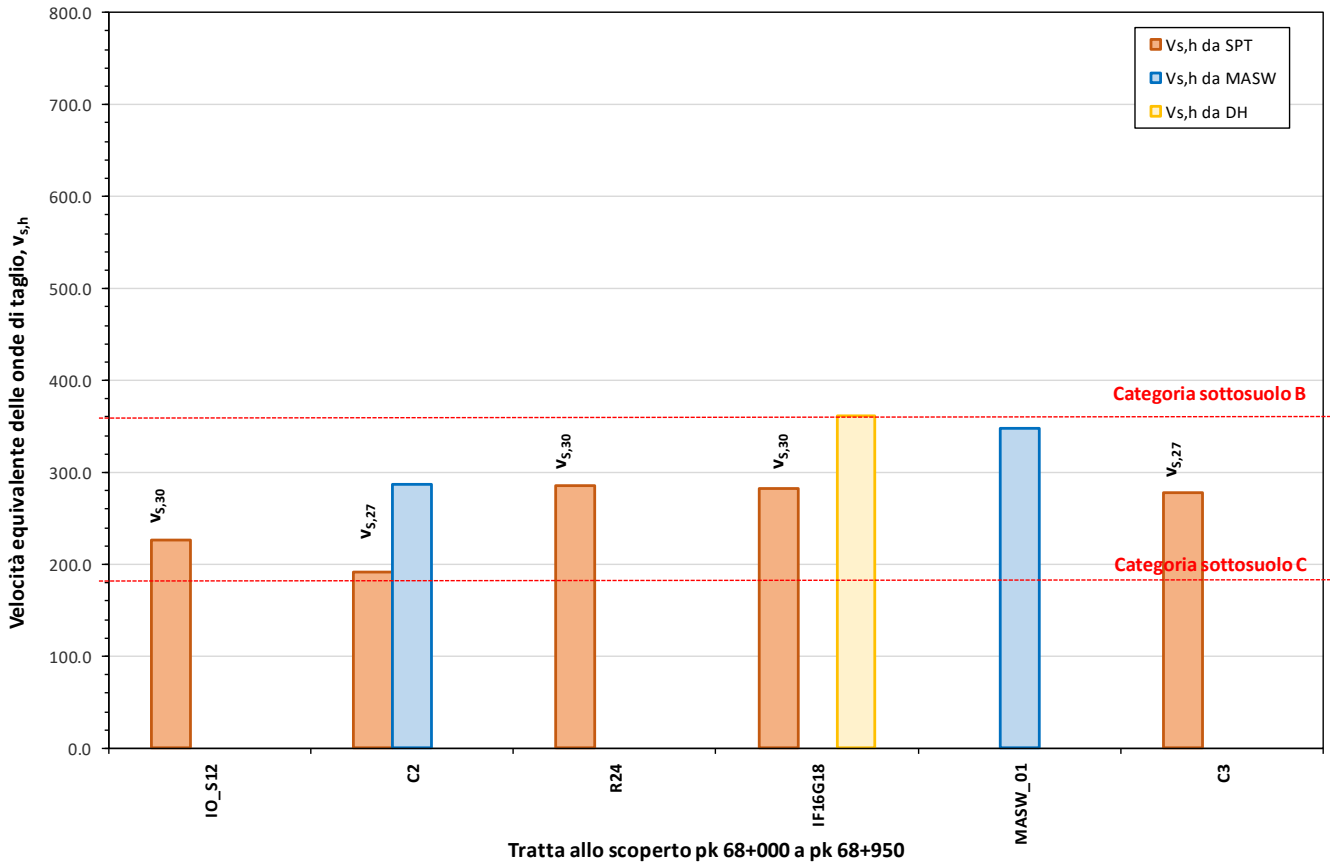


Fig. 4: Andamento lungo la tratta della velocità equivalente delle onde di taglio e della relativa categoria di sottosuolo da prove down-hole, masw, SPT.

### 3.1.4 Sintesi dei risultati

Nel grafico seguente si riporta la sintesi dei risultati ottenuti in termini di categoria di suolo.

Sondaggio	IO_S12	C2	R24	IF16G18	MASW_01	C3
V <sub>sh</sub> da DH						
Cat. B						
Cat. C						
V <sub>sh</sub> da MASW						
Cat. B						
Cat. C						
V <sub>sh</sub> da SPT						
Cat. B						
Cat. C						

Sulla base delle valutazioni svolte tenuto conto della variabilità ed eterogeneità dei risultati, ai fini progettuali è stata attribuita una categoria di suolo C.

### 3.2 Categoria topografica

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, la morfologia dell'area può essere ricondotta ad una delle configurazioni semplici previste nel D.M. 17/01/2018 in Tabella 3.2.III. In particolare l'area in oggetto può essere classificata di categoria T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ", con coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1.0$ .

### 3.3 Azione sismica di riferimento

Per definire l'azione sismica di riferimento si devono operare alcune scelte in termini di "vita nominale" e "classi d'uso" dell'opera legati al livello prestazionale atteso.

#### 3.3.1 Definizione della Vita Nominale, $V_N$

In accordo con quanto riportato al paragrafo 2.4.1 del DM 17/01/2018, la vita nominale ( $V_N$ ) di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Per la definizione della vita nominale si fa riferimento al paragrafo 2.5.1.1 del Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture (Ref. 25), dal quale è estratta la tabella seguente.

Tab. 4: Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie.

TIPO DI COSTRUZIONE <sup>(1)</sup>	Vita Nominale $V_N$ [Anni] <sup>(1)</sup>
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14/01/2008 A VELOCITÀ CONVENZIONALE ( $V < 250$ Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ $V < 250$ Km/h	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ $V \geq 250$ km/h	100
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	$\geq 100$ <sup>(2)</sup>
(1) – La stessa $V_N$ si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere.	
(2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di FERROVIE.	

Per la tratta in esame:

Opera	Vita Nominale ( $V_N$ )
Tratta allo scoperto 68+550÷68+950	75

#### 3.3.2 Definizione della classe d'uso, $C_u$

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso definite al paragrafo 2.4.2 del DM 17/01/2018.



Con riferimento alla classificazione di cui al punto 2.4.2 del DM 17.1.2018 anche alla luce del punto C.2.4.2 della relativa Circolare esplicativa del 2.2.2009 n. 617/C.S.LL.PP., la classe d'uso delle infrastrutture ferroviarie può, di norma, assumersi come indicato nella seguente tabella.

Tab. 5: Coefficienti d'uso per le infrastrutture ferroviarie.

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [CU]
GRANDI STAZIONI	C IV	2,00
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITÀ FERROVIARIA	C III	1,50
ALTRE OPERE D'ARTE	C II	1,00

<b>Classe I</b>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<b>Classe II</b>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<b>Classe III</b>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<b>Classe IV</b>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per la tratta in esame si assume:

Opera	Classe d'Uso	Coeff. d'Uso (C <sub>U</sub> )
Tratta allo scoperto 68+550÷68+950	III	1.5

### 3.3.3 Periodo di riferimento dell'azione sismica, V<sub>R</sub>

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V<sub>R</sub> che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V<sub>N</sub> per il coefficiente d'uso C<sub>U</sub>, cioè mediante la seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Relazione sismica tratta allo scoperto da pk  
68+550 a pk 68+950

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1V	02 D 09	GE	OC0000 004	A	18 di 25

Per la tratta in esame risulta:

Opera	Periodo di Riferimento ( $V_R$ )
Tratta allo scoperto 68+550÷68+950	112.5

### 3.3.4 Definizione dell'azione sismica

L'azione sismica è variabile lungo la tratta al variare delle coordinate del punto considerato. Con riferimento ad un punto intermedio della tratta Hirpinia di coordinate:

Longitudine: 15.089128°,

Latitudine: 41.086200°,

risulta per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) quanto segue.

Tab. 6: Azione sismica di riferimento.

Accelerazione di riferimento $a_g/g$	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	Vita Nominale	Classe d'uso	Accelerazione massima attesa al sito $a_{max}/g$
0.381	C	T1	75	III	0.448

Tab. 7: Parametri sismici per la definizione dello spettro di progetto.

Relazione sismica tratta allo scoperto da pk  
68+550 a pk 68+950

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1V	02 D 09	GE	OC0000 004	A	19 di 25

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.381 g
$F_o$	2.290
$T_c$	0.419 s
$S_s$	1.177
$C_c$	1.399
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.177
$\eta$	1.000
$T_B$	0.195 s
$T_C$	0.586 s
$T_D$	3.123 s

#### 4. **MAGNITUDO**

Relativamente alla vigente zonazione sismogenetica del territorio nazionale ZS9 (Meletti & Valensise 2004), il tratto ferroviario in oggetto, ricade all'interno della **Zona 927 Sannio-Hirpinia-Basilicata**, caratterizzata da una magnitudo massima  $M=7.06$ .

#### 5. **VERIFICA DI LIQUEFAZIONE**

##### 5.1 **Metodologia di analisi dei criteri di esclusione**

Ai sensi del D.M. 17/01/2018 paragrafo 7.11.3.4.2 sono stati analizzati i criteri di esclusione della verifica a liquefazione. L'analisi è stata sviluppata per ogni sondaggio con riferimento ai valori di  $N_{SPT}$  disponibili ed alle prove di laboratorio sui campioni prelevati. In presenza di terreni con elevato contenuto di fine (FC) si è utilizzato un ulteriore criterio di analisi proposto da NCEER nell'articolo "Recent Advances In Soil Liquefaction Engineering: A Unified And Consistent Framework" (Seed et al., 2003).

##### 5.1.1 **Criteri di esclusione ai sensi del DM 14/01/2008**

La vigente normativa tecnica riporta quanto segue.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. *Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;*
2. *Profondità media stagionale della falda superiore ai 15m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
3. *Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)60 > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)60$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa;*
4. *Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig.7.11.1(a) [Fig. 5 (a)] nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Fig.7.11.1(b) [Fig. 5 (b)] nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .*

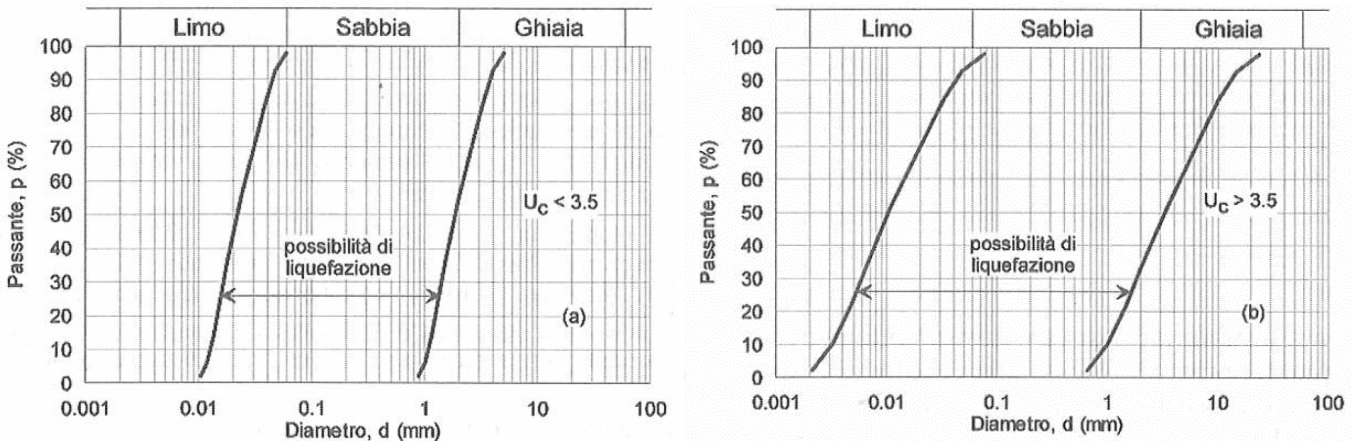


Fig. 5: Fusi Granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione (Fig.7.11.1 NTC2008)

Per quanto concerne il primo punto, il sito oggetto della presente progettazione non rispetta quanto necessario ad escludere le verifiche a liquefazione. Si procede quindi a valutare i criteri rimanenti.

Il criterio numero 2) viene verificato rifacendosi alla falda di progetto assunta cautelativamente a -1.0 m da p.c.

Il criterio numero 3) viene verificato con riferimento al valore normalizzato di NSPT così calcolato:

$$(N_1)_{60} = C_N \cdot N_{60}$$

assumendo:  $N_{60} \approx N_{SPT}$ ,  $C_N = (p_a / \sigma'_{v0})^{0.5}$ ,  $p_a = 100 \text{ kPa}$ ,  $0.4 \leq C_N \leq 2$ .

Infine, il criterio numero 4) viene considerato soddisfatto se almeno il 50% della curva granulometrica cade al di fuori del fuso indicato in normativa. La percentuale soglia del 50% è in linea con quanto indicato nella Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna, 21-12-2015, N. 2193 in materia di "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" nell'Allegato A3. Tuttavia, per curve granulometriche al di fuori del fuso da normativa per percentuali comprese tra il 50% ed il 70%, viene fornito un avvertimento ed ulteriori valutazioni verranno effettuate su elementi aggiuntivi quali la plasticità del fine, la posizione della falda, etc....

### 5.1.2 Criteri di esclusione in accordo con quanto proposto da NCCER per terreni con elevato contenuto di fine

In accordo con il metodo proposto da NCEER (vedasi: "Recent Advances In Soil Liquefaction Engineering: A Unified And Consistent Framework" di Seed et al., 2003), in Fig. 6 si riporta il criterio di esclusione del rischio di liquefazioni per terreni, denominati di transizione, che presentano un significativo contenuto di fine (FC, percentuale di passante a 0.075mm). In particolare, tale criterio è utilizzabile per terreni di transizione, ovvero per terreni che presentano caratteristiche intermedie tra quelli a comportamento incoerente (sabbia) e coesivo (argilla), così caratterizzati:

$FC \geq 20\%$  e  $IP > 12\%$ ;

$FC \geq 35\%$  e  $IP < 12\%$ .

Il criterio, basato sul valore del Limite Liquido ( $w_L$ ) e dell'Indice Plastico ( $IP$ ), individua 3 zone principali:

- Zona A: i terreni che ricadono all'interno di questa zona sono considerati terreni potenzialmente liquefacibili se il contenuto d'acqua ( $w$ ) risulta superiore del 80% del limite liquido ( $0.8 \cdot w_L$ ).
- Zona B: i terreni in Zona B sono suscettibili a liquefazione se il contenuto d'acqua ( $w$ ) risulta superiore del 85% del limite liquido ( $0.85 \cdot w_L$ ).
- Zona C: i terreni che ricadono in tale zona sono generalmente non suscettibili a liquefazione.

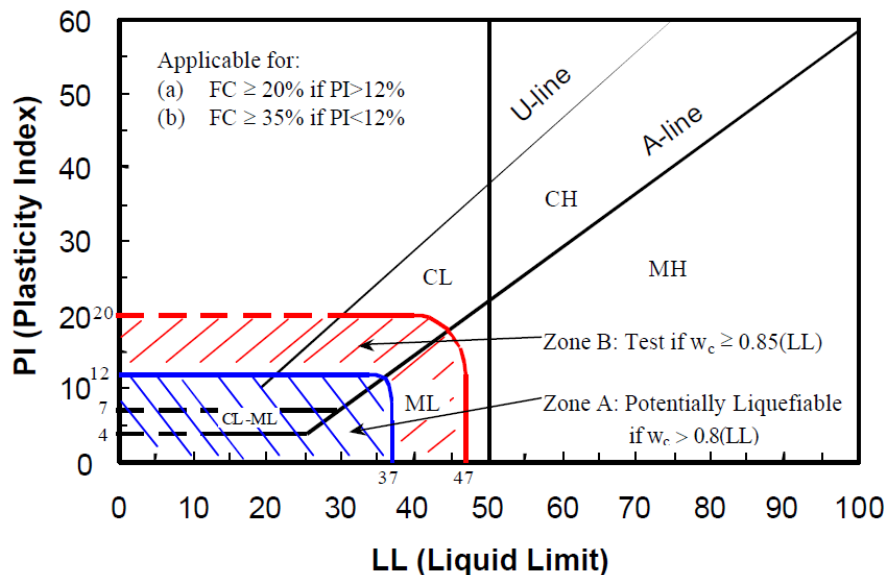


Fig. 6: Criterio di esclusione dei terreni coesivi (NCEER, Seed et al., 2003)

## 5.2 Verifica dei criteri di esclusione alla suscettibilità a liquefazione dei terreni

In Tab. 8 si riporta la tabella riassuntiva completa delle verifiche condotte in accordo ai criteri descritti al paragrafo 5.1.

Cautelativamente è stata considerata la falda a -1.0m da piano campagna.

Nelle tre colonne più a destra della tabella di sintesi viene indicato l'esito della verifica con eventuali note.

In particolare, se almeno uno dei tre criteri 2), 3), 4) riportati al §5.1 consente di escludere le verifiche a liquefazione, nella colonna "Esito" viene indicata la dicitura "Verifica non necessaria" in colore verde.

Nel caso in cui nessuno dei tre criteri consenta di escludere le verifiche, per mancato soddisfacimento dei limiti o per mancanza di dati, nella colonna "Esito" viene indicata la dicitura "da verificare". In questo caso, se la descrizione stratigrafica presente a sondaggio indica terreni di natura incoerente la dicitura sarà rossa; se invece la descrizione indicherebbe terreni coesivi e/o fosse in contrasto con il criterio numero 4) la dicitura sarà gialla con un asterisco.

Nelle note si riportano alcuni commenti di aiuto alla comprensione di eventuali discrepanze o volti ad indicare la mancanza di alcuni dati.

In tale ambito si riporta anche il caso in cui il campione si trovi sopra falda, eventualità per la quale la normativa vigente non dichiara espressamente l'esclusione ma che scongiurerebbe la possibilità che si verificassero fenomeni di liquefazione.

Relazione tratta allo scoperto da pk 68+550 a pk 68+950

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1V	02 D 09	GE	OC0000 003	A	24 di 25

Tab. 8: Esito delle verifiche condotte ai sensi del DM 17/01/2018.

Indice	Tratta	Sondaggio	Prof. [m]	Descrizione da Log Stratigrafico	Classifica USCS	Verifica sulle condizioni di Falda		Verifica sul valore di $N_{spt}$										Verifica sul Fuso Granulometrico		Esito * notare che la descrizione escluderebbe i fenomeni di liquefazione ** il fuso granulometrico cade al di fuori della banda per più del 50% ma meno del 70%	Commenti	
						Falda Assunta [m]	Criterio Falda	N1	N2	N3	t1 [cm]	t2 [cm]	t3 [cm]	$N_{spt}$	$\sigma'_{v0}$ [kPa]	$C_N$	$N_{1,60}$	Criterio $N_{1,60}$	Percentuale fuori fuso [%]			Criterio Fuso Granulometrico (1 prestare attenzione, granulometria borderline)
12	Hirpinia	C2	3.0	Incoerente		1.0	!	11	12	15	15	30	45	27	37	1.64	44.4	✓		!	Verifica non necessaria	
13	Hirpinia	C2	6.0	Incoerente		1.0	!	5	11	31	15	30	45	42	64	1.25	52.5	✓		!	Verifica non necessaria	
14	Hirpinia	C2	9.0	Coesivo		1.0	!	13	23	36	15	30	45	59	91	1.05	61.8	✓		!	Verifica non necessaria	
21	Hirpinia	C3	3.0	Coesivo		1.0	!	6	9	12	15	30	45	21	37	1.64	34.5	✓	9	!	Verifica non necessaria	Cl1
22	Hirpinia	C3	6.5	Incoerente		1.0	!	35	31	26	15	30	45	57	68.5	1.21	68.9	✓		!	Verifica non necessaria	
30	Hirpinia	IO_S12	3.0	Coesivo		1.0	!	6	6	8	15	30	45	14	37	1.64	23.0	✗	60	!	Verifica non necessaria**	Cl1
38	Hirpinia	R24	3.7	Incoerente		1.0	!	4	12	18	15	30	45	30	43.3	1.52	45.6	✓	88	!	Verifica non necessaria	Cl1
39	Hirpinia	R24	5.7	Incoerente		1.0	!	15	20	33	15	30	45	53	61.3	1.28	67.7	✓		!	Verifica non necessaria	
40	Hirpinia	R24	9.0	Incoerente		1.0	!	12	16	24	15	30	45	40	91	1.05	41.9	✓		!	Verifica non necessaria	



### 5.2.1 Analisi dei risultati

A seguito dell'analisi svolta si evidenzia quanto segue:

- in corrispondenza del sondaggio IO S12 alla profondità di 3.0m da piano campagna la condizione numero 3) non risulta soddisfatta, ma, in accordo alla descrizione stratigrafica presente nel Log del sondaggio stesso, il terreno risulta di natura coesiva e pertanto sono esclusi fenomeni di liquefazione. Inoltre, analizzando i dati di laboratorio del campione CI1, esso è caratterizzato da un Contenuto di Fine (FC) maggiore del 35% e un Indice Plastico (IP) maggiore del 12%, pertanto rientra tra i terreni classificabili come a comportamento coesivo e quindi non suscettibile a fenomeni di liquefazione.

### 5.2.2 Conclusione

Sulla base delle analisi svolte, si ritiene che il terreno presente nella tratta in esame non sia suscettibile a fenomeni di liquefazione.