

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA

GEOTECNICA GENERALE TRATTI ALLO SCOPERTO

Relazione sismica viabilità interferita alla pk 41+100

SCALA:

-

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

I F 1 W 0 0 D 0 9 G E O C 0 0 0 0 0 0 0 8 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Bianchi	Lug 2018	M.E.D'Effremo	Lug 2018	D.Aprea	Lug 2018	A. Vittozzi Dicembre 2018
B	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Bianchi	Dicembre 2018	M.E.D'Effremo	Dicembre 2018	D.Aprea	Dicembre 2018	ITALFERR S.p.A. Gestione Civile Gestione delle varianti Dott. Ingeg. Guido Vittozzi Ingegnere degli Ingegneri della Provincia di Roma N° A207/83

File:IF1W00D09GEOC000008B.doc

n. Elab.: 385

INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	5
2.2	GEOLOGIA.....	5
2.3	GEOTECNICA.....	5
2.4	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>	<i>8</i>
3.1.2	<i>Velocità di propagazione delle onde di taglio</i>	<i>8</i>
3.1.2.1	<i>Prove MASW.....</i>	<i>8</i>
3.1.2.2	<i>Prove Down-hole</i>	<i>9</i>
3.1.2.3	<i>Stima della velocità delle onde di taglio da prove penetrometriche dinamiche NSPT.....</i>	<i>11</i>
3.1.3	<i>Classificazione sulla base della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,30}$.....</i>	<i>14</i>
3.1.4	<i>Sintesi dei risultati.....</i>	<i>16</i>
3.2	CATEGORIA TOPOGRAFICA.....	17
3.3	AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	17
3.3.1	<i>Definizione della Vita Nominale, V_N</i>	<i>17</i>
3.3.2	<i>Definizione della classe d'uso, C_U.....</i>	<i>18</i>
3.3.3	<i>Periodo di riferimento dell'azione sismica, V_R.....</i>	<i>19</i>
3.3.4	<i>Definizione dell'azione sismica</i>	<i>19</i>
4.	MAGNITUDO	21
5.	VERIFICA DI LIQUEFAZIONE.....	21
5.1	METODOLOGIA DI ANALISI DEI CRITERI DI ESCLUSIONE	21
5.1.1	<i>Criteria di esclusione ai sensi del DM 14/01/2008</i>	<i>21</i>
5.1.2	<i>Criteria di esclusione in accordo con quanto proposto da NCCER per terreni con elevato contenuto di fine</i>	<i>23</i>

5.2	VERIFICA DEI CRITERI DI ESCLUSIONE ALLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	24
5.2.1	<i>Analisi dei risultati</i>	26
5.2.2	<i>Conclusione</i>	28

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 Bovino - Orsara (itinerario Napoli – Bari; vedasi Fig. 1).

Nella presente relazione si tratterà esclusivamente della caratterizzazione sismica della viabilità interferita alla pk 41+100. 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.

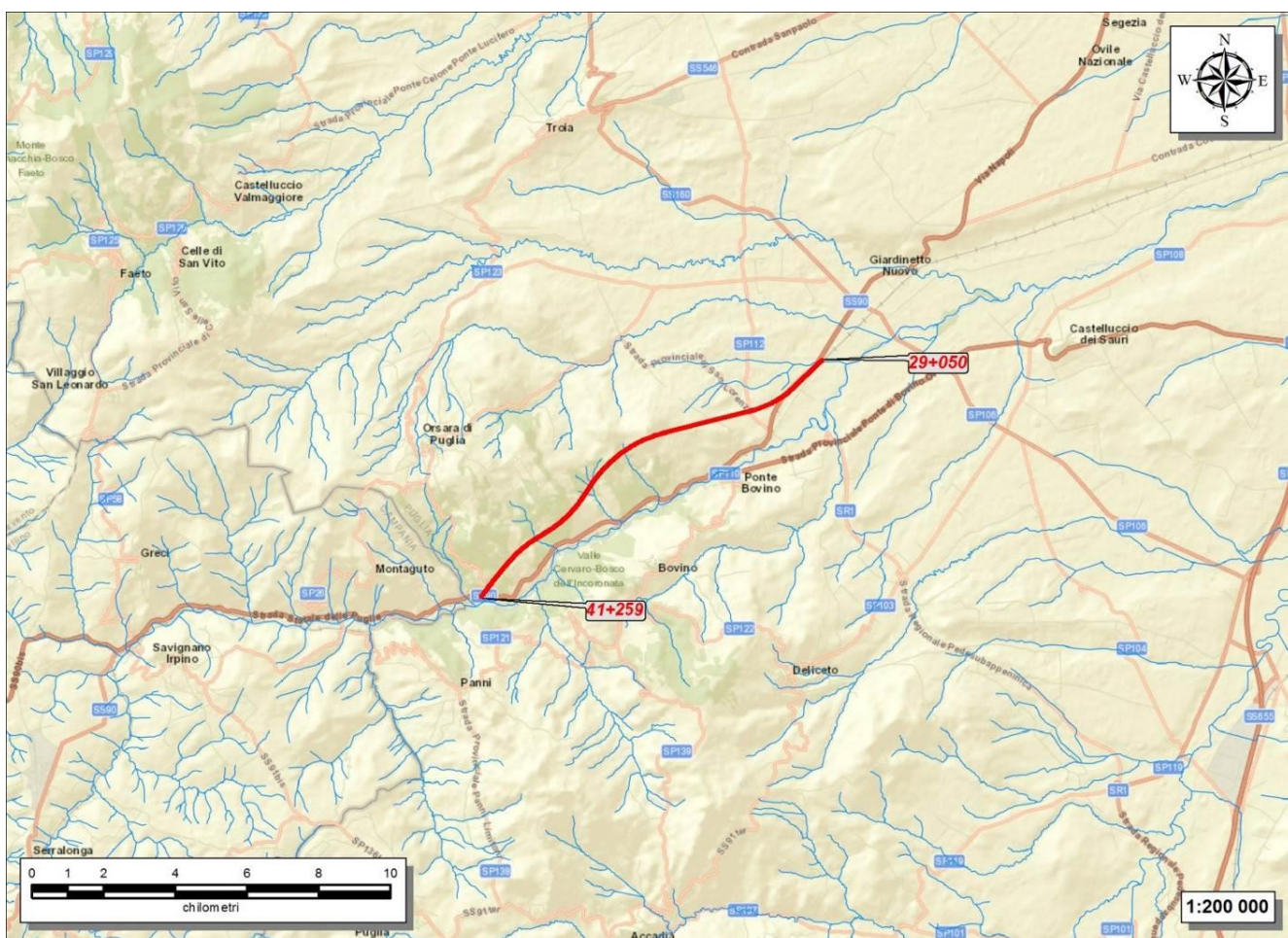


Fig. 1 – Ubicazione area di studio.

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di riferimento

2.2 Geologia

- Ref. 1 IF1W 00 D 69 RG GE 0001 001 A - “Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e sismica”
- Ref. 2 IF1W 00 D 69 G5 GE 0001 001 A - “Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrutturali tav.1/4”
- Ref. 3 IF1W 00 D 69 G5 GE 0001 002 A - “Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrutturali tav.2/4”
- Ref. 4 IF1W 00 D 69 G5 GE 0001 003 A - “Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrutturali tav.3/4”
- Ref. 5 IF1W 00 D 69 G5 GE 0001 004 A - “Carta geologica-geomorfologica con elementi geostrutturali tav.4/4”
- Ref. 6 IF1W 00 D 69 F5 GE 0001 001 A - “Profilo geologico in asse al tracciato - Binario dispari tav. 1”
- Ref. 7 IF1W 00 D 69 F5 GE 0001 002 A - “Profilo geologico in asse al tracciato - Binario dispari tav. 2”
- Ref. 8 IF1W 00 D 69 F5 GE 0001 003 A - “Profilo geologico in asse al tracciato - Binario dispari tav. 3”

2.3 Geotecnica

- Ref. 9 IF1W 00 D 09 GE OC 0000 004 B – “Relazione Geotecnica viabilità interferita alla pk 41+100”
- Ref. 10 IF1W 00 D 09 F6 OC 0000 006 B – “Profilo Geotecnico viabilità interferita alla pk 41+100”

2.4 Normativa e Standard di riferimento

- Ref. 11 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. 12 Decreto Ministeriale del 14/01/2008: “Approvazione delle Nuove Norma Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04/02/20018, Supplemento Ordinario n.30
- Ref. 13 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. 14 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. 15 DM 06/05/2008 – “Integrazione al DM 14/01/2008 di approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- Ref. 16 RFI DTC SI MA IFS 001 A – “Manuale di progettazione delle opere civili”
- Ref. 17 RFI DTC SI SP IFS 001 A – “Capitolato generale tecnico d’appalto delle opere civili”
- Ref. 18 UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- Ref. 19 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

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sottosuolo e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi di cui è costituito. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, l'analisi della risposta sismica locale consente quindi di definire le modifiche che il segnale sismico di ingresso subisce, a causa dei suddetti fattori locali.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto il DM 17/01/2018 richiede analisi specifiche di risposta sismica locale, in alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2. II della norma citata, si può fare riferimento a 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 entro i primi 30 m di profondità $V_{s,30}$.

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
BO_PD_S23	2018	50.0	5	
BO_PD_S22	2018	50.0	5	
BO_S2	2017	48.0	3	x
BO_PD_S24	2018	50.0	6	x
BO_S1	2017	50.0	6	
BO_PD_S19	2018	50.0	6	x
BO_PD_S21	2018	50.0	5	

Tab. 2: Stendimenti sismici (Masw) di riferimento

Stendimento	Campagna
BO_PD_S22	2018
BO_MASW1	2017
BO_PD_S23 (MASW)	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.

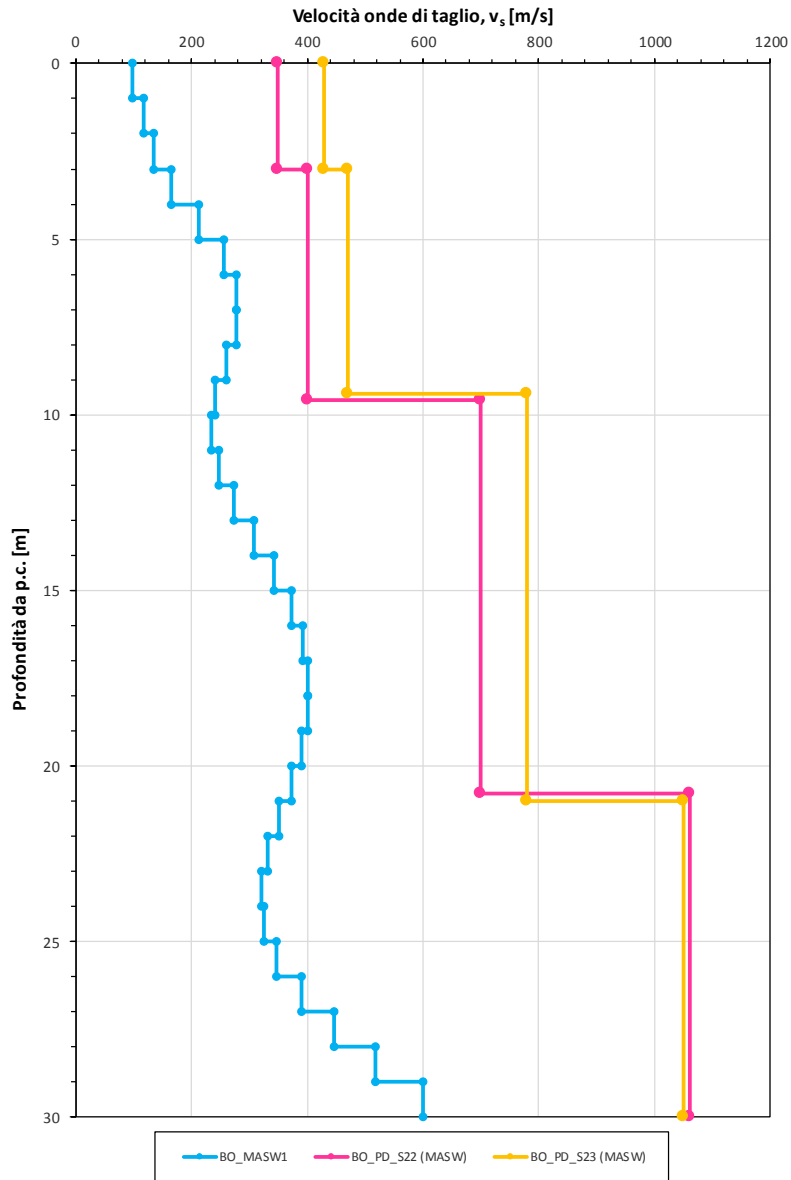


Fig. 2: Profilo della velocità delle onde di taglio (V_s) da prove MASW.

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.

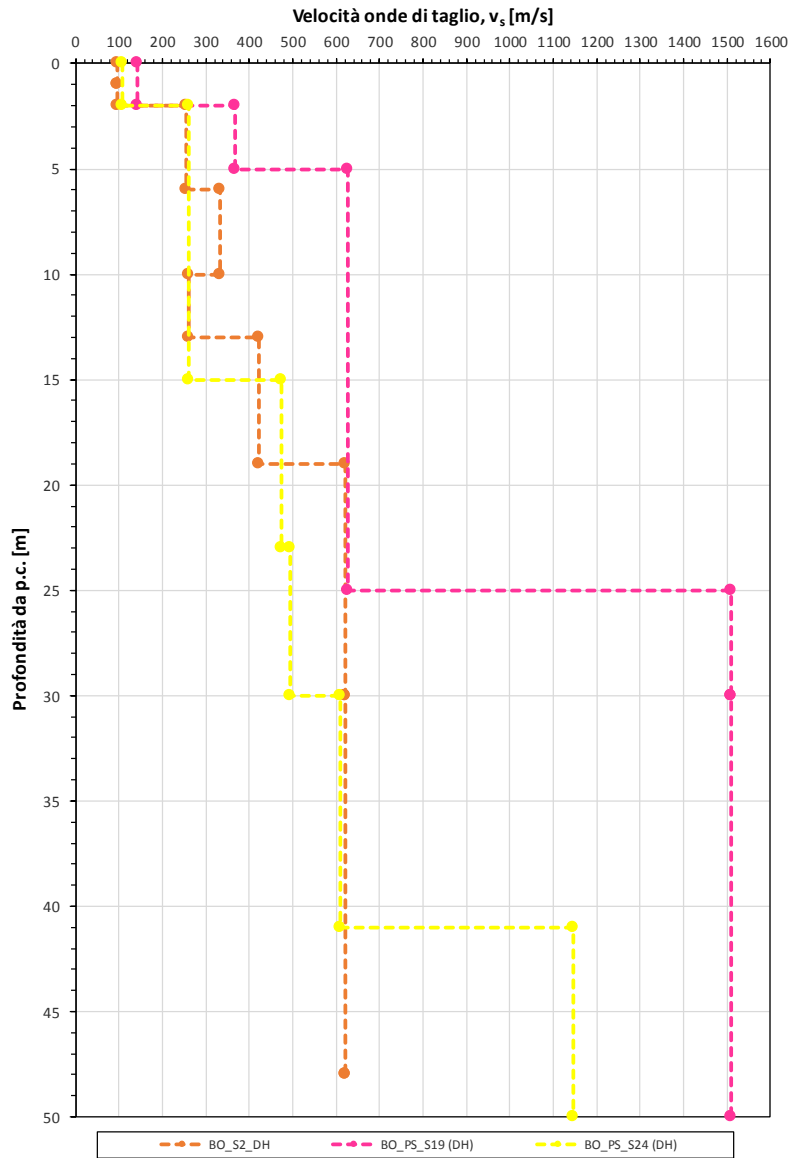


Fig. 3: Profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) da down-hole.

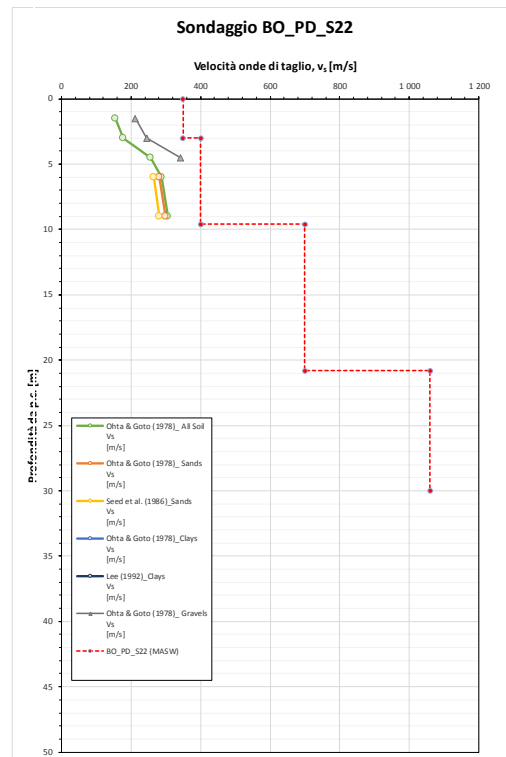
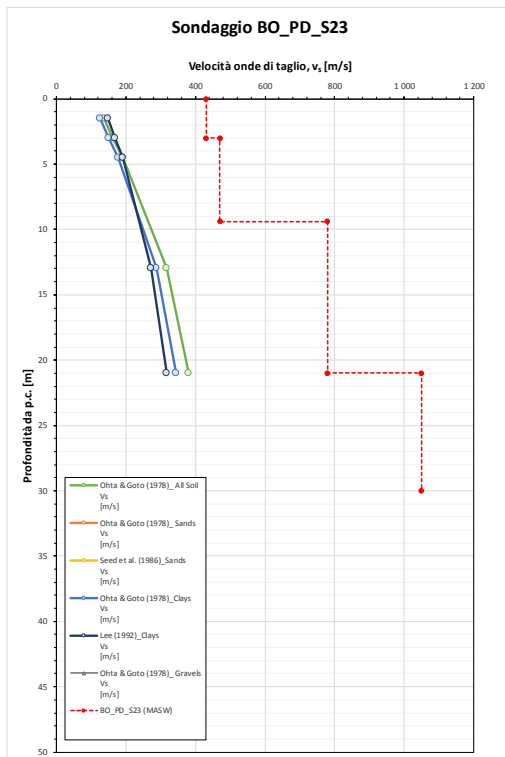
3.1.2.3 Stima della velocità delle onde di taglio da prove penetrometriche dinamiche NSPT

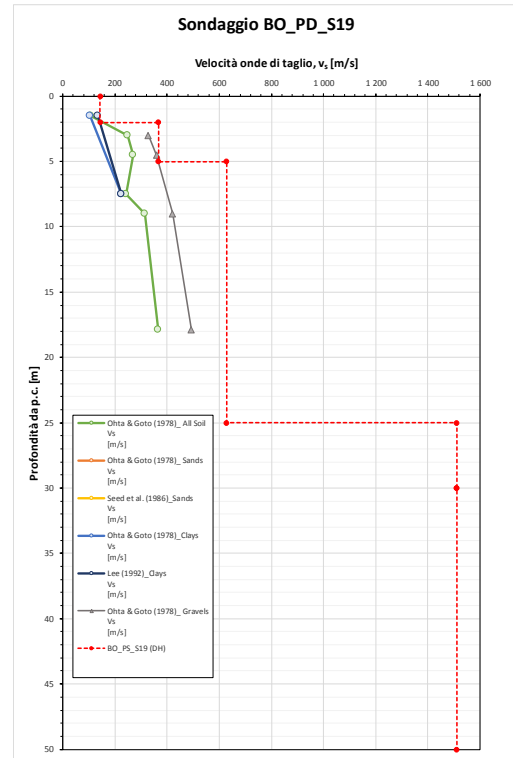
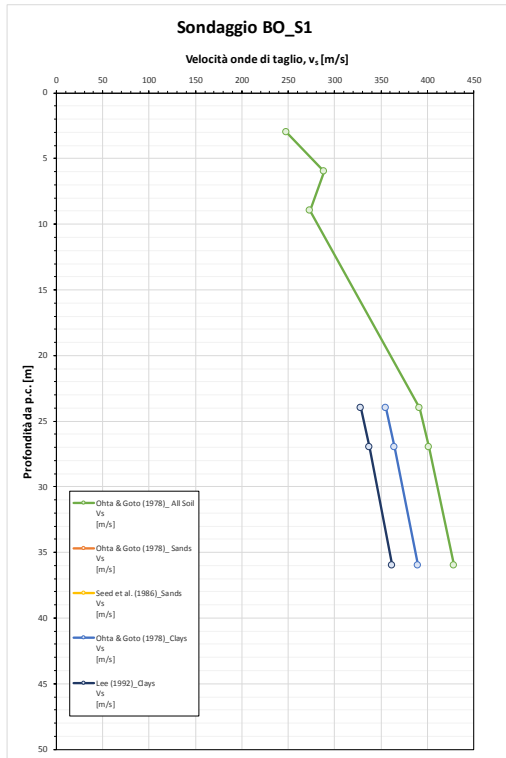
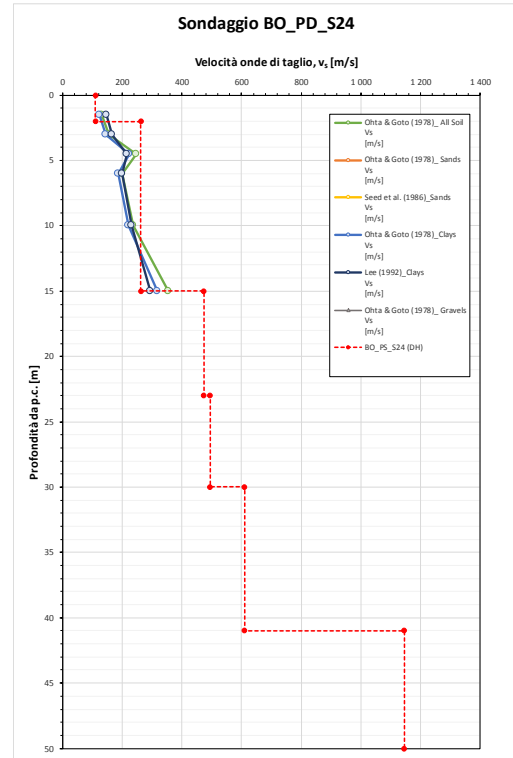
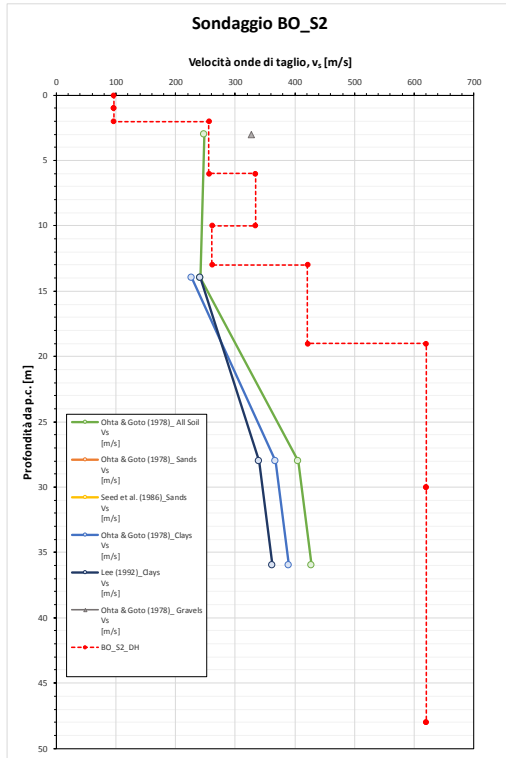
La velocità delle onde di taglio nel terreno (V_s) è stata determinata a partire dai valori di N_{SPT} in funzione:

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

Nel documento di caratterizzazione geotecnica [Ref. 9] sono riportate le correlazioni da letteratura tecnica adottate.

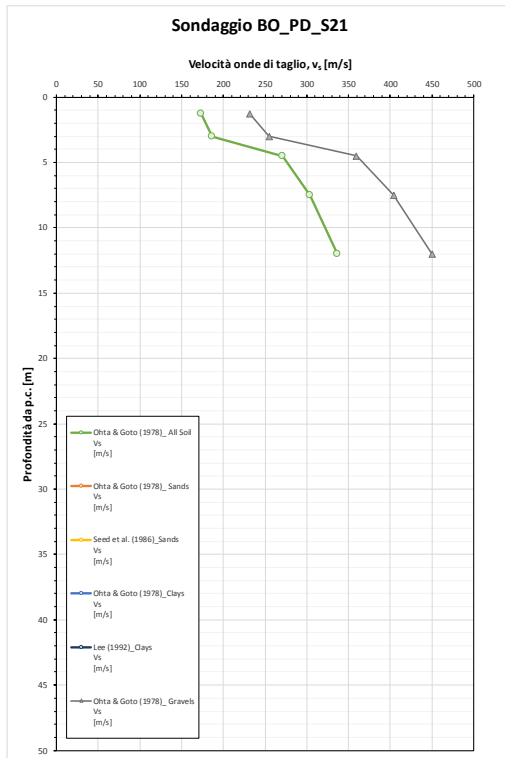
Di seguito si riporta, per ciascun sondaggio l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio ricavato dalle prove SPT disponibili.





**Relazione sismica viabilità interferita alla pk
41+100**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	OC0000 008	B	13 di 28



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 la profondità $h < 30$ m qualora la profondità del substrato ($V_{s,30} \geq 800$ m/s) è inferiore a 30m o non siano stati raggiunti i 30 m, determinati dalle prove masw, down-hole e 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
BO_MASW1	266	30	$V_{s,30}$	Categoria C
BO_PD_S22 (MASW)	506	30	$V_{s,21}$	Categoria B
BO_PD_S23 (MASW)	592	30	$V_{s,21}$	Categoria B
Prova	$V_{s,h}$ da DH	h		Categoria
BO_S2_DH	326	30	$V_{s,30}$	Categoria C
BO_PS_S19 (DH)	463	30	$V_{s,25}$	Categoria B
BO_PS_S24 (DH)	303	30	$V_{s,30}$	Categoria C
Prova	$V_{s,h}$ da SPT	h		Categoria
BO_S1	328	36	$V_{s,36}$	Categoria C
BO_S2	294	36	$V_{s,36}$	Categoria C
BO_PD_S24	207	15	$V_{s,15}$	Categoria C
BO_PD_S23	238	21	$V_{s,21}$	Categoria C
BO_PD_S22	218	9	$V_{s,9}$	Categoria C
BO_PD_S21	248	12	$V_{s,12}$	Categoria C
BO_PD_S19	246	18	$V_{s,18}$	Categoria C

Relazione sismica viabilità interferita alla pk 41+100

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	OC0000 008	B	15 di 28

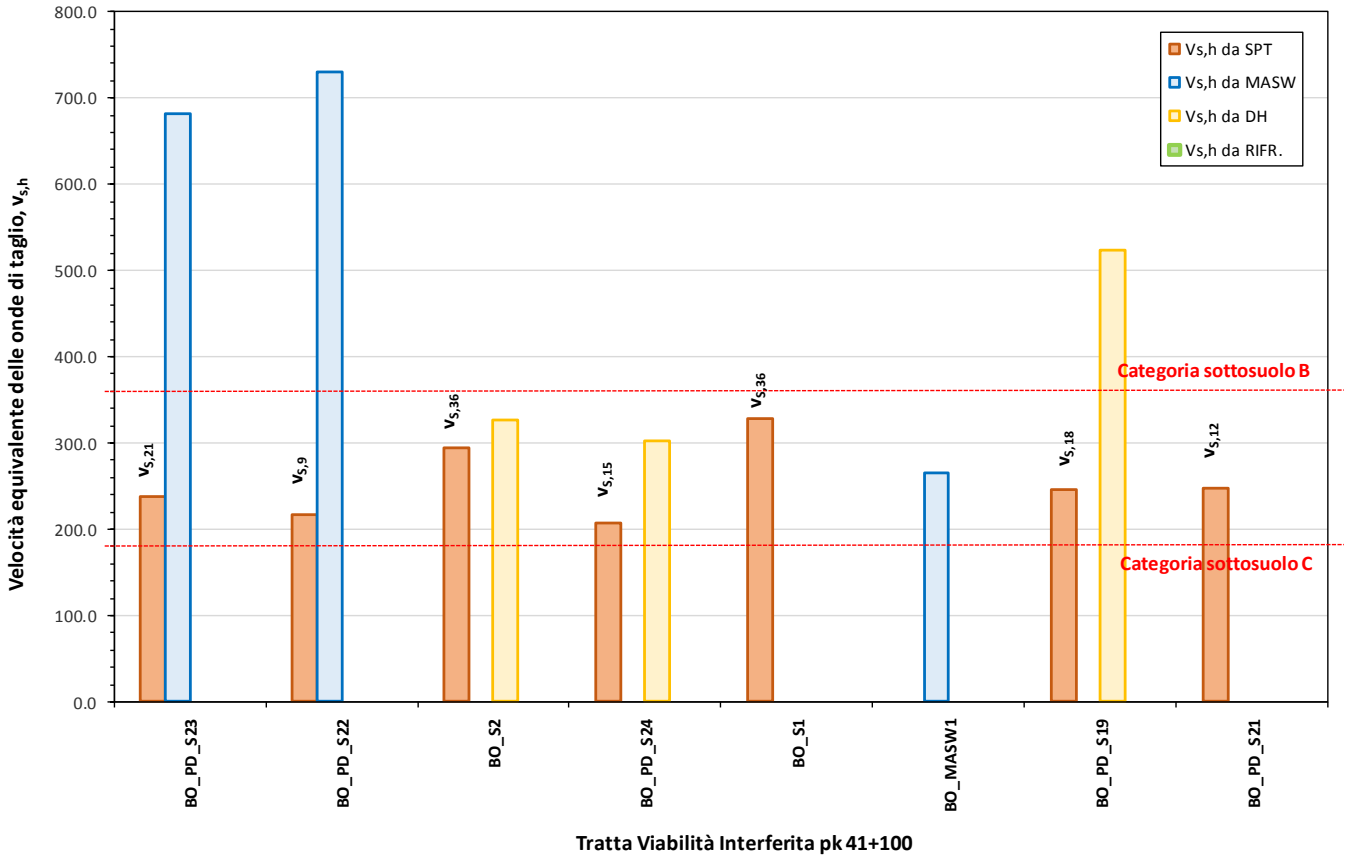


Fig. 4: Andamento lungo la tratta della velocità equivalente delle onde di taglio e della relativa categoria di sottosuolo da prove down-hole, masw, SPT

3.1.4 Sintesi dei risultati

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

Sondaggio	BO_PD_S23	BO_PD_S22	BO_S2	BO_PD_S24	BO_S1	BO_MASW1	BO_PD_S19	BO_PD_S21
V _{sh} da DH								
Cat. B								
Cat. C								
V _{sh} da MASW								
Cat. B								
Cat. C								
V _{sh} da SPT								
Cat. B								
Cat. C								

Esaminando la categoria di suolo lungo la tratta risultante dall'interpretazione delle indagini disponibili si evidenzia quanto segue:

- dalle prove MASW risulta una categoria di suolo B e solo la prova BO_MASW1 identifica una categoria C;
- dalle prove DH in corrispondenza del sondaggio BO_S2 e del sondaggio BO_PD_S24 risulta una categoria di suolo C., mentre in corrispondenza del BO_PD_S19 risulta una categoria di suolo B;
- le V_{s,h} stimate da SPT identificano un suolo tipo C lungo tutto il tracciato. In alcuni casi risultano però riferite a profondità molto inferiori ai 30 metri e quindi poco rappresentative sull'altezza di riferimento (30 metri);

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. 16), dal quale è estratta la tabella seguente.

Tab. 4: Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie.

TIPO DI COSTRUZIONE ⁽¹⁾	Vita Nominale V_N [Anni] ⁽²⁾
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	≥ 100 ⁽²⁾
(1) – La stessa V_N si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprighiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere.	
(2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di FERROVIE.	

Relazione sismica viabilità interferita alla pk
41+100

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	OC0000 008	B	18 di 28

Per la tratta in esame:

Opera	Vita Nominale (V_N)
Viabilità pk 41+100	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

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II	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.
Classe III	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.
Classe IV	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:

Relazione sismica viabilità interferita alla pk
41+100

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	OC0000 008	B	19 di 28

Opera	Classe d'Uso	Coeff. d'Uso (C _U)
<i>Viabilità pk 41+100</i>	III	1.5

3.3.3 Periodo di riferimento dell'azione sismica, V_R

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U, cioè mediante la seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Per la tratta in esame risulta:

Opera	Periodo di Riferimento (V _R)
<i>Viabilità pk 41+100</i>	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 Bovino di coordinate:

Longitudine: 15.280293°,

Latitudine: 41.240983°,

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
0.272	C	T1	75	III	0.354

Relazione sismica viabilità interferita alla pk
41+100

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	OC0000 008	B	20 di 28

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.272 g
F_o	2.436
T_c^*	0.431 s
S_s	1.302
C_c	1.387
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.302
η	1.000
T_B	0.199 s
T_C	0.597 s
T_D	2.688 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 925** Ofanto, caratterizzata da una magnitudo massima $M=6.83$.

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 nel 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 $U_c > 3,5$.

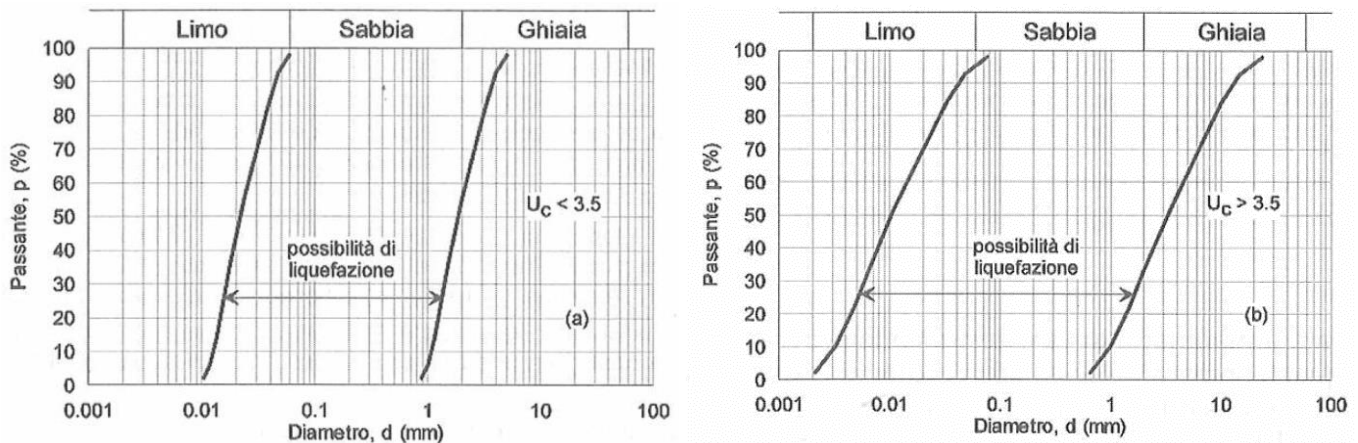


Fig. 5: Fusi Granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione (Fig.7.11.1 NTC2008)

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.

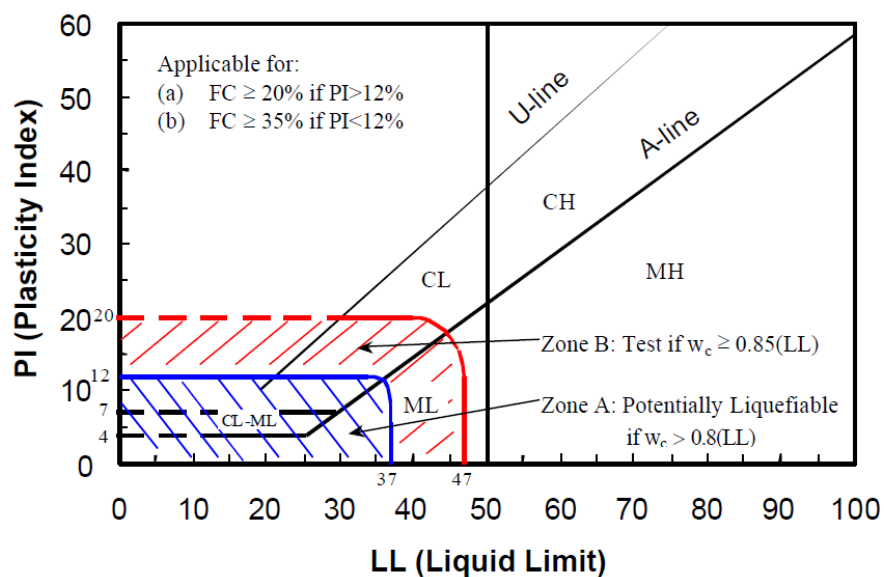


Fig. 6: Criterio di esclusione dei terreni coesivi (NCEER, Seed et al., 2003)

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 una 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.

Tab. 8: Esito delle verifiche condotte ai sensi del DM 14/01/2008.

Indice	Tratta	Sondaggio	Prof. [m]	Descrizione da Log Stratigrafico	Classifica USCS	Falda Assunta [m]	Criterio Falda	Verifica sul valore di N_{spt}										Verifica sul Fuso Granulometrico			Esito	Commenti		
								N1	N2	N3	t1 [cm]	t2 [cm]	t3 [cm]	N_{spt}	σ'_{v0} [kPa]	C_N	$N_{1,60}$	Criterio $N_{1,60}$	Percentuale fuori fuso [%]	Criterio Fuso Granulometrico (1 prestare attenzione, granulometria borderline)				
2	Orsara	BO_S1	3.0	Incoerente		1.0	1	7	27	75	15	30	35	100	37	1.64	164.4	1	92	1	Verifica non necessaria			
3	Orsara	BO_S1	4.8	Incoerente		1.0	1											0	52.8	1.38	0.0	1	Verifica non necessaria	CR1
4	Orsara	BO_S1	6.0	Incoerente		1.0	1	18	17	75	15	30	37	100	64	1.25	125.0	1	18	1	Verifica non necessaria			
5	Orsara	BO_S1	9.0	Incoerente		1.0	1	17	24	32	15	30	45	56	91	1.05	58.7	1	96	1	Verifica non necessaria	CR2		
10	Orsara	BO_S2	3.0	Incoerente		1.0	1	14	22	25	15	30	35	100	37	1.64	164.4	1	73	1	Verifica non necessaria			
11	Orsara	BO_S2	4.8	Incoerente		1.0	1											0	52.8	1.38	0.0	1	Verifica non necessaria	CR1
12	Orsara	BO_S2	9.8	Coesivo		1.0	1											0	97.8	1.01	0.0	1	Verifica non necessaria	CR2
13	Orsara	BO_S2	14.0	Coesivo		1.0	1	6	10	13	15	30	45	23	136	0.86	19.7	1	35	1	da verificare*	Terreno di natura coesiva		
14	Orsara	BO_S2	15.3	Coesivo	CL	1.0	1											0	147	0.82	0.0	1	da verificare*	CR3, terreno a comportamento coesivo
23	Orsara	BO_PD_S24	1.5	Coesivo		1.0	1	10	7	8	15	30	45	15	23.5	2.00	30.0	1	90	1	Verifica non necessaria	C11		
24	Orsara	BO_PD_S24	3.0	Coesivo		1.0	1	7	6	9	15	30	45	15	37	1.64	24.7	1	90	1	Verifica non necessaria	C11		
25	Orsara	BO_PD_S24	4.5	Coesivo		1.0	1	7	30	40	15	30	45	70	50.5	1.41	98.5	1	90	1	Verifica non necessaria	C11		
26	Orsara	BO_PD_S24	6.0	Coesivo		1.0	1	11	10	13	15	30	45	23	64	1.25	28.8	1	82	1	Verifica non necessaria	C12		
27	Orsara	BO_PD_S24	10.0	Coesivo		1.0	1	12	13	16	15	30	45	29	100	1.00	29.0	1		1	Verifica non necessaria			
28	Orsara	BO_PD_S24	15.0	Coesivo		1.0	1	30	50		15	26		100	145	0.83	83.0	1		1	Verifica non necessaria			
29	Orsara	BO_PD_S23	1.5	Coesivo		1.0	1	6	7	10	15	30	45	17	23.5	2.00	34.0	1		1	Verifica non necessaria	Terreno vegetale a matrice limosa argillosa		
30	Orsara	BO_PD_S23	3.0	Coesivo		1.0	1	6	6	12	15	30	45	18	37	1.64	29.6	1		1	da verificare*	Terreno di natura coesiva (coltre)		
31	Orsara	BO_PD_S23	4.5	Coesivo		1.0	1	15	10	15	15	30	45	25	50.5	1.41	35.2	1		1	Verifica non necessaria	Terreno di natura coesiva (coltre)		
32	Orsara	BO_PD_S23	5.7	Coesivo	CL	1.0	1											0	60.9	1.28	0.0	1	da verificare*	CR1 Coltre, terreno a comportamento coesivo
33	Orsara	BO_PD_S23	8.9	Coesivo	CL	1.0	1											0	89.7	1.06	0.0	1	Verifica non necessaria**	CR2 Coltre, terreno a comportamento coesivo
34	Orsara	BO_PD_S23	13.0	Coesivo		1.0	1	30	35	38	15	30	45	73	127	0.89	64.8	1		1	Verifica non necessaria	Terreno di natura coesiva (coltre)		
35	Orsara	BO_PD_S23	14.9	Coesivo	CL	1.0	1											0	144	0.83	0.0	1	da verificare*	CR3 Coltre, terreno a comportamento coesivo
37	Orsara	BO_PD_S22	1.5	Incoerente		1.0	1	17	17	12	15	30	45	29	23.5	2.00	58.0	1		1	Verifica non necessaria			
38	Orsara	BO_PD_S22	1.9	Incoerente	CL	1.0	1											0	27.1	1.92	0.0	1	Verifica non necessaria**	CR1, da metodo NCEER risulta in Zona B ma è esclusa la suscettibilità a liquefazione
39	Orsara	BO_PD_S22	3.0	Incoerente	CL	1.0	1	10	14	13	15	30	45	27	37	1.64	44.4	1		1	Verifica non necessaria	CR2		
40	Orsara	BO_PD_S22	4.5	Incoerente	CL	1.0	1	20	34	45	15	30	45	79	50.5	1.41	111.2	1		1	Verifica non necessaria	CR3		
41	Orsara	BO_PD_S22	6.0	Incoerente		1.0	1	50			10			100	64	1.25	125.0	1		1	Verifica non necessaria			
42	Orsara	BO_PD_S22	9.0	Incoerente	ML-CL	1.0	1	35	39	48	15	30	45	87	91	1.05	91.2	1		1	Verifica non necessaria	CR4		
43	Orsara	BO_PD_S22	14.9	Coesivo	CL	1.0	1											0	144	0.83	0.0	1	da verificare*	CR5 terreno a comportamento coesivo
44	Orsara	BO_PD_S21	1.3	Incoerente		1.0	1	29	21	29	15	30	45	50	21.7	2.00	100.0	1		1	Verifica non necessaria			
45	Orsara	BO_PD_S21	3.0	Incoerente		1.0	1	26	32		24			100	37	1.64	164.4	1		1	Verifica non necessaria			
46	Orsara	BO_PD_S21	4.5	Incoerente		1.0	1	33	46	50	15	30	43	100	50.5	1.41	140.7	1		1	Verifica non necessaria			
47	Orsara	BO_PD_S21	7.5	Incoerente		1.0	1	50			7			100	77.5	1.14	113.6	1		1	Verifica non necessaria			
48	Orsara	BO_PD_S21	12.0	Incoerente		1.0	1	50			5			100	118	0.92	92.1	1		1	Verifica non necessaria			
57	Orsara	BO_PD_S19	1.5	Coesivo		1.0	1	2	3	4	15	30	45	7	23.5	2.00	14.0	1		1	da verificare*	Terreno di natura coesiva		
58	Orsara	BO_PD_S19	3.0	Incoerente		1.0	1	40	50		15	22		100	37	1.64	164.4	1		1	Verifica non necessaria			
59	Orsara	BO_PD_S19	4.5	Incoerente		1.0	1	32	44	50	15	30	40	100	50.5	1.41	140.7	1		1	Verifica non necessaria			
60	Orsara	BO_PD_S19	7.5	Incoerente		1.0	1	14	18	24	15	30	45	42	77.5	1.14	47.7	1		1	Verifica non necessaria			
61	Orsara	BO_PD_S19	9.0	Incoerente		1.0	1	50			8			100	91	1.05	104.8	1		1	Verifica non necessaria			
62	Orsara	BO_PD_S19	17.9	Incoerente		1.0	1	33	50		15	21		100	171	0.76	76.4	1		1	Verifica non necessaria			

5.2.1 Analisi dei risultati

A seguito dell'analisi svolta si evidenzia quanto segue:

- in corrispondenza del sondaggio BO_S2 alla profondità di 14.0m e 15.3m da piano campagna non è rispettata rispettivamente la condizione numero 3 e la condizione numero 4, quest'ultima riferita al campione CR3. In accordo alla descrizione stratigrafica presente nel Log del sondaggio stesso, tuttavia, il terreno risulta di natura coesiva e pertanto sono esclusi fenomeni di liquefazione. Ad ulteriore conferma, analizzando i dati di laboratorio del campione CR3, infatti, 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.
- in corrispondenza del sondaggio BO_PD_S24 alla profondità di 1.5m, 3.0m, 6.0m e 10.0m 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. Analizzando i campioni CI1 e CI2 essi presentano un fuso granulometrico che cade al di fuori della banda prevista da Normativa per una percentuale rispettivamente del 90% e 82%.
- in corrispondenza del sondaggio BO_PD_S23 alla profondità di 1.5m, 3.0m, e 4.5m 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.
- in corrispondenza del sondaggio BO_PD_S23 alla profondità di 5.7m da piano campagna la condizione numero 4 non risulta soddisfatta. Tuttavia, analizzando i dati di laboratorio del campione CR1, 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.
- nel sondaggio BO_PD_S23 alla profondità 8.9m da piano campagna la condizione numero 4 risulta soddisfatta, ma il fuso granulometrico, determinato in corrispondenza del campione CR2, cade al di fuori della banda prevista da Normativa per una percentuale compresa tra il 50% e il 70%. Al fine di fornire un ulteriore riscontro della non suscettibilità a liquefazione del terreno esaminato, sono stati analizzati i dati di laboratorio del campione CR2, 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.

- in corrispondenza del sondaggio BO_PD_S23 alla profondità di 14.9m da piano campagna la condizione numero 4 non risulta soddisfatta. Analizzando i dati di laboratorio del campione CR3 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.
- nel sondaggio BO_PD_S22 alla profondità 1.9m da piano campagna la condizione numero 4 risulta soddisfatta, ma il fuso granulometrico, determinato in corrispondenza del campione CR1, cade al di fuori della banda prevista da Normativa per una percentuale compresa tra il 50% e il 70%. Al fine di fornire un ulteriore riscontro della non suscettibilità a liquefazione del terreno, denominato di transizione, è stato applicato il criterio proposto da NCEER. In particolare, come evidenziato nella seguente Fig. 7 e Tab. 9, il campione ricade all'interno della Zona B ma il contenuto d'acqua risulta inferiore al 85% del limite liquido.
- in corrispondenza del sondaggio BO_PD_S22 alla profondità di 14.9m da piano campagna la condizione numero 4 non risulta soddisfatta. Tuttavia, applicando il criterio di NCEER, il campione CR5, ricade all'interno della Zona C (vedasi Fig. 7 e Tab. 9), pertanto non è suscettibile a fenomeni di liquefazione.
- in corrispondenza del sondaggio BO_PD_S19 alla profondità di 1.5m 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.

Tab. 9: Esito delle verifiche condotte in accordo alla metodologia NCEER.

Indice	Tratta	Sondaggio	Prof. [m]	Campione	Limite liquido w _L [%]	Indice Plastico IP [%]	Contenuto di fine FC [%]	Contenuto d'acqua w [%]	Tipo di terreno	Zona	Esito	Per grafico		
												w _L [%]	IP [%]	
6	Orsara	BO_PD_S22	1.9	CR1	BO_PD_S22;CR1	33	14	20.3	8.9	Terreno di transizione	Zona B	verifica non necessaria	33	14
10	Orsara	BO_PD_S22	14.9	CR5	BO_PD_S22;CR5	43	24	26.7	20	Terreno di transizione	Zona C	verifica non necessaria	43	24

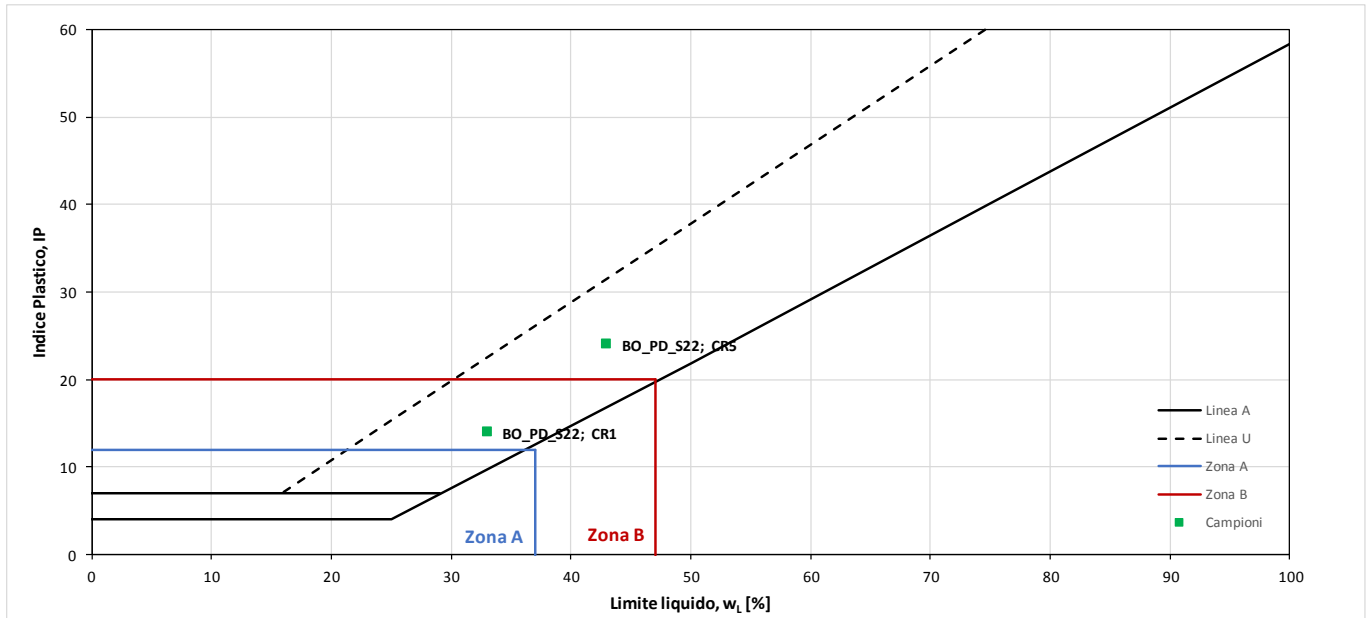


Fig. 7: Criterio di esclusione dei terreni coesivi (NCEER, Seed et al., 2003).

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.