

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 30+625

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 7 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. Opere Civili e gestione delle varianti Doc. Ingegneria delle varianti N. 420783

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>	5
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>	8
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 $V_{s,30}$</i>	14
3.1.4	<i>Sintesi dei risultati</i>	16
3.2	CATEGORIA TOPOGRAFICA	17
3.3	AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	17
3.3.1	<i>Definizione della Vita Nominale, V_N</i>	17
3.3.2	<i>Definizione della classe d'uso, C_U</i>	18
3.3.3	<i>Periodo di riferimento dell'azione sismica, V_R</i>	19
3.3.4	<i>Definizione dell'azione sismica</i>	19
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 17/01/2018</i>	21

5.1.2	<i>Criteria di esclusione in accordo con quanto proposto da NCCER per terreni con elevato contenuto di fine</i>	23
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>	27

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 NV01 alla pk 30+625. 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.

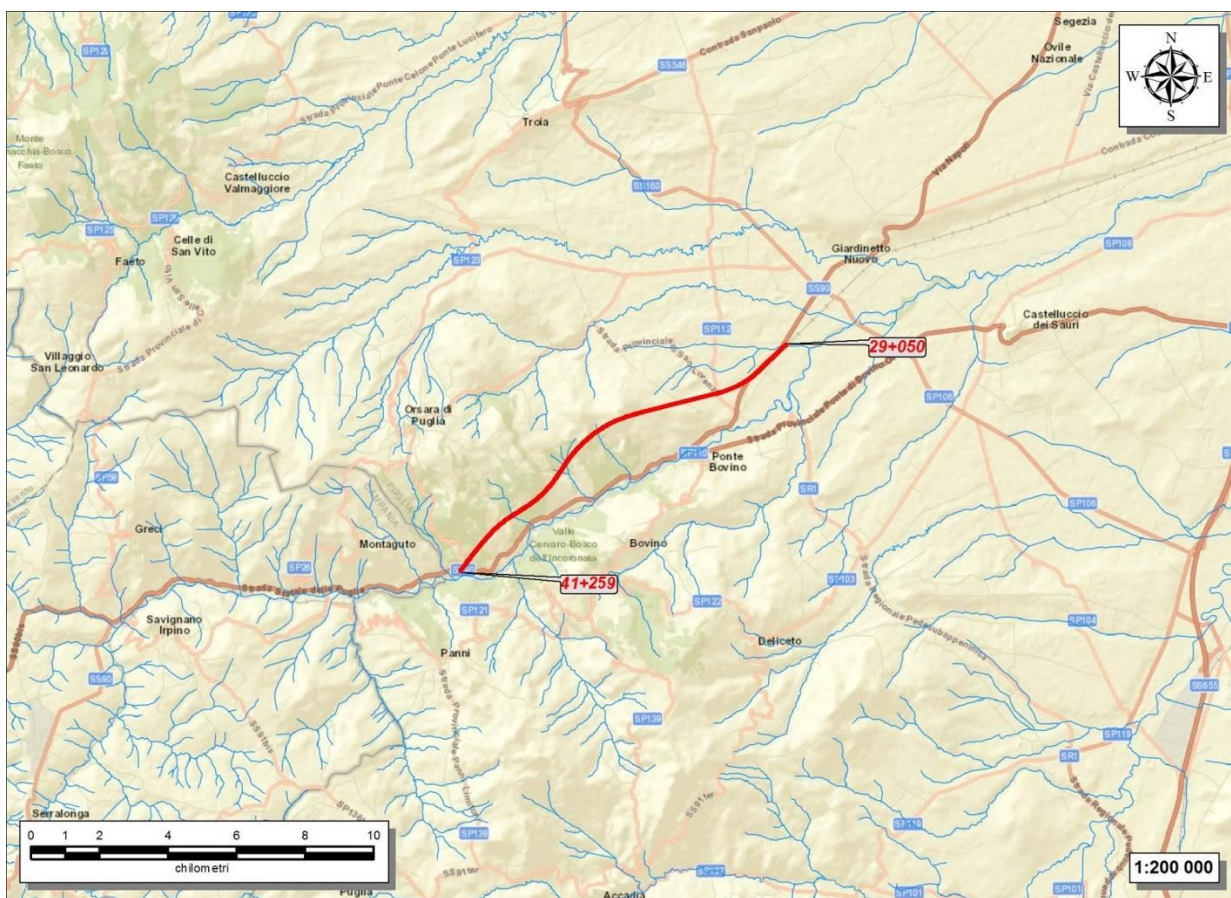


Fig. 1 – Ubicazione area di studio.

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di riferimento

2.1.1 Geologia

- Ref. 1 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”

2.1.2 Geotecnica

- Ref. 9 IF1W 00 D 11 GE OC 0000 005 B – “Relazione Geotecnica viabilità interferita alla pk 30+625”
- Ref. 10 IF1W 00 D 11 F6 OC 0000 004 B – “Profilo Geotecnico viabilità interferita alla pk 30+625 - Tav.1 di 2”

Ref. 11 IF1W 03 D 11 F6 OC 0000 005 B – “Profilo Geotecnico viabilità interferita alla pk 30+625 – Tav.2 di 2”

2.2 Normativa e Standard di riferimento

- Ref. 12 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. 13 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. 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 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. 16 DM 06/05/2008 – “Integrazione al DM 14/01/2008 di approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- Ref. 17 RFI DTC SI MA IFS 001 A – “Manuale di progettazione delle opere civili”
- Ref. 18 RFI DTC SI SP IFS 001 A – “Capitolato generale tecnico d’appalto delle opere civili”
- Ref. 19 UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- Ref. 20 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_S16	2018	50.0	15	x
BO_S10	2017	50.0	14	
BO_PD_S15	2018	50.0	9	
BO_PD_S14	2018	50.0	6	
BO_S9	2017	50.0	7	
BO_PD_S13	2018	50.0	6	x
BO_PD_S12	2018	50.0	6	
BO_S8	2017	40.0	8	
BO_PD_S11	2018	50.0	6	x
BO_PD_S10	2018	50.0	4	x

Tab. 2: Stendimenti sismici (Masw) di riferimento

Stendimento	Campagna
BO_MASW3	2017
BO_PD_S15 MASW	2018
BO_MASW7	2017
BO_PD_S14 MASW	2018
BO_MASW4	2017
BO_PD_S12 MASW	2018
BO_PD_S10 MASW	
BO_MASW5	2017

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.

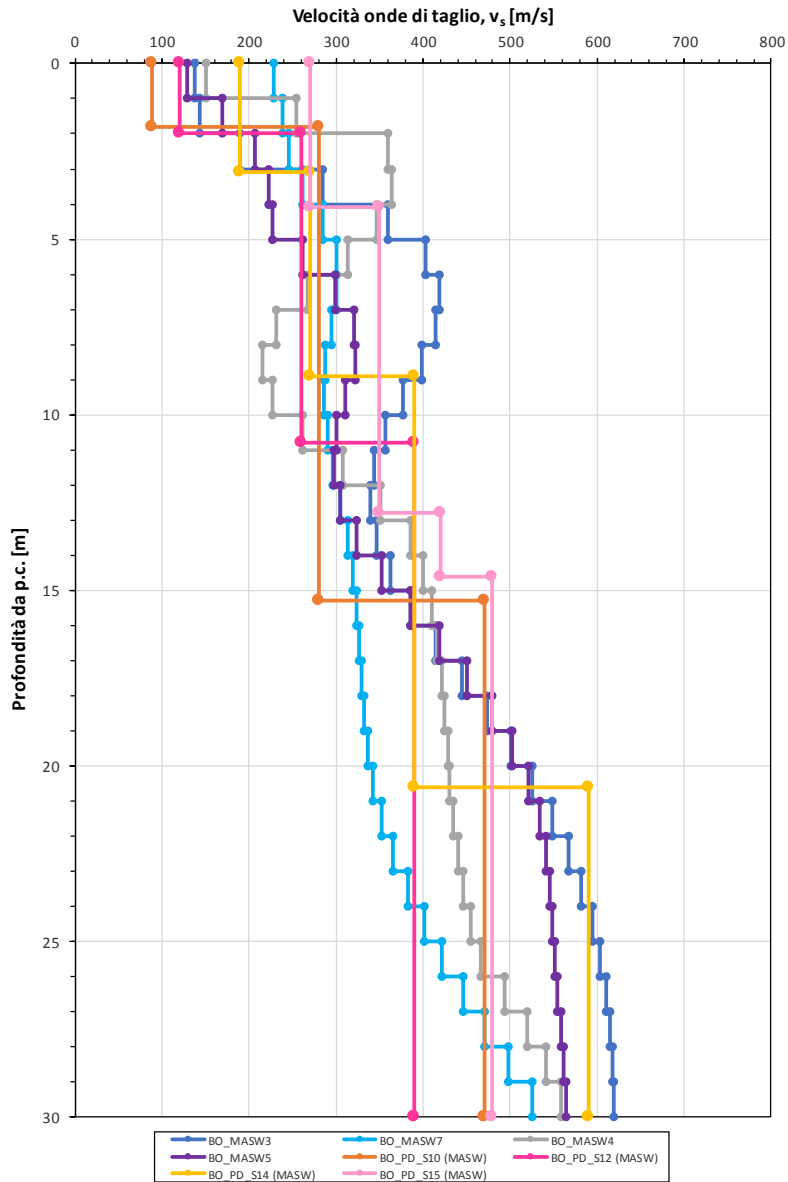


Fig. 2: Profilo della velocità delle onde di taglio (V_s) da prove MASW.

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.

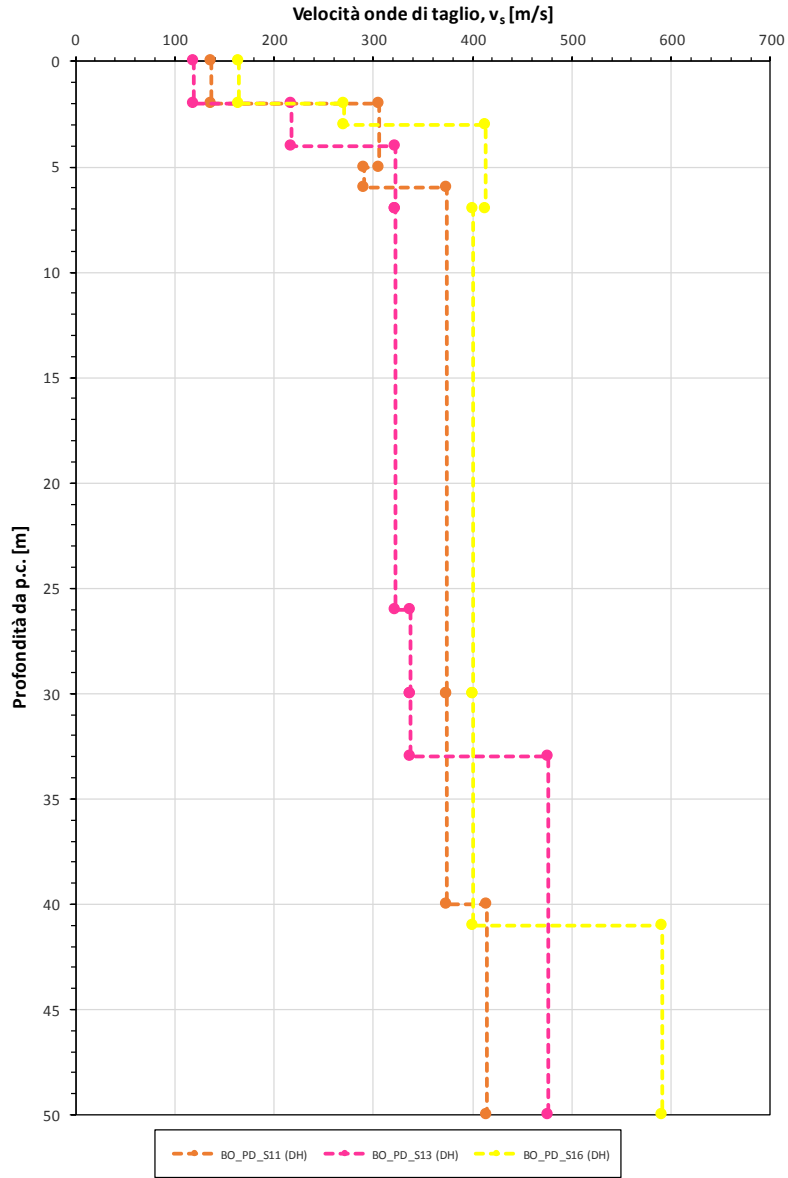


Fig. 3: Profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) da down-hole.

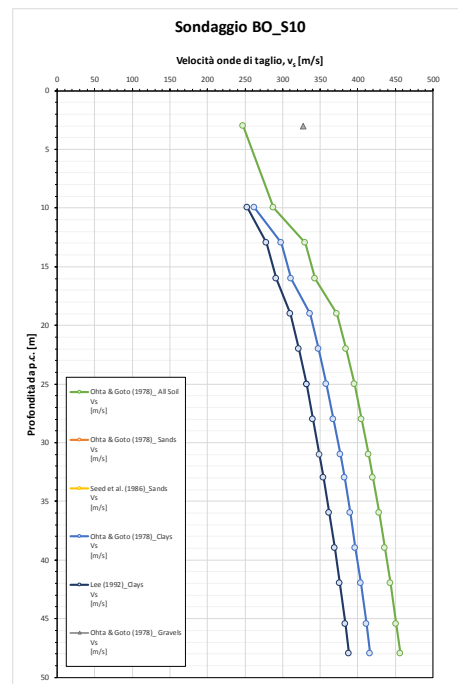
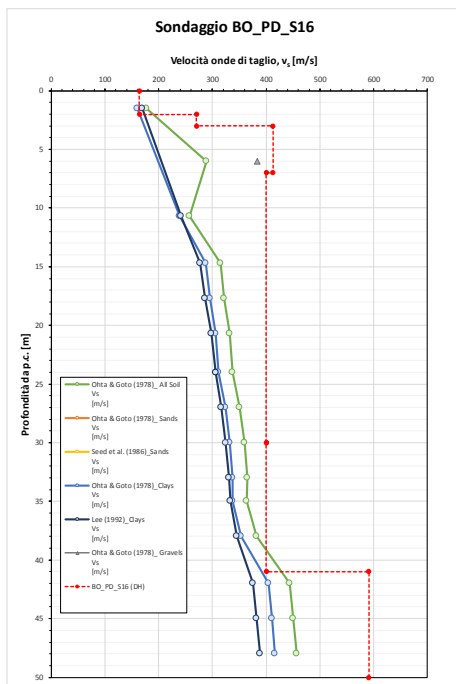
3.1.2.3 Stima della velocità delle onde di taglio da prove penetrometriche dinamiche NSPT

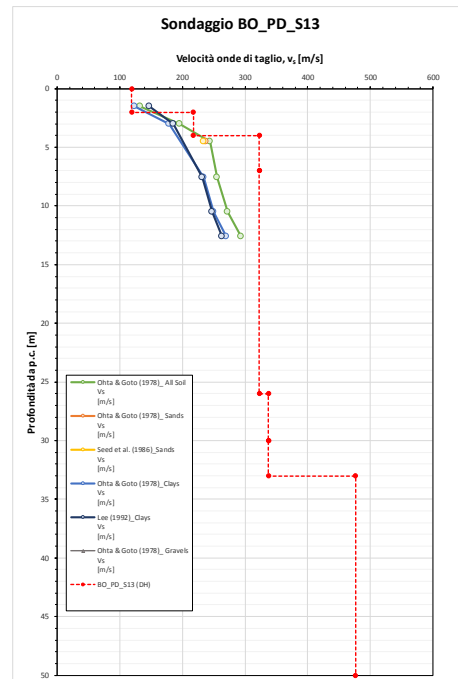
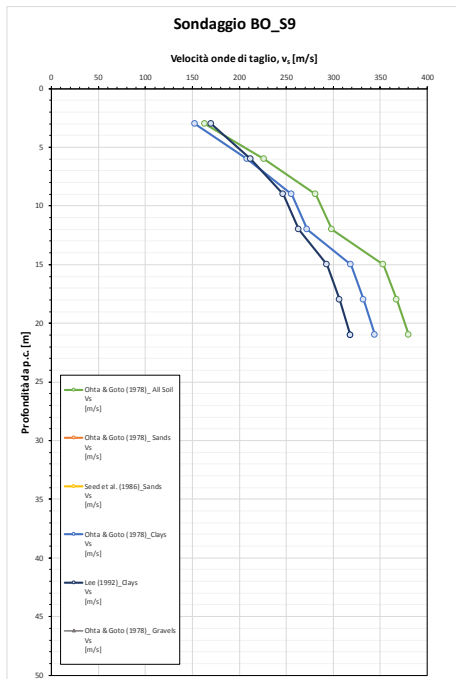
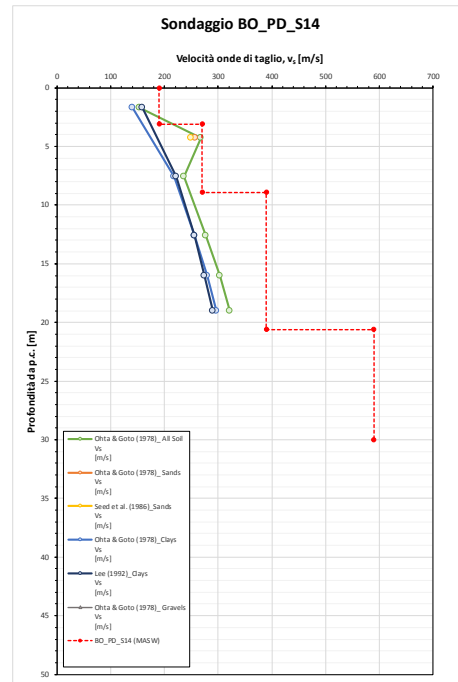
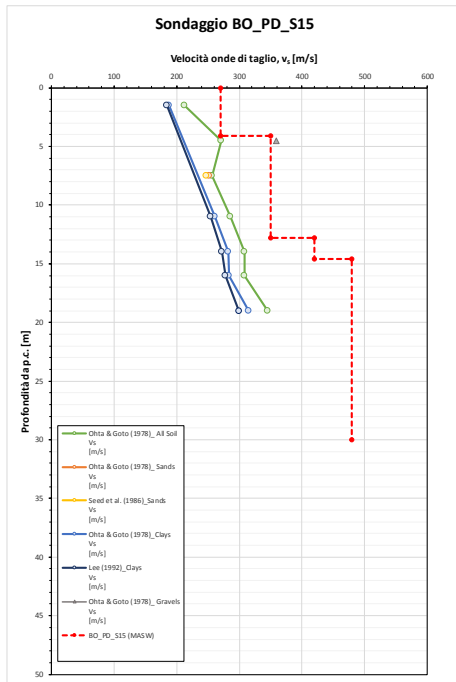
La velocità delle onde di taglio nel terreno (V_s) è stata determinata a partire dai valori di N_{SPT} in funzione:

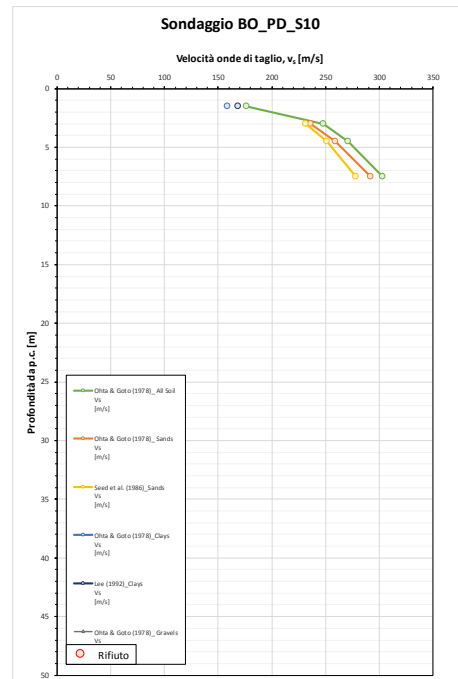
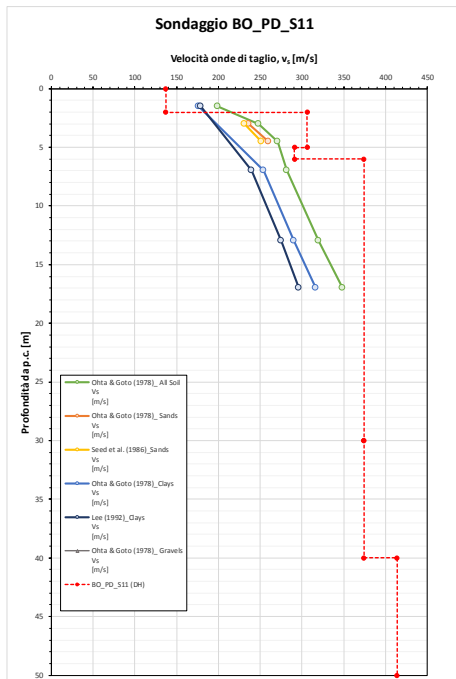
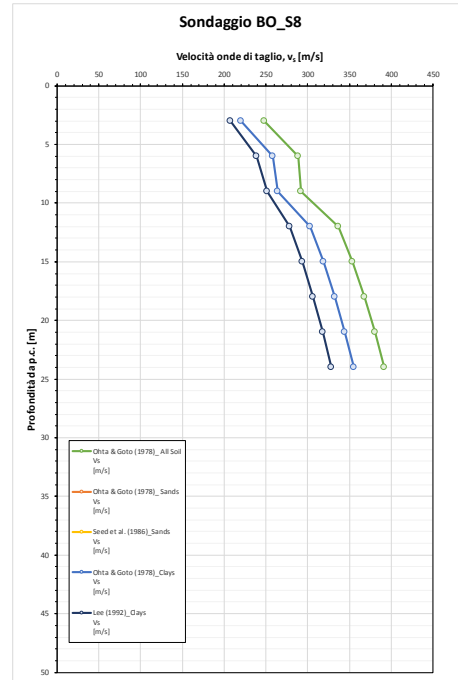
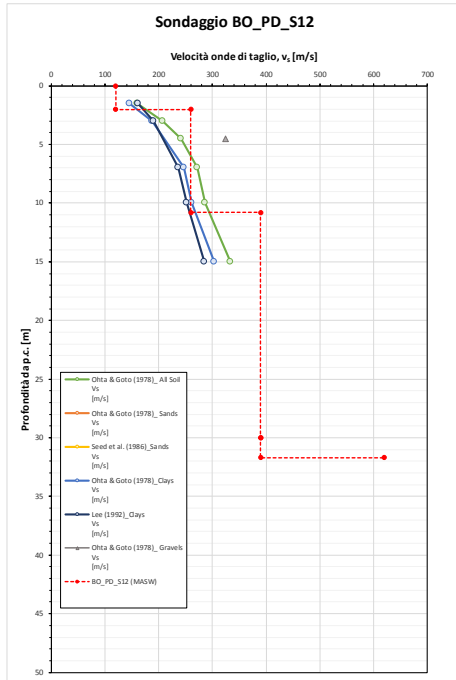
- della tipologia di terreno (argille, sabbie, ghiaie,...);
- della profondità (z in m).

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.







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 ($V_s \geq 800$ 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_MASW3	370	30	Categoria B
BO_MASW7	323	30	Categoria C
BO_MASW4	344	30	Categoria C
BO_MASW5	336	30	Categoria C
BO_PD_S10 (MASW)	300	30	Categoria C
BO_PD_S12 (MASW)	301	30	Categoria C
BO_PD_S14 (MASW)	358	30	Categoria C
BO_PD_S15 (MASW)	393	30	Categoria B

Prova	$V_{s,h}$ da DH	h	Categoria
BO_PD_S11 (DH)	326	30	Categoria C
BO_PD_S13 (DH)	283	30	Categoria C
BO_PD_S16 (DH)	361	30	Categoria B

Prova	$V_{s,h}$ da SPT	h	Categoria
BO_S8	316	24	Categoria C
BO_S9	256	21	Categoria C
BO_S10	323	31	Categoria C
BO_PD_S10	234	8	Categoria C
BO_PD_S11	278	17	Categoria C
BO_PD_S12	246	15	Categoria C
BO_PD_S13	215	13	Categoria C
BO_PD_S14	242	19	Categoria C
BO_PD_S15	272	19	Categoria C
BO_PD_S16	283	30	Categoria C

Relazione sismica viabilità interferita alla pk
30+625

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	OC0000 007	B	15 di 27

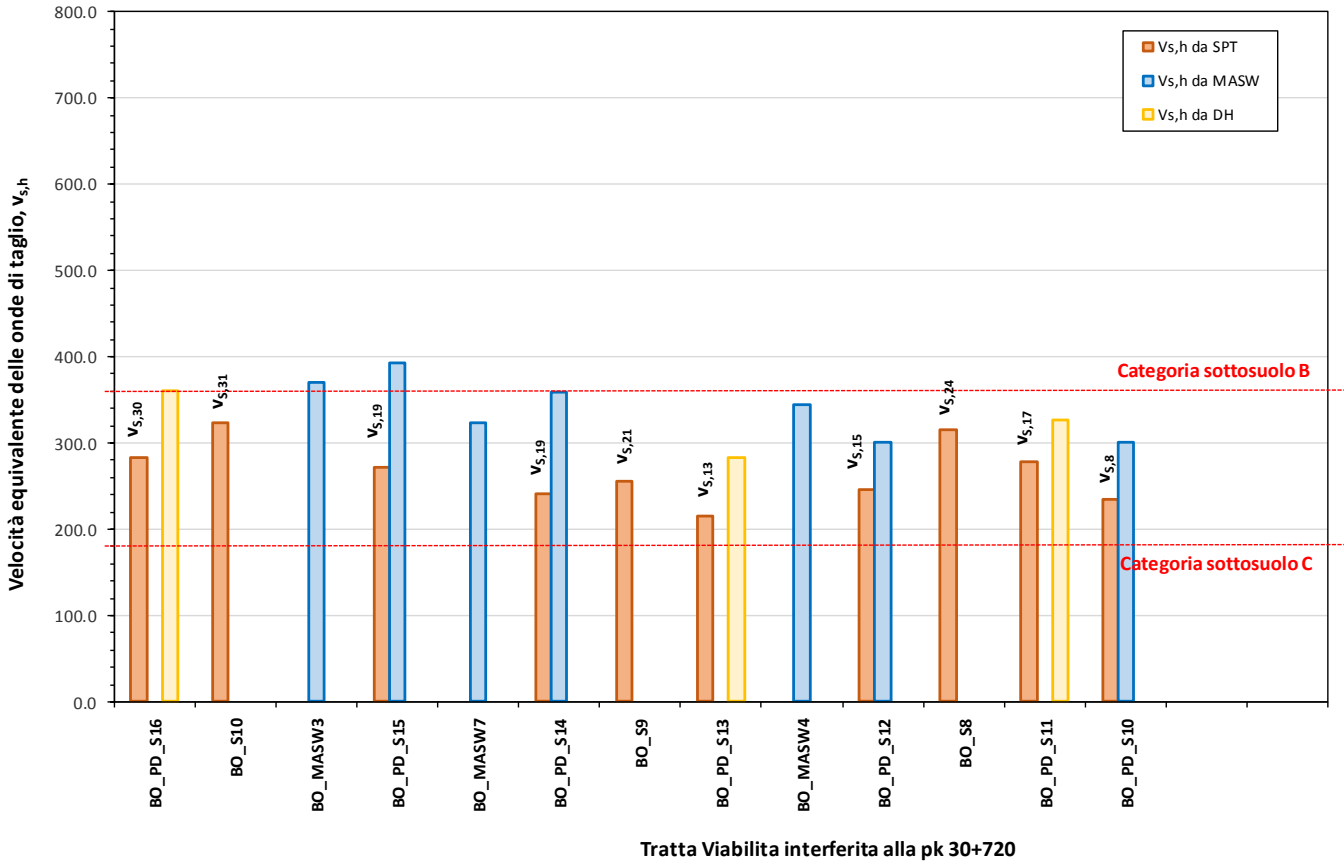


Fig. 4: Andamento lungo la tratta della velocità equivalente delle onde di taglio e della relativa categoria di sottosuolo da prove down-hole, masw, SPT

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_S16	BO_S10	BO_MASW3	BO_PD_S15	BO_MASW7	BO_PS_S14	BO_S9	BO_PD_S13	BO_MASW4	BO_PD_S12	BO_S8	BO_PD_S11	BO_PD_S10
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 C e solo le prove BO_MASW3 e BO_PD_S15 (masw) identificano una categoria B;
- dalle prove DH risulta una categoria di suolo C e solo la prova BO_PD_S16 (DH) identificano una categoria B;
- le $V_{s,h}$ stimate da SPT identificano un suolo tipo C lungo tutto il tracciato. Si segnala che in molti casi la velocità equivalente $V_{s,h}$ è determinata entro una profondità h inferiore a 30.0 m per mancanza di dati.

Sulla base delle valutazioni svolte e considerata la dispersione dei risultati si ritiene opportuno adottare lungo tutta la tratta la categoria di suolo tipo 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. 17), 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, coprugiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere.	
(2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di FERROVIE.	

Relazione sismica viabilità interferita alla pk
30+625

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	OC0000 007	B	18 di 27

Per la tratta in esame:

Opera	Vita Nominale (V_N)
Viabilità pk 30+625	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.

Relazione sismica viabilità interferita alla pk
30+625

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	OC0000 007	B	19 di 27

Per la tratta in esame si assume:

Opera	Classe d'Uso	Coeff. d'Uso (C _U)
Viabilità pk 30+625	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)
Viabilità pk 30+625	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: 15.387977°,

Latitudine: 41.296473°,

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
0.230	C	T1	75	III	0.312

Relazione sismica viabilità interferita alla pk
30+625

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	OC0000 007	B	20 di 27

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_d	0.230 g
F_o	2.509
T_C	0.439 s
S_s	1.353
C_C	1.377
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.353
η	1.000
T_B	0.202 s
T_C	0.605 s
T_D	2.521 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 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 17/01/2018**

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 $U_c > 3,5$.

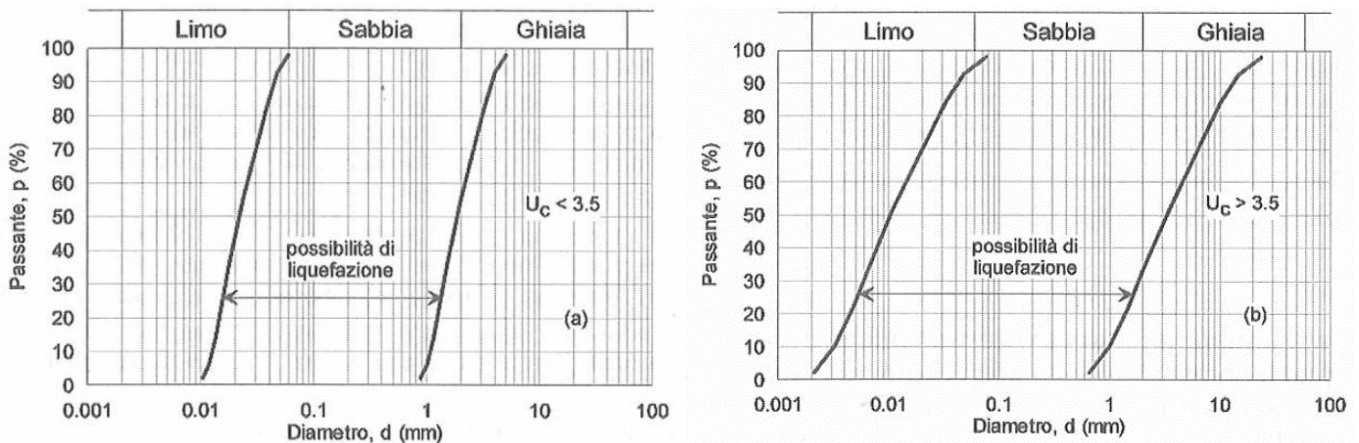


Fig. 5: Fusi Granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione (Fig.7.11.1 NTC2008)

Per quanto concerne i primi due punti, 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.

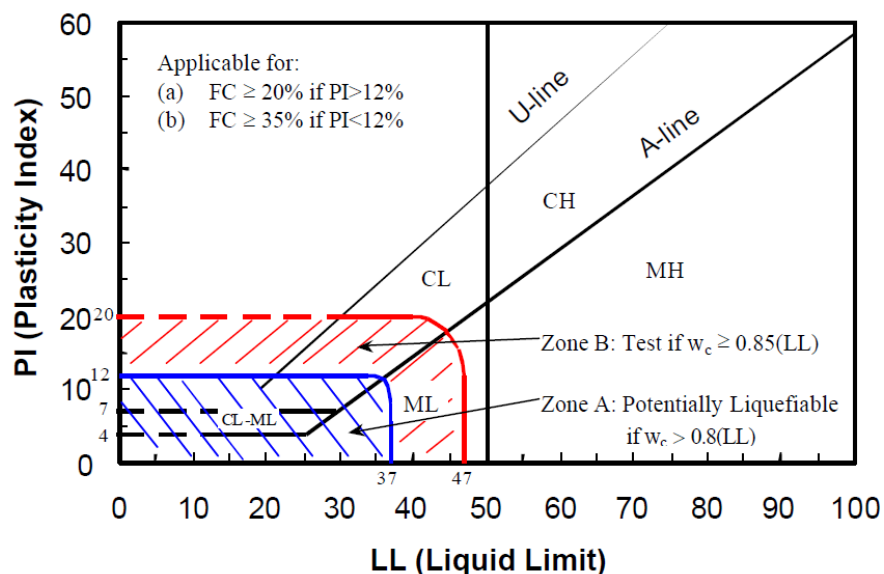


Fig. 6: Criterio di esclusione dei terreni coesivi (NCEER, Seed et al., 2003)

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione sismica viabilità interferita alla pk 30+625	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 09	CODIFICA GE	DOCUMENTO OC0000 007	REV. B	FOGLIO 24 di 27

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.

**Relazione sismica viabilità interferita alla pk
30+625**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 09	GE	OC0000 007	A	25 di 27

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

Indice	Tratta	Sondaggio	Prof. [m]	Descrizione da Log Stratigrafico	Verifica sulle condizioni di Falda		Verifica sul valore di N _{spt}										Verifica sul Fusso Granulometrico		Esito <small>* notare che la descrizione escluderebbe i fenomeni di liquefazione ** il fusso granulometrico cade al di fuori della banda per più del 50% ma meno del 70%</small>	Commenti		
					Falda Assunta [m]	Criterio Falda	N1	N2	N3	t1 [cm]	t2 [cm]	t3 [cm]	N _{spt}	σ' _{vo} [kPa]	C _N	N _{1,60}	Criterio N _{1,60}	Percentuale fuori fusso [%]			Criterio Fusso Granulometrico (1 prestare attenzione, granulometria borderline)	
2	Bovino	BO_S8	3.0	Coesivo	1.0	⊕	3	7	10	15	30	35	100	37	1.64	164.4	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
10	Bovino	BO_S9	3.0	Coesivo	1.0	⊕	6	8	11	15	30	45	19	37	1.64	31.2	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
17	Bovino	BO_S10	3.0	Incoerente	1.0	⊕	50			8			100	37	1.64	164.4	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
18	Bovino	BO_S10	5.3	Incoerente	1.0	⊕							0	57.3	1.32	0.0	⊕	99	⊕	Verifica non necessaria	CR1	
35	Bovino	BO_PD_S10	1.5	Incoerente	1.0	⊕	22	15	32	15	30	45	47	23.5	2.00	94.0	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
36	Bovino	BO_PD_S10	3.0	Incoerente	1.0	⊕	50			11			100	37	1.64	164.4	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
37	Bovino	BO_PD_S10	4.5	Incoerente	1.0	⊕	41	50		15	27		100	50.5	1.41	140.7	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
38	Bovino	BO_PD_S10	7.5	Incoerente	1.0	⊕	50			10			100	77.5	1.14	113.6	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
39	Bovino	BO_PD_S11	1.5	Coesivo	1.0	⊕	14	31	45	15	30	45	76	23.5	2.00	152.0	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
40	Bovino	BO_PD_S11	3.0	Incoerente	1.0	⊕	48	50		15	20		100	37	1.64	164.4	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
41	Bovino	BO_PD_S11	4.5	Incoerente	1.0	⊕	37	42	50	15	30	42	100	50.5	1.41	140.7	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
46	Bovino	BO_PD_S12	1.5	Coesivo	1.0	⊕	10	12	20	15	30	45	32	23.5	2.00	64.0	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
47	Bovino	BO_PD_S12	3.0	Incoerente	1.0	⊕	16	24	25	15	30	45	49	37	1.64	80.6	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
48	Bovino	BO_PD_S12	4.5	Incoerente	1.0	⊕	23	30	33	15	30	45	63	50.5	1.41	88.7	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
52	Bovino	BO_PD_S13	1.5	Coesivo	1.0	⊕	6	7	8	15	30	45	15	23.5	2.00	30.0	⊗	51	⚠	⊕	Verifica non necessaria**	CI1
53	Bovino	BO_PD_S13	3.0	Incoerente	1.0	⊕	6	10	29	15	30	45	39	37	1.64	64.1	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
54	Bovino	BO_PD_S13	4.5	Incoerente	1.0	⊕	31	31	35	15	30	45	66	50.5	1.41	92.9	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
58	Bovino	BO_PD_S14	1.7	Coesivo	1.0	⊕	7	10	14	15	30	45	24	25.3	1.99	47.7	⊕		⊕	Verifica non necessaria		
59	Bovino	BO_PD_S14	4.3	Incoerente	1.0	⊕	33	43	50	15	30	43	100	48.7	1.43	143.3	⊕	30	⊗	Verifica non necessaria	CR1	
64	Bovino	BO_PD_S15	1.5	Incoerente	1.0	⊕	34	47	50	15	30	41	100	23.5	2.00	200.0	⊕	50	⊗	Verifica non necessaria	CR1	
65	Bovino	BO_PD_S15	4.5	Incoerente	1.0	⊕	40	50		15	25		100	50.5	1.41	140.7	⊕	60	⚠	⊕	Verifica non necessaria	CR2
72	Bovino	BO_PD_S16	1.5	Incoerente	1.0	⊕	14	17	31	15	30	45	48	23.5	2.00	96.0	⊕	40	⊗	Verifica non necessaria	CR1	
73	Bovino	BO_PD_S16	4.2	Incoerente	1.0	⊕							0	47.4	1.45	0.0	⊕	55	⚠	⊕	Verifica non necessaria**	CR2
74	Bovino	BO_PD_S16	6.0	Incoerente	1.0	⊕	50			12			100	64	1.25	125.0	⊕		⊕	Verifica non necessaria		

5.2.1 Analisi dei risultati

A seguito dell'analisi svolta si evidenzia quanto segue:

- in corrispondenza del sondaggio BO PD S13 alla profondità 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. Analizzando infatti la granulometria e i limiti di Atterberg del campione CI1, il terreno risulta a comportamento prevalentemente coesivo;
- nel sondaggio BO PD S16 alla profondità 4.2m 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, classificabile come terreno di transizione, è stato applicato il criterio proposto da NCEER. In particolare, come evidenziato nella seguente tabella e figura, il campione ricade all'interno della Zona B ma il contenuto d'acqua risulta inferiore al 85% del limite liquido, per cui non è potenzialmente liquefacibile.

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
11	Bovino	BO_PD_S16	4.2	CR2	BO_PD_S16; CR2	33	17	27.41	16.15	Terreno di transizione	Zona B	verifica non necessaria

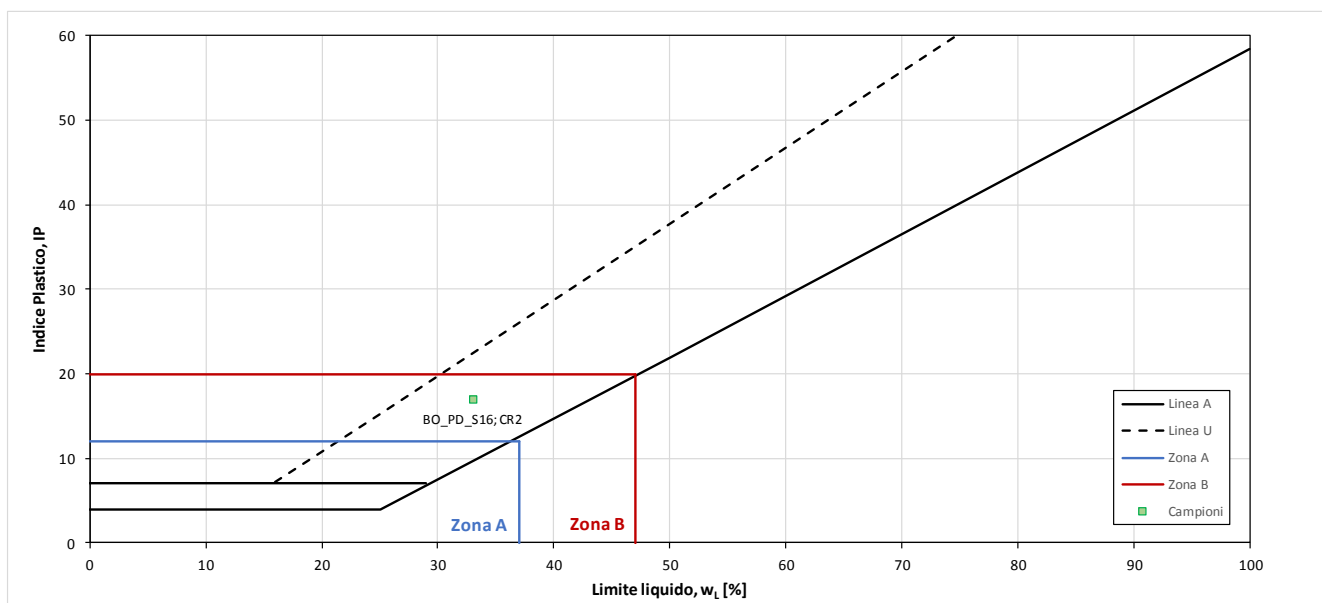


Fig. 7: Criterio di esclusione dei terreni coesivi (NCEER, Seed et al., 2003).

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.