

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

PROGETTISTA:

DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI

Dott. Geol. Attilio EUSEBIO

Ing. Piergiorgio GRASSO

Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche



## PROGETTO ESECUTIVO

### ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO- TELESE

GEOLOGIA - GEOMORFOLOGIA - IDROGEOLOGIA

Relazione Sismica

APPALTATORE	IMPRESA PIZZAROTTI & C. s.p.a. Dott. Ing. Sabino Del Balzo IL DIRETTORE TECNICO Ing. Sabino DEL BALZO 23/06/2020	SCALA:  -
-------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------

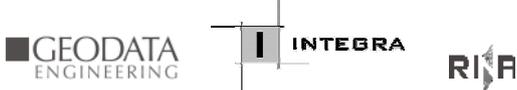
COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I F 2 6    1 2    E    Z Z    R G    G E 0 0 0 1    0 0 2    B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato / Data
A	Emissione	L. Landolfi	24/02/2020	A. Eusebio	24/02/2020	P. Grasso	24/02/2020	Dott. Geol. Attilio EUSEBIO
B	Emissione a seguito di istruttoria ITF	L. Landolfi	23/06/2020	A. Eusebio	23/06/2020	P. Grasso	23/06/2020	ATTILIO EUSEBIO DIRETTORE ALBO PROFESSIONALE 23/06/2020

File: IF26.1.2.E.ZZ.RG.GE.00.0.1.002.B.doc

n. Elab.:

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Relazione sismica</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>GE0001 002</td> <td>B</td> <td>2 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	2 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	2 di 30								

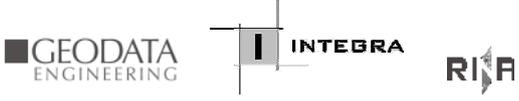
## Indice

<b>1. GENERALITA'</b> .....	<b>4</b>
<b>2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>4</b>
2.1 <b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>4</b>
2.2 <b>ELABORATI DI RIFERIMENTO DEL PROGETTO DEFINITIVO</b> .....	<b>4</b>
2.3 <b>ELABORATI DI RIFERIMENTO DEL PROGETTO ESECUTIVO</b> .....	<b>4</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOTECNICO</b> .....	<b>4</b>
3.1 <b>UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE</b> .....	<b>5</b>
<b>4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA</b> .....	<b>6</b>
4.1 <b>VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI BASE</b> .....	<b>6</b>
4.2 <b>FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO</b> .....	<b>7</b>
4.2.1 <b>CATEGORIA DI SOTTOSUOLO</b> .....	<b>8</b>
4.3 <b>AZIONI SISMICHE DI PROGETTO</b> .....	<b>8</b>
4.3.1 <b>VALORE DI RIFERIMENTO PER LA MAGNITUDO DI PROGETTO</b> .....	<b>9</b>
<b>5. LIQUEFAZIONE</b> .....	<b>10</b>
5.1 <b>INQUADRAMENTO GENERALE</b> .....	<b>10</b>
5.2 <b>METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA A LIQUEFAZIONE</b> .....	<b>11</b>
5.3 <b>SICUREZZA A LIQUEFAZIONE</b> .....	<b>12</b>
5.4 <b>ANALISI BASATE SU PROVE SPT</b> .....	<b>13</b>
5.5 <b>ANALISI BASATE SULLE ONDE DI TAGLIO</b> .....	<b>14</b>
5.5.1 <b>STIMA DEL <i>CRR</i> DAI VALORI DI VELOCITÀ <math>V_s</math></b> .....	<b>14</b>
5.6 <b>ANALISI BASATE SU PROVE CPTU</b> .....	<b>15</b>
<b>6. CONSEGUENZE DELLA LIQUEFAZIONE</b> .....	<b>16</b>
6.1 <b>RESISTENZA RESIDUA POST LIQUEFAZIONE</b> .....	<b>16</b>
6.1.1 <b>CORRELAZIONI CON SPT</b> .....	<b>16</b>
6.1.2 <b>CORRELAZIONI CON CPTU</b> .....	<b>17</b>
6.2 <b>STIMA DEI CEDIMENTI POST-LIQUEFAZIONE</b> .....	<b>18</b>
6.3 <b>RISULTATI DELLE ANALISI A LIQUEFAZIONE</b> .....	<b>18</b>
6.3.1 <b>ZONAZIONE PREGRESSA</b> .....	<b>18</b>
6.3.2 <b>RISULTATI DELLE ANALISI SU PROVE SPT PREGRESSE</b> .....	<b>19</b>

**Relazione sismica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	3 di 30

<b>6.3.3</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI SU PROVE SPT DA SONDAGGI INTEGRATIVI .....</b>	<b>19</b>
<b>6.3.4</b>	<b>RESISTENZA RESIDUA DA PROVE SPT.....</b>	<b>23</b>
<b>6.3.5</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI SU PROVE CPTU PREGRESSE.....</b>	<b>23</b>
<b>6.3.6</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI SU PROVE CPTU INTEGRATIVE .....</b>	<b>25</b>
<b>6.3.7</b>	<b>RESISTENZA RESIDUA DA PROVE CPTU.....</b>	<b>27</b>
<b>6.4</b>	<b>SINTESI DEI RISULTATI.....</b>	<b>28</b>
	<b>ALLEGATO A – CLASSI SISMICHE DI SOTTOSUOLO NTC2008 PER WBS.....</b>	<b>29</b>

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE</b> <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Relazione sismica</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>GE0001 002</td> <td>B</td> <td>4 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	4 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	4 di 30								

## 1. GENERALITA'

Nel presente documento si riporta la caratterizzazione sismica e la verifica a liquefazione dei terreni relativa al Progetto Esecutivo del raddoppio della tratta ferroviaria Cancello-Benevento II Lotto Funzionale Frasso Telesino - Vitulano, sub lotto 1 dal km 16+500 al km 27+700.

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008).
- [N.2]. Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.
- [N.3]. RFI DTC SI CS MA IFS 001 A del 30-12-16 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- [N.4]. RFI DTC SI SP IFS 001 A del 30-12-16 – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.

### 2.2 ELABORATI DI RIFERIMENTO DEL PROGETTO DEFINITIVO

- [D.1]. IF0H 12 D 11 CL GE0001 008 A - Raddoppio della tratta Cancello-Benevento – I° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Definitivo. Relazione sismica– Sub Lotto 1.
- [D.2]. IF0H 12 D 11 CL GE0001 001 A - Raddoppio della tratta Cancello-Benevento – I° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Definitivo. Relazione intervento consolidamento rilevati e trincee – Sub Lotto 1.

### 2.3 ELABORATI DI RIFERIMENTO DEL PROGETTO ESECUTIVO

- [E.1]. IF26 12 EZZ FZ GE0005 001 A ÷ IF26 12 EZZ FZ GE0005 008 A – Raddoppio della tratta Cancello-Benevento – Il lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Profilo geotecnico di linea sub lotto 1 (8 tavole formato A0).
- [E.2]. IF26 12 EZZ RB GE0005 001 A – Raddoppio della tratta Cancello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Relazione geotecnica generale di linea delle opere di linea all'aperto – sub lotto 1.
- [E.3]. IF26 12 EZZ RG GW0001 001 A – Raddoppio della tratta Cancello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Relazione Geologica, geomorfologica ed idrogeologica – sub lotto 1;
- [E.4]. IF26 12 EZZ RH TR0000 002A Raddoppio della tratta Cancello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Rilevati e Trincee. Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee.
- [E.5]. Stucchi M., et al., 2004 - Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. (<https://doi.org/10.13127/sh/mps04/ag>)
- [E.6]. Azioni sismiche - Spettri di risposta ver.1.03 (Software sperimentale disponibile dal sito del CSLPP, <http://cslp.mit.gov.it>).

## 3. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Le considerazioni derivate dall'analisi delle prove in situ e delle prove fisiche e meccaniche sui campioni prelevati in foro, sono sintetizzate nel profilo geotecnico stratigrafico longitudinale [E.1], che definisce la stratigrafia di dettaglio lungo il tracciato ed in corrispondenza delle opere d'arte in progetto.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>Relazione sismica</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 002	REV. B	FOGLIO 5 di 30

Gli elaborati grafici in cui è suddiviso includono:

- le stratigrafie di sondaggio, i valori delle resistenze penetrometriche in prova dinamica (SPT) e statica (CPTU);
- le correlazioni stratigrafiche con indicazione delle unità geotecniche intercettate;
- l'andamento del livello di falda massimo.

### 3.1 UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE

Con riferimento alla relazione geotecnica generale di progetto esecutivo ([E.2]), di seguito si descrivono sinteticamente le unità geotecniche intercettate lungo il subplotto in esame. La nomenclatura delle unità è coerente con quella adottata nelle fasi di progettazione pregresse

- **Terreno di riporto – Unità R:** si tratta dello spessore di terreno vegetale (Rv) costituito prevalentemente da limo sabbioso con resti vegetali e inclusi clasti e da terreno di riporto antropico (Ra) che nel caso in esame costituisce il rilevato ferroviario esistente;
- **Coltri eluvio-colluviali – Unità b2:** si tratta di argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone, grigio e bruno-rossastro, a struttura indistinta, con talvolta resti vegetali, sporadici inclusi piroclastici e rare ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone, grigio e giallastro, a struttura indistinta, con abbondanti resti vegetali, sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.
- **Depositi alluvionali attuali e recenti (Unità geologica ba/bb):** si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e conoide alluvionale. Si distinguono le seguenti litofacies:
  - **Unità ba1:** ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante
  - **Unità ba2:** Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone, verde e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.
  - **Unità ba3:** Argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone e bruno-rossastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e rare ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.
- **Depositi alluvionali antichi (Unità geologica bc):** si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, conoide alluvionale e piana inondabile. Si distinguono le seguenti litofacies:
  - **Unità bc1:** Ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose a sub-arrotondate, in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante.
  - **Unità bc2:** Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e nocciola, a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.
  - **Unità bc3:** Argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone, nocciola e bruno-rossastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e rare ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.
  - **Unità bc4:** Travertini litoidi di colore avana e giallastro, vacuolari e debolmente stratificati, con abbondanti resti vegetali, locali gusci di molluschi, sporadici inclusi piroclastici e frequenti intercalazioni di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore nocciola e giallastro.
- **Depositi alluvionali terrazzati (Unità geologica bn):** si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e conoide alluvionale. Si distinguono le seguenti litofacies:
  - **Unità bn1:** Ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, nocciola e giallastro, a luoghi da poco a moderatamente cementata; a luoghi si rinvencono lenti e/o livelli di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro.

**Relazione sismica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	6 di 30

- **Unità bn2:** Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e nocciola, a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.
- **Tufo grigio campano (Unità geologica TGC):** si tratta di depositi vulcanici di colata ignimbratica. Si distinguono le seguenti litofacies:
  - **Unità TGC1:** Tufi lapidei di colore grigio, grigio-violaceo e grigio-nocciola, a struttura massiva, con diffuse pomici e scorie di dimensioni millimetriche e centimetriche e subordinati cristalli e litici lavici; verso l'alto passano a tufi lapidei di colore giallastro e nocciola-giallastro, a struttura massiva, con diffuse pomici e scorie di dimensioni millimetriche e centimetriche.
  - **Unità TGC2:** Ceneri a granulometria sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, nocciola e giallastro, a struttura indistinta, con diffuse pomici e scorie di dimensioni millimetriche e centimetriche e rare ghiaie poligeniche da angolose a sub-angolose; nella parte bassa della successione è localmente presente un livello di pomici grossolane di colore bianco-rosato, angolose e a struttura indistinta.
  - **Unità TGC3:** Argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio, nocciola e brunastro, a struttura indistinta, con diffuse pomici e scorie di dimensioni millimetriche e centimetriche e locali ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate, derivanti dall'alterazione e/o l'argillificazione dei depositi vulcanoclastici.
- **Unità di Maddaloni (Unità geologica MDL):** si tratta di depositi lacustri con frequenti intercalazioni fluviali e vulcanoclastiche. Si distinguono le seguenti litofacies:
  - **Unità MDL1:** Ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa e sabbioso-argillosa di colore grigio, nocciola e giallastro, da scarsa ad abbondante.
  - **Unità MDL2:** Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio-verdastro, nocciola e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con diffusi inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; talora sono presenti passaggi di ceneri a granulometria sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con diffuse pomici e scorie di dimensioni millimetriche e centimetriche.
  - **Unità MDL3:** Argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio, nocciola e grigio-azzurro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con diffusi inclusi piroclastici e locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate.
  - **Unità MDL4:** Travertini litoidi di colore nocciola, avana e giallastro, vacuolari e debolmente stratificati, con resti vegetali, locali gusci di molluschi, inclusi piroclastici e intercalazioni di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e avana.

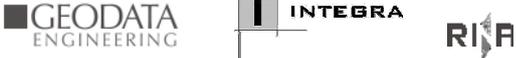
## 4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

La caratterizzazione sismica del tracciato prevede:

- la definizione dell'accelerazione sismica di riferimento su substrato rigido di base;
- l'individuazione della classe di sottosuolo, per la valutazione dell'amplificazione stratigrafica;
- l'individuazione di un valore di riferimento per la magnitudo massima attesa;

### 4.1 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI BASE

La valutazione dell'azione sismica per il dimensionamento degli elementi dell'infrastruttura, si basa sulla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale [E.5] in cui la pericolosità è quantificata dall'accelerazione di picco (normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità),  $a_g/g$ , in condizioni ideali di sottosuolo rigido e superficie orizzontale, associata a diverse probabilità di superamento in 50 anni. I valori di  $a_g/g$  sono dati su una griglia di punti equi-spaziati di 10km. Sulla stessa griglia sono dati anche in valori dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico su substrato rigido (Allegato B NTC2008 [N.1]), per le probabilità di superamento associate agli stati limite di verifica previsti dalla normativa di riferimento [N.1].

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>Relazione sismica</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 002	REV. B	FOGLIO 7 di 30

La normativa delinea il processo di individuazione dell'azione sismica di progetto che prevede:

- la definizione della vita utile dell'opera,  $V_R$ , sulla base della correlazione tra vita nominale  $V_N$  e classe d'uso  $C_U$ :  $V_R = V_N \cdot C_U$ ;
- la stima del periodo di ritorno,  $T_R$ , sulla base delle probabilità di superamento,  $P_{VR}$ , associata agli stati limite di verifica, secondo la formula:  $T_R = V_R / \ln(1 - P_{VR})$ ;
- la stima dei valori dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico su suolo rigido (parametri d'azione) in funzione di  $T_R$ .

I parametri d'azione sono:

- $a_g/g$ , accelerazione massima normalizzata, su sito di riferimento rigido orizzontale;
- $F_0$ , moltiplicatore di  $a_g/g$  che quantifica l'amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;
- $T^*_C$ , periodo proprio di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido;

Gli stati limite di verifica previsti dalla NTC2008 sono elencati di seguito, con le corrispondenti probabilità di superamento in 50 anni:

- Stato limite ultimo di collasso, SLC, PRV = 5%;
- Stato limite ultimo di vulnerabilità, SLV, PRV = 10%;
- Stato limite di esercizio, di danno, SLD, PRV = 63%;
- Stato limite di esercizio, di operatività, SLO, PRV = 81%.

Per le opere d'arte in progetto si ha, in linea generale:

$V_N = 75$  anni e  $C_U = 1.5$  (classe d'uso III);

Fanno eccezione le interferenze con la S.P.116 (ex S.S. 265) elencate di seguito, per le quali si prevede  $V_N = 100$ anni e  $C_U = 2.0$ :

- IV01, viadotto di raccordo tra la NV03 e la ex S.S 265: tutte le campate ed i relativi sostegni, comprese le spalle;
- VI05, il manufatto a farfalla in corrispondenza dell'intersezione con la S.S.265 comprese la campata che lo precede e quella che lo segue con le relative pile;

## 4.2 FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO

In coerenza con le prescrizioni normative, l'accelerazione orizzontale massima in superficie,  $a_{max}/g$ , si ottiene moltiplicando l'accelerazione massima di base,  $a_g/g$ , per un fattore di amplificazione stratigrafica,  $S_s$ , ed uno di amplificazione topografica,  $S_T$ :

$$a_{max}/g = S_s \cdot S_T \cdot a_g/g$$

Il fattore di amplificazione stratigrafica dipende dalla classe di sottosuolo definita sulla base di indagini specifiche per la valutazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ , nel sottosuolo di sedime delle singole opere, e si calcola secondo la formulazione riportata nella normativa di riferimento (paragrafo 3.2.3.2.1, Tabella 3.2.V), in funzione dei parametri spettrali  $F_0$  ed  $a_g/g$ .

La classe di sottosuolo modifica anche il valore del periodo  $T_C$  di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione, attraverso il coefficiente  $C_C$  secondo la formulazione riportata in norma (paragrafo 3.2.3.2.1, Tabella 3.2.V).

Nel caso specifico, l'andamento altimetrico dell'area attraversata dall'infrastruttura di progetto, prevalentemente pianeggiante, con rilievi di pendenza minore di 15°, giustifica l'assunzione di una categoria topografica T1, a cui corrisponde  $S_T = 1$  (Tabella 3.2.IV e Tabella 3.2.VI).

Relazione sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	8 di 30

#### 4.2.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

La categoria di sottosuolo viene assegnata, tra quelle definite dalla norma, sulla base del parametro  $V_{S30}$ , rappresentativo della velocità equivalente delle onde di taglio stimata nei primi 30m di profondità, al di sotto del piano di fondazione dell'opera, secondo la formulazione:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

L'andamento della  $V_s$  con la profondità è stato misurato, in più verticali, dai risultati prove sismiche in foro, tipo Down-Hole (DH), e di superficie, tipo MASW, oltre che geo-elettriche con interpretazione tomografica. In fase di progettazione esecutiva sono state eseguite prove DH e MASW integrative, mirate alla caratterizzazione sismica di opere puntuali non precedentemente caratterizzate (IF26.1.2.E.ZZ.IG.GE.00.0.5.001).

Le analisi mostrano che tutti i segmenti in rilevato e trincea fondano o attraversano terreni che ricadono prevalentemente nella classe C della NTC2008. Sottovia, tombini e gallerie ricadono anch'essi in classe C. Per i viadotti e le opere strutturali su fondazioni profonde, la classe di sottosuolo dipende dalla profondità del piano di allettamento del plinto di testa delle palificate. La valutazione, pertanto, è stata eseguita considerando le profondità rappresentative di -2.00, -3.00, e -6.00m in cui ricadono le fondazioni delle varie opere di progetto (ALLEGATO A). La disamina mostra che per i viadotti VI01, VI02, VI03, VI04, sulla base delle nuove prove Down-Hole SPE22DH, SPE01DH ed SPE23DH, SPE04DH si ottiene una  $V_{S30}$  compresa tra 390 e 500m/s, a cui corrisponde, a rigore di norma, una classe B di sottosuolo. I valori di velocità associati al sottosuolo dei viadotti VI01 e VI02 e VI04 sono però prossimi al limite di distinzione tra classe C e B (360m/s), pertanto, si suggerisce di associarli ad una classe C, in via cautelativa.

#### 4.3 AZIONI SISMICHE DI PROGETTO

Lo studio di valutazione ed integrazione eseguito in fase di progetto esecutivo conferma la suddivisione del sub-lotto 1 in due zone sismiche:

- zona S1 – da pk 16+500 a pk 22+500
- zona S2 – da pk 22+500 a pk 27+700

Alle zone indicate si associano i parametri caratteristici dell'azione sismica di seguito indicati:

**Zona S1 – da pk 16+500 a pk 22+500:** le coordinate di riferimento per l'individuazione dei valori caratteristici dello spettro di risposta su substrato rigido di base (Tabella 1, Allegato B, NTC2008, [N.1]) indicano le località tra Dugenta/Frasso ed Amorosi (BN), in cui Amorosi mostra il livello di pericolosità più elevato:

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	68	0.078	2.428	0.324
SLD	113	0.099	2.440	0.340
SLV	1068	0.273	2.352	0.419
SLC	2193	0.357	2.394	0.433

Pertanto, si assume:

$a_g / g = 0.273$

$F_o = 2.35$

$T_c^* = 0.42$

$S_s = 1.315$  (valutato per categoria sottosuolo tipo C)

$a_{max} = 0.36g$  (valutato per categoria sottosuolo tipo C)

Relazione sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	9 di 30

Zona S2 – da pk 22+500 a pk 27+700, compresa tra Amorosi e Solopaca (BN), in cui Solopaca mostra il livello di pericolosità più elevato:

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	68	0.088	2.368	0.316
SLD	113	0.113	2.377	0.331
SLV	1068	0.322	2.346	0.401
SLC	2193	0.419	2.430	0.425

Si assume:

$$a_g / g = 0.322$$

$$F_o = 2.346$$

$$T_C^* = 0.40$$

$$S_s = 1.250 \text{ (valutato per categoria sottosuolo tipo C)}$$

$$a_{max} = 0.40g \text{ (valutato per categoria sottosuolo tipo C)}$$

Per quanto specificato al paragrafo 4.1, per il cavalcaferrovia IV01 di raccordo tra la NV03 e la ex S.S. 265 (tutte le campate ed i relativi sostegni, comprese le spalle) e per il manufatto a farfalla del VI05 (comprese la campata che la precede e quella che la segue con le relative pile) si assume  $V_N = 100$ anni e  $C_U = 2.0$ .

Entrambe le opere ricadono nella zona S1; i parametri caratteristici dell'azione sismica sono:

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	120	0,102	2,437	0,342
SLD	201	0,130	2,423	0,359
SLV	1898	0,341	2,386	0,430
SLC	2475	0,377		0,435

Si assume:

$$a_g / g = 0.341$$

$$F_o = 2.386$$

$$T_C^* = 0.43$$

$$S_s = 1.212 \text{ (valutato per categoria sottosuolo tipo C)}$$

$$a_{max} = 0.41g \text{ (valutato per categoria sottosuolo tipo C)}$$

#### 4.3.1 VALORE DI RIFERIMENTO PER LA MAGNITUDO DI PROGETTO

Dalla relazione geologica generale [E.3] si evince che l'area di intervento è stata interessata da terremoti con magnitudo  $M$  superiore a 5, in particolare, il massimo terremoto atteso nell'area presenta una  $M$  pari a 7.06, che è stata assunta come magnitudo di riferimento.

L'assunzione di progetto è avvalorata dalla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, che nella disaggregazione dei valori di magnitudo e distanza epicentrale rappresentativi degli eventi che contribuiscono alla definizione della pericolosità nel punto più prossimo al comune di Telesse Terme, mostra che, per una probabilità di superamento del 2% in 50anni (periodo di ricorrenza di 2475anni), l'accelerazione attesa  $a_g = 0.40-0.45g$ , ed il massimo contributo percentuale alla pericolosità, compreso tra il 15 e il 20%, è dato da eventi di magnitudo compresa tra 6.5 e 7.0, con valore medio  $M = 6.3$ .

Relazione sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	10 di 30

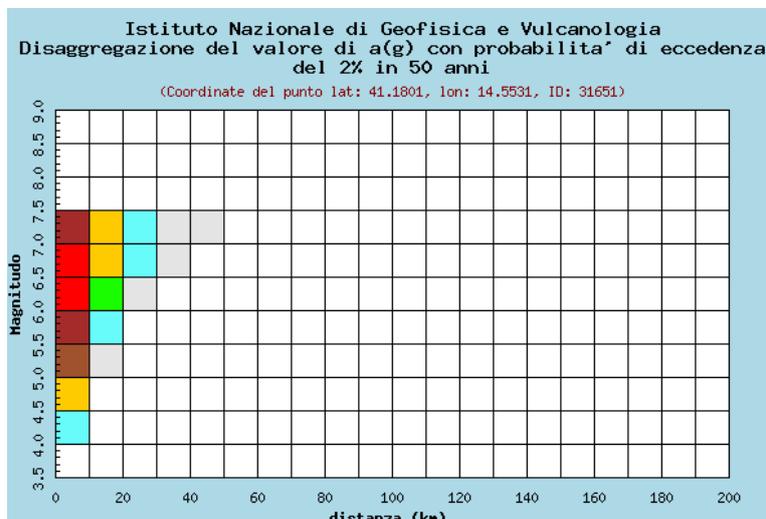


Figura 1– Valori di magnitudo in funzione della distanza

## 5. LIQUEFAZIONE

### 5.1 INQUADRAMENTO GENERALE

La presenza diffusa di formazioni potenzialmente liquefacibili (sabbiose, sabbioso limose e sabbioso ghiaiose sotto falda), nell'ambito territoriale interessato dall'infrastruttura di progetto, comporta la verifica del rischio liquefazione per i terreni di fondazione delle opere puntuali e di linea.

La normativa di riferimento (paragrafo 7.11.3.4.2, NTC2008) prescrive che la verifica può essere omessa qualora si manifesti almeno una delle circostanze di seguito elencate:

- Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0.10g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $N_{1,60} > 30$ , in prova SPT, oppure  $qc_{1N} > 180$ , in prova CPT (rispetto ad una tensione verticale efficace di 100kPa);
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nei grafici in **Figura 2** nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .

Relazione sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	11 di 30

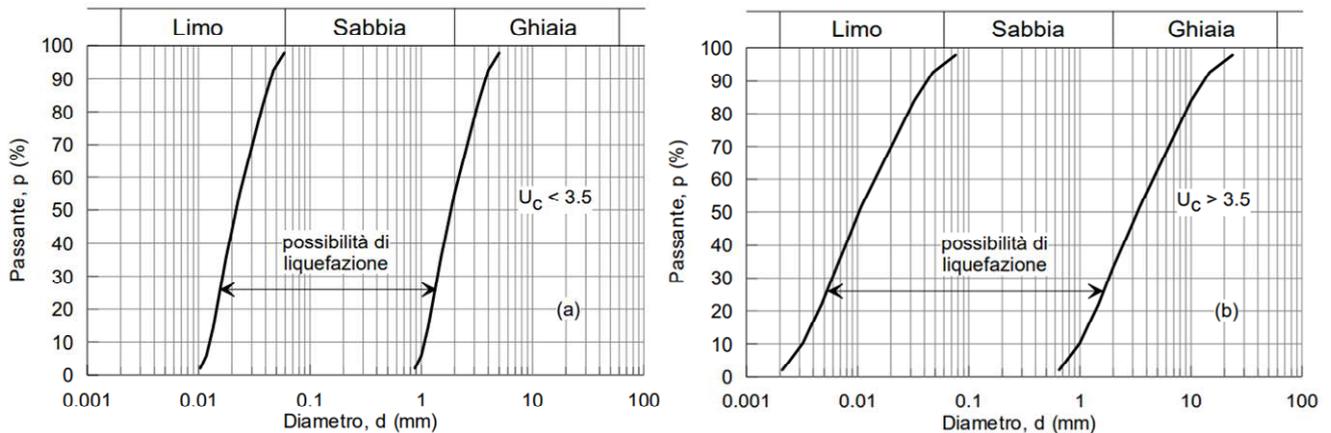


Figura 2 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per  $U_c < 3.5$  e  $U_c > 3.5$ .

Nell'ambito del tracciato in esame, sulla base di quanto indicato nel precedente paragrafo 4.3.1 e riportato nella relazione geologica [E.3] e geotecnica generale [E.2], risulta che:

- l'evento sismico massimo atteso è di magnitudo  $M$  pari a 7.06;
- le accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field sono tra 0.27 e 0.40 per le opere in categoria di sottosuolo C, con  $V_N = 75$  anni,  $C_U = 1.5$  (e  $V_N = 100$  anni,  $C_U = 2$ );
- nelle zone pianeggianti, in corrispondenza delle aste fluviali, la profondità della falda è generalmente inferiore ai 5m di profondità,
- sono presenti in alcune zone strati sabbiosi e/o limo-sabbiosi di bassa plasticità con resistenza penetrometrica normalizzata  $N_{1,60} < 30$ .

Di conseguenza non è possibile escludere a priori la liquefazione ed è necessario eseguire analisi specifiche.

## 5.2 METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA A LIQUEFAZIONE

La metodologia di analisi per valutare il rischio di liquefazione si basa sulla stima di un fattore di sicurezza, FL, dato dal rapporto tra la resistenza disponibile (stato di sforzo critico associato alla condizione di liquefazione) e la sollecitazione indotta dall'azione sismica.

Il rapporto di tensione ciclica, CSR, definisce la sollecitazione ciclica equivalente prodotta dal sisma e può essere valutato ad una determinata profondità nel sottosuolo attraverso la relazione semplificata di Seed e Idriss (1971):

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max,s}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

dove:

- $a_{max,s}$  è l'accelerazione orizzontale di picco a piano campagna del terremoto atteso;
- $\sigma_v$  e  $\sigma'_v$  sono rispettivamente la tensione verticale totale e la tensione verticale efficace alla profondità considerata;
- $r_d$  è un coefficiente riduttivo che tiene conto della deformabilità del sottosuolo e permette di definire la variazione dell'azione sismica con la profondità dal piano campagna e si può ricavare, per profondità non superiori a 20m, mediante l'espressione di Idriss e Boulanger (2004):

**Relazione sismica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	12 di 30

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

dove:

- z è la profondità dal piano campagna;
- M magnitudo di momento dell'evento sismico atteso.

La formula per la valutazione del CSR è convenzionalmente riferita ad eventi di magnitudo  $M = 7.5$ ; per eventi di magnitudo  $M \leq 7.5$  è necessario moltiplicare il valore calcolato per un fattore di conversione, *MFS* (Magnitude Scale Factor) definito da correlazioni empiriche, come quella di Idriss e Boulanger (2004):

$$MSF = 6.9 \cdot \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8$$

Per le procedure di verifica che implementano il valori di VS la letteratura scientifica indica la correlazione di Andrus e Stock, 1997:  $MSF = (M/7.5)^{-2.56}$

Il rapporto di resistenza ciclica, *CRR*, quantifica la resistenza disponibile, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace agente alla profondità esaminata:

$$CRR = \frac{\tau_l}{\sigma'_{v0}}$$

e può essere valutato mediante correlazioni empiriche con la resistenza penetrometrica misurata in prova dinamica (SPT) o statica (CPTu), o con indagini sismiche.

I metodi per la valutazione del CRR dai risultati di prove in sito sono applicabili nel caso di piano campagna sub-orizzontale e stati tensionali efficaci ridotti. Tuttavia, anche in assenza di tali condizioni, è possibile ottenere una stima approssimata attraverso l'introduzione di opportuni fattori correttivi.

### 5.3 SICUREZZA A LIQUEFAZIONE

La sicurezza nei confronti della liquefazione è valutata calcolando, alla profondità del dato penetrometrico, il fattore di sicurezza  $F_L = CRR / CSR$  e verificando che sia  $F_L \geq 1.25$ .

La NTC2008 non specifica un valore limite di  $F_L$ , assumendo, al paragrafo 7.11.3.4.3, che "l'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista".

Esiste un indicazione generale fornita dall' Eurocodice EC8, che definisce liquefacibile un terreno in cui lo sforzo di taglio atteso, generato dal possibile sisma, supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati. Questa nota è generalmente tradotta nella condizione:

$$CSR > 0.80 CRR$$

La condizione di sicurezza, in base a questa assunzione, sarebbe  $F_L \geq 1.25$ .

Considerata l'approssimazione insita nella definizione dei parametri caratteristici del sisma atteso e l'assunzione fatta sul massimo valore di magnitudo di progetto (ref. paragrafo 4.3.1) ci si attiene all'indicazione di EC8 come riferimento, valutando caso per caso la possibilità di assumere un margine di sicurezza meno stringente, come indicato da NTC2008.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE</b> <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>Relazione sismica</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 002	REV. B	FOGLIO 13 di 30

#### 5.4 ANALISI BASATE SU PROVE SPT

Per la valutazione del CRR dai valori corretti di  $N_{SPT}$ , è necessario calcolare il numero di colpi corretto secondo la formula  $(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$ , in cui,  $C_N = (p_a/\sigma'_{v})^{0.50} \leq 1.7$  (con  $p_a = 100\text{kPa}$ ) tiene conto dell'influenza della pressione verticale e  $C_E$  è fattore di correzione del rendimento energetico dell'attrezzatura che, per la configurazione di prova normalmente adoperata in Italia è pari ad 1;

I fattori correttivi  $C_B$  (per le dimensioni del foro di sondaggio),  $C_R$  (per la lunghezza delle aste della macchina esecutrice) e  $C_S$  (per il tipo di attrezzo campionario) sono stati assunti pari ad 1, considerando che le prove sono state eseguite sulla base delle raccomandazioni AGI (1977).

Il valore della resistenza penetrometrica normalizzata deve essere ricondotto ad un valore equivalente per sabbie pulite, secondo la formula:

$$N_{1,60\text{CS}} = N_{1,60} + \Delta N_{1,60}$$

In cui  $\Delta N_{1,60}$  è stimato con la relazione di Idriss e Boulanger (2004):

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left(1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right)$$

In cui  $FC$  è la frazione granulometrica passante al vaglio N.200 (0.075mm) espressa in percentuale e valutata sulla base delle analisi granulometriche condotte sul materiale estratto dai campioni indisturbati e rimaneggiati disponibili (in parte campionati dalla punta Raymond usata per la SPT). Se non sono disponibili valori da analisi su campione, si assume il valore caratteristico di  $FC$  per la singola unità geotecnica.

Il valore  $N_{1,60\text{CS}}$  (resistenza penetrometrica per sabbia pulita) permette di calcolare il CRR mediante la correlazione seguente:

$$CRR = \exp\left[\frac{(N_1)_{60\text{CS}}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60\text{CS}}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60\text{CS}}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60\text{CS}}}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$

rappresentata graficamente in **Figura 3**.

Relazione sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	14 di 30

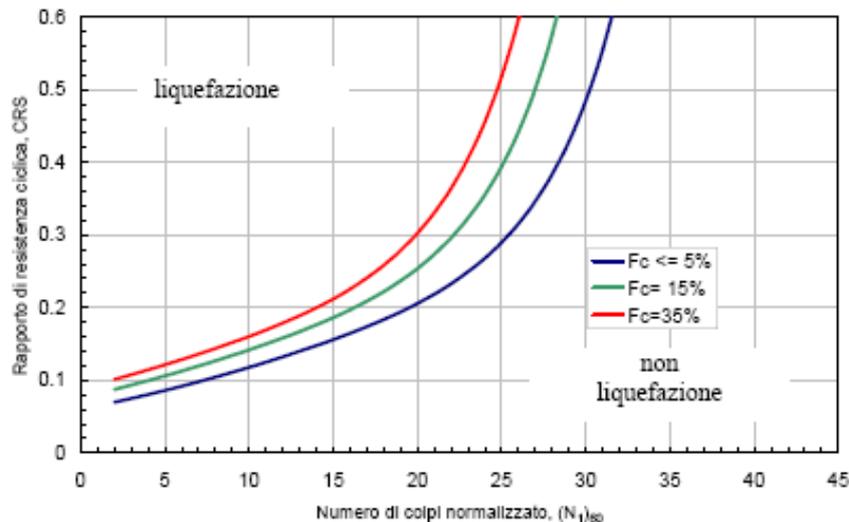


Figura 3 - Curve per il calcolo del rapporto di resistenza ciclica CRR dai risultati di prove SPT

## 5.5 ANALISI BASATE SULLE ONDE DI TAGLIO

Le verifiche a liquefazione che utilizzano le correlazioni con le velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ , non sono state ripetute in fase di progettazione esecutiva, considerata la debole affidabilità delle procedure empiriche disponibili da letteratura. In merito è stato constatato che i risultati ottenuti nella fase progettuale precedente in buona parte contrastano con quanto stimato con le metodologie basate sulle resistenze penetrometriche, che rappresentano la pratica tecnica maggiormente consolidata e verificata. Si riporta di seguito la metodologia di riferimento per completezza.

### 5.5.1 STIMA DEL CRR DAI VALORI DI VELOCITÀ $V_s$

L'utilizzo delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  per valutare la resistenza alla liquefazione si basa sul presupposto teorico che sia la velocità  $V_s$  sia la resistenza alla liquefazione CRR sono similmente influenzate da fattori quali indice dei vuoti, stato di sforzo, storia tensionale ed età geologica del deposito. La procedura di analisi prevede il calcolo della velocità  $V_s$  corretta dalla sovrappressione usando l'equazione (Robertson et al., 1992):

$$V_{s1} = V_s \cdot \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.25}$$

dove

$V_{s1}$  = velocità delle onde di taglio normalizzata rispetto alle tensioni verticali;

$V_s$  = velocità delle onde di taglio misurate in situ da prova;

$P_a$  = pressione atmosferica approssimativamente pari a 100 kPa;

$\sigma'_{v0}$  = pressione effettiva iniziale alla stessa unità di misura di  $P_a$ .

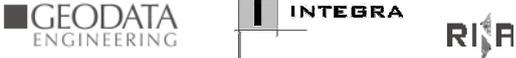
Il rapporto di resistenza ciclica CRR (ref. paragrafo 5.2) può essere ricavato da  $V_{s1}$  mediante la seguente equazione (Andrus e Stokoe, 1997):

$$CRR = \left[ a \cdot \left( \frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + b \cdot \left( \frac{1}{V_{s1}^* - V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*} \right) \right]$$

dove

$V_{s1}^*$  = limite superiore critico del valore della velocità delle onde di taglio necessario per la liquefazione

$a$  e  $b$  = valori usati per tracciare le curve pari rispettivamente a 0.022 e 2.8;

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE</b> <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>Relazione sismica</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 002	REV. B	FOGLIO 15 di 30

$V_{s1}$  = velocità delle onde di taglio normalizzata rispetto alle tensioni verticali.

I valori di  $V_{s1}^*$  variano linearmente da 200 m/s per suoli con contenuto di fine,  $FC$ , pari al 35% a 215 m/s per suoli con contenuto di fini del 5% o meno.

Il valore di  $V_{s1}^*$  è ottenuto dalla seguente formula:

$$V_{s1}^* = 215 - 0.5(FC - 5)$$

Il minimo valore di  $CRR$  è uguale a 0.033 per  $V_{s1} = 100$  m/s.

Calcolato  $CRR$ , la verifica segue quanto già illustrato al paragrafo 5.2

## 5.6 ANALISI BASATE SU PROVE CPTU

Le procedure di valutazione del rischio a liquefazione si maggiore affidabilità disponibili in letteratura si basano sui dati penetrometrici in prova statica tipo CPTU. In particolar modo la frequenza del dato di resistenza alla punta, registrato ogni 10-20cm di avanzamento del piezocono permette l'individuazione delle lenti liquefacibili di spessore decimetrico e quindi di circoscrivere lo strato liquefacibile con elevata precisione.

La procedura è descritta di seguito:

- Il valore della resistenza alla punta  $q_c$  viene ricondotto ad un valore normalizzato e corretto  $q_{c1N}$  mediante la seguente relazione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c C_N}{p_a}$$

il coefficiente  $C_N$ , che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace, è stato ricavato per via iterativa dalla relazione di Boulanger e Idriss (2004):

$$C_N = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.249(q_{c1N})^{0.264}}$$

dove  $P_a$  è la pressione atmosferica (100 kPa). Tale coefficiente non deve superare il valore di 1.7.

- il valore della resistenza penetrometrica normalizzata  $q_{c1N}$  viene riportato al valore equivalente per sabbie pulite attraverso la relazione di Idriss e Boulanger (2004):

$$q_{c1Ncs} = q_{c1N} \cdot k_c$$

$$k_c = -17,88 + 33,75 \cdot I_c - 21,63 \cdot I_c^2 + 5,581 \cdot I_c^3 - 0,403 \cdot I_c^4$$

Il parametro  $I_c$  definisce la classe di comportamento del terreno, ed implicitamente riflette il contenuto presunto di fini.

- dal valore di  $q_{c1Ncs}$  può essere ricavato il valore di resistenza alla liquefazione  $CRR$  mediante l'impiego delle curve limite che separano le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione formalizzate dalla relazione di Idriss e Boulanger (2004):

$$CRR = \exp \left[ \frac{q_{c1Ncs}}{540} + \left( \frac{q_{c1Ncs}}{67} \right)^2 - \left( \frac{q_{c1Ncs}}{80} \right)^3 + \left( \frac{q_{c1Ncs}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

Per il calcolo di  $CRR$  si è considerato il livello di falda indicato negli elaborati grafici del profilo geotecnico [E.1].

La sicurezza nei confronti della liquefazione è stata valutata, alla profondità del dato penetrometrico calcolando il rapporto  $F_L$  (ref. paragrafo 5.4)

Il metodo di analisi tiene conto del contenuto di fini mediante il parametro  $I_c$ , indice di classe di comportamento meccanico da CPT, definito dalla relazione:

$$I_c = \left[ (3,47 - \log(Q))^2 + (1,22 + \log(F))^2 \right]^{0,5}$$

dove:

**Relazione sismica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	16 di 30

$$Q = \left( \frac{q_c - \sigma_{vc}}{P_a} \right) \cdot \left( \frac{P_a}{\sigma'_{vc}} \right)^n$$

$$F = \left( \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vc}} \right) \cdot 100\%$$

dove  $P_a$  è la pressione atmosferica.

Maggiore è il valore di  $I_c$ , maggiore il contenuto presunto di fini. Nell'analisi un valore di  $I_c = 2.6$  distingue i terreni con contenuto di fini inferiore a 35% e comportamento equivalente a quello delle sabbie dai terreni con contenuto di fini superiore a 35% e comportamento equivalente a quello delle argille. È necessario specificare che correlazione tra  $I_c$  e il contenuto di fini presenta una forte dispersione; l'effettiva transizione tra le due modalità di comportamento equivalente può avvenire anche a valori di  $I_c < 2.6$  (terreni con contenuto di fini superiore a 35% possono essere suscettibili alla liquefazione con comportamento analogo a quello delle sabbie, se i fini sono non plastici o di bassissima plasticità).

## 6. CONSEGUENZE DELLA LIQUEFAZIONE

Le conseguenze dirette della liquefazione sono:

1. Riduzione della resistenza a taglio, con resistenza disponibile post-liquefazione pari a quella residua del terreno;
2. Cedimenti dovuti alla consolidazione post liquefazione;
3. Riduzione o perdita della capacità ultima dei pali che attraversano strati potenzialmente liquefacibili.

Di seguito sono stati sviluppati i primi due punti, a completamento delle analisi del rischio di potenziale liquefazione. Per le verifiche che afferiscono al punto 3 si rimanda alle relazioni specialistiche.

La riduzione di resistenza a seguito della liquefazione comporta la necessità di verificare la stabilità delle scarpate di rilevati e trincee e la capacità ultima a carico limite dei rilevati, allo SLU. Le verifiche sono state sviluppate nella *Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee* (IF2612EZZRHTR0000002A).

La stima del cedimento post-liquefazione, sviluppata di seguito, permette la verifica del rispetto dei limiti funzionali associati sia all'infrastruttura ferroviaria, sia alle strutture annesse (verifiche SLE). Per l'infrastruttura ferroviaria, il limite tecnico di funzionamento è pari a 5cm ([N.4]). Per le verifiche inerenti le strutture annesse si rimanda alle relazioni specifiche.

### 6.1 RESISTENZA RESIDUA POST LIQUEFAZIONE

La resistenza a taglio residua delle formazioni liquefacibili individuate dall'analisi del rischio, è stimabile sulla base delle correlazione empiriche tra la resistenza residua, normalizzata rispetto alla pressione litostatica verticale efficace,  $S_r/\sigma'_{vo}$ , e la resistenza penetrometrica in prova dinamica (SPT) e/o in prova statica (CPTU). La stima del rapporto  $S_r/\sigma'_{vo}$  consente di valutare

$$\tan \phi'_{res} \leq \tan \phi'$$

da cui si calcola  $\phi'_{res}$ .

#### 6.1.1 CORRELAZIONI CON SPT

La correlazione con la resistenza SPT prevede la valutazione iniziale del numero di colpi corretto,  $(N1)_{60 CS-Sr}$ , definito come segue:

**Relazione sismica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	17 di 30

$$(N1)_{60\text{ CS-Sr}} = (N1)_{60} + \Delta(N1)_{60, \text{CS-Sr}}$$

in cui  $\Delta(N1)_{60, \text{CS-Sr}}$ , rappresenta l'incremento per la definizione del valore di resistenza equivalente ricavato per sabbie pulite.

$\Delta(N1)_{60, \text{CS-Sr}}$  è correlato al contenuto di fine, FC, (percentuale di passante allo staccio N.200) secondo quanto riportato nella seguente tabella (Seed, 1987)

Fines content (% passing No. 200 sieve)	$\Delta(N1)_{60-Sr}$
10	1
25	2
50	4
75	5

La resistenza residua normalizzata è data dalla seguente formula (Seed, 1987 – Idriss Boulanger, 2007):

$$\frac{S_r}{\sigma'_{vo}} = \exp \left( \frac{(N1)_{60\text{cs-Sr}}}{16} + \left( \frac{(N1)_{60\text{cs-Sr}} - 16}{21.2} \right)^3 - 3.0 \right) \times \left( 1 + \exp \left( \frac{(N1)_{60\text{cs-Sr}}}{2.4} - 6.6 \right) \right) \leq \tan \phi'$$

rappresentativa dei casi in cui le sovrappressioni interstiziali indotte dal sisma possono dissiparsi per filtrazione, nella fase post-liquefazione, perché lo strato liquefacibile non è confinato tra strati di terreni a bassa permeabilità. Si tratta, quindi, della condizione generalmente verificata nell'ambito del tracciato di progetto.

**6.1.2 CORRELAZIONI CON CPTU**

La correlazione con la resistenza penetrometrica CPTU, si basa sempre sulla stima del valore di resistenza equivalente per sabbie pulite (Seed, 1987):

$$q_{c1N\text{ cs-Sr}} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N\text{ cs-Sr}}$$

dove,

- $q_{c1N}$  è la resistenza alla punta normalizzata rispetto alla pressione litostatica agente in sito (indicata con  $Q_{in}$  nella relazione geotecnica generale E.2, qui riportata con la simbologia usata da Seed, 1987, per coerenza con quanto indicato per la correlazione con  $N_{SPT}$ );
- $\Delta q_{c1N\text{ cs-Sr}}$  la correzione per definire la resistenza equivalente per sabbie pulite, definita in funzione di FC, come indicato nella seguente tabella:

Fines content (% passing No. 200 sieve)	$\Delta q_{c1N-Sr}$
10	10
25	25
50	45
75	55

La correlazione è espressa come segue (Seed, 1987 – Idriss Boulanger, 2007):

$$\frac{S_r}{\sigma'_{vo}} = \exp \left( \frac{q_{c1N\text{cs-Sr}}}{24.5} - \left( \frac{q_{c1N\text{cs-Sr}}}{61.7} \right)^2 + \left( \frac{q_{c1N\text{cs-Sr}}}{106} \right)^3 - 4.42 \right) \times \left( 1 + \exp \left( \frac{q_{c1N\text{cs-Sr}}}{11.1} - 9.82 \right) \right) \leq \tan \phi'$$

rappresentativa sempre dei casi in cui le condizioni stratigrafiche consentono la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali indotte dal sisma.

Relazione sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	18 di 30

## 6.2 STIMA DEI CEDIMENTI POST-LIQUEFAZIONE

La stima dei cedimenti dovuti alla consolidazione post-liquefazione si basa su correlazioni empiriche con la resistenza penetrometrica SPT, o CPTU.

La procedura di valutazione è quella proposta da Idriss e Boulanger (2008) sulla base delle relazioni inizialmente sviluppate da Ishihara e Yoshimine (1992) osservando che le deformazioni volumetriche  $\varepsilon_v$ , che hanno luogo durante la ri-consolidazione post-liquefazione dei campioni di sabbia sono correlabili direttamente alle deformazioni di taglio massime sopportate dal campione durante lo scuotimento (carico ciclico non drenato)  $\gamma_{max}$  e alla densità relativa  $D_R$  del campione. Le deformazioni di taglio massime durante lo scuotimento sono a loro volta correlabili al coefficiente di sicurezza alla liquefazione e alla densità relativa del terreno.

Le correlazioni per la stima del cedimento post-liquefazione sono:

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp\left(2.551 - 1.147(q_{c1Ncs})^{0.264}\right) \cdot \min(0.08; \gamma_{max})$$

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp\left(-0.369 \cdot ((N_1)_{60cs})^{0.5}\right) \cdot \min(0.08; \gamma_{max}) \quad (2)$$

dove

per  $FL \geq 2$   $\gamma_{max} = 0$ ; per  $FL \leq F_\alpha$   $\gamma_{max} = \gamma_{lim}$  e per  $F_\alpha > FL > 2$ ,  $\gamma_{max}$  è dato dalla seguente espressione:

$$\gamma_{max} = \min\left(\gamma_{lim}; 0.035(2 - FL) \left(\frac{1 - F_\alpha}{FL - F_\alpha}\right)\right)$$

In cui la variabile funzionale  $F_\alpha$  è calcolata come segue, in funzione della resistenza penetrometrica dinamica corretta  $(N_1)_{60cs}$  e statica corretta,  $q_{c1Ncs}$ , definite ai precedenti paragrafi 5.4 e 5.6:

$$F_\alpha = -11.74 + 8.34(q_{c1Ncs})^{0.264} - 1.371(q_{c1Ncs})^{0.528} \quad (1)$$

$$F_\alpha = 0.032 + 0.69 \cdot ((N_1)_{60cs})^{0.5} - 0.13 \cdot (N_1)_{60cs} \quad (2)$$

$$\gamma_{lim} = 1.859(2.163 - 0.478(q_{c1Ncs})^{0.264})^3 \geq 0 \quad (1)$$

$$\gamma_{lim} = 1.859 \left(1,1 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{46}\right)^{0.5}\right)^3 \geq 0 \quad (2)$$

## 6.3 RISULTATI DELLE ANALISI A LIQUEFAZIONE

### 6.3.1 ZONAZIONE PREGRESSA

In fase di progettazione definitiva il tracciato era stato suddiviso in 3 zone potenzialmente liquefacibili.

La zonazione pregressa, riportata in **Tabella 1**, con indicazione dell'estensione delle zone e delle verticali di indagine (SPT, CPTU) che ne hanno consentito l'individuazione, è stata confermata dalle analisi integrative. Gli interventi di attenuazione, già previsti nella fase progettuale precedente, sono stati verificati ed ottimizzati.

ZONA	da pk	a pk	Estensione	SONDAGGI E PROVE IN SITU DI RIFERIMENTO
	[km]	[km]	[m]	
A	21+050	21+900	850	D6bis, IF15P08, CPTU03, CPTU04
B	25+220	25+784	564	IF15R55, CPTU05
C	26+450	27+700	1250	IF15S09, IF15R10

Tabella 1 - Zone a rischio liquefazione da progetto definitivo (PD)

Relazione sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	19 di 30

Di seguito si descrivono i risultati delle analisi pregresse ed integrative condotte sui dati delle prove penetrometriche dinamiche (SPT) e statiche (CPTU) che hanno permesso di definire gli ambiti di intervento per la riduzione del rischio liquefazione.

In fase di progettazione esecutiva non sono state integrate le verifiche basate sulle prove dinamiche in sito, considerata la debole affidabilità dei risultati ottenibili.

### 6.3.2 RISULTATI DELLE ANALISI SU PROVE SPT PREGRESSE

I risultati delle analisi sviluppate in fase di progettazione definitiva sui dati SPT sono elencati nelle seguenti **Tabella 2** e **Tabella 3** riferite, rispettivamente, alle zone sismiche S1 ed S2 (paragrafo 4.3), in cui ricadono i sondaggi esaminati.

Le analisi mostrano che gli strati potenzialmente liquefacibili ( $FL \leq 1$ ) appartengono essenzialmente alle formazioni sabbioso limose delle alluvioni recenti, ba2, ed antiche, bc2.

Sond.	wl	$\gamma$	Unità	z	Nspt	FC	$\sigma_v$	u	$\sigma_v$	$C_N$	Erm	$C_E$	$C_B$	$C_R$	$C_S$	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	CRR	rd	CSR	$(CSR)_M$	FSL
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[m]	[-]	[%]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
IF15V01	0.8	19.0	ba2	3.00	8	51	57	22	35	1.59	60	1.00	1.0	1.0	1.0	12.71	27.33	0.36	0.98	0.27	0.24	1.51
IF15P08	3.0	19.0	bc2	5.50	10	26	105	25	79	1.12	60	1.0	1.0	1.0	1.0	11.2	16.4	1.68E-01	0.94	0.22	0.20	0.86
IF15R52	6.0	19.0	ba2	6.00	26	40	114	0	114	0.94	60	1.0	1.0	1.0	1.0	24.4	24.35	2.75E-01	0.93	0.17	0.15	1.87
IF15R54	3.3	19.0	bc2	4.40	29	80	84	11	73	1.17	60	1.0	1.0	1.0	1.0	34.0	34.04	9.15E-01	0.96	0.20	0.17	5.26
IF15R54	3.3	19.0	bc3	6.00	35	26	114	27	87	1.07	60	1.0	1.0	1.0	1.0	37.5	37.52	2.00E+00	0.93	0.22	0.19	10.36
S126	4.0	19.0	bc2	6.00	27	26	114	20	94	1.03	60	1.0	1.0	1.0	1.0	27.8	27.85	3.77E-01	0.93	0.20	0.18	2.11
D6his	4.0	19.0	bc2	5.00	7	26	95	10	85	1.08	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.6	7.6	1.02E-01	0.95	0.19	0.17	0.61
PNIF32V02	2.0	19.0	ba2	5.00	25	15	95	31	65	1.25	60	1.0	1.0	1.0	1.0	31.1	31.13	5.65E-01	0.95	0.25	0.22	2.56

Tabella 2 - Verifica a liquefazione, zona sismica S1 (PD)

Sond.	wl	$\gamma$	Unità	z	Nspt	FC	$\sigma_v$	u	$\sigma_v$	$C_N$	Erm	$C_E$	$C_B$	$C_R$	$C_S$	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	CRR	rd	CSR	$(CSR)_M$	FSL
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[m]	[-]	[%]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
IF15R55	0.0	19.0	ba2	1.5	8	69	28.5	15.0	13.5	1.7	60	1.0	1.0	1.0	1.0	13.6	13.6	1.45E-01	0.99	0.44	0.39	0.37
IF15R55	0.0	19.0	ba2	3.0	10	34	57.0	30.0	27.0	1.7	60	1.0	1.0	1.0	1.0	17.0	17.0	1.74E-01	0.98	0.43	0.38	0.45
PNIF52V12	0.0	19.0	ba2	4.0	36	15	76	40	36	1.67	60	1.0	1.0	1.0	1.0	60.0	60.0	1.31E+07	0.96	0.43	0.38	3.45E+07
PNIF52V12	0.0	19.0	ba2	9.0	30	15	171	90	81	1.11	60	1.0	1.0	1.0	1.0	33.3	33.3	8.04E-01	0.88	0.39	0.35	2.3
IF15S09	4.1	19.0	bc2	7.0	4	26	133	29	104	0.98	60	1.0	1.0	1.0	1.0	3.9	3.9	8.01E-02	0.92	0.25	0.22	0.37
IF15R10	3.8	19.0	bc2	12.0	12	38	228	82	146	0.83	60	1.0	1.0	1.0	1.0	9.9	9.9	1.18E-01	0.83	0.27	0.24	0.49
IF15R10	3.8	19.0	bc2	15.0	8	38	285	112	173	0.76	60	1.0	1.0	1.0	1.0	6.1	6.1	9.25E-02	0.78	0.27	0.24	0.39
S131	4.0	19.0	bc2	6.0	30	26	114	20	94	1.03	60	1.0	1.0	1.0	1.0	30.9	30.9	5.51E-01	0.93	0.24	0.21	2.61

Tabella 3 - Verifica a liquefazione, zona sismica S2 (PD)

Come specificato in [D.1], il contenuto di fine è pari al valore di laboratorio quando disponibile, o al valore medio per l'unità in esame, calcolato su tutti i campioni della tratta Frasso-Vitulano. Nello specifico, per l'unità ba2 si ha  $FC_{medio} = 34\%$  e per l'unità bc2  $FC_M = 26\%$ ; fanno eccezione: il sondaggio IF15V01, in cui si dispone del dato di laboratorio da campione indisturbato prelevato a -4.00m di profondità ( $FC = 51\%$ ) ed il sondaggio IF15R55, con un campione rimaneggiato prelevato a -1.50m di profondità ( $FC=69\%$ ).

### 6.3.3 RISULTATI DELLE ANALISI SU PROVE SPT DA SONDEGGI INTEGRATIVI

I risultati delle analisi pregresse sono stati integrati con quelli ottenuti dalle misure di resistenza SPT eseguite sistematicamente, ad intervalli di profondità di 3.00m, in tutti i sondaggi integrativi previsti in fase di progettazione esecutiva. I risultati sono riportati in **Tabella 4** e confermano la potenziale liquefacibilità delle formazioni alluvionali superficiali ba2 e bc2.

I valori di SPT dei sondaggi pregressi (IF15P08, IF15R55, IF15S09 ed IF15R10) che intercettano le formazioni potenzialmente liquefacibili sono stati utilizzati per ricalcolare il cedimento post liquefazione corrispondente, utilizzando gli spessori degli strati definiti dal modello geotecnico aggiornato [E.1]

In **Tabella 4** la distinzione tra le due zone sismiche di suddivisione del tracciato (S1 ed S2) è evidente nei diversi valori dell'accelerazione massima di calcolo: 0.36g per i sondaggi ricadenti nella zona S1 e 0.40g per quelli in S2. Il valore di accelerazione massima per la verifica in corrispondenza del sondaggio S-PE13, in corrispondenza del manufatto a farfalla del viadotto VI05, riflette le assunzioni progettuali esplicitate nel precedente paragrafo 4.3.

**Relazione sismica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	20 di 30

Come già indicato, la soggiacenza di falda di riferimento è quella riportata nel profilo geotecnico di progetto esecutivo [E.1], che rappresenta il livello massimo (ref. [E.3])

In **Tabella 4** sono riportati anche i valori di resistenza residua normalizzata ( $S_r/\sigma'_v$ ) ed il corrispondente valore dell'angolo di resistenza a taglio residua.

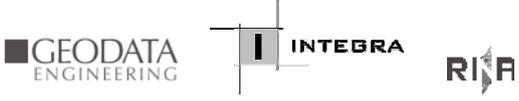
ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO

Relazione sismica

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IF26 12 E ZZ RG GE0001 002 B 21 di 30

Sondaggio	Fase di progettazione	Profondità	Spessore dello strato di riferimento	Litologia	Numero di colpi misurato	Soggiacenza di falda	Peso unitario naturale	Pressione vert. efficace	Numero di colpi corretto	Pressione vert totale	Coeff. di variazione delle tensioni con la profondità	Accelerazione max in superficie	Rapporto di sollecitazione ciclica	Passante al 0,0075mm	Numero di colpi corretto, per sabbia pulita	Magnitudo momento	Fattore di correzione per magnitudo M < 7,5	Rapporto di resistenza ciclica corretto per FC	Fattore di sicurezza a liquefazione	Cedimento post liquefazione, singolo strato	Cedimento post liquefazione, in superficie	Correzione per resistenza residua della sabbia pulita e FC	Numero di colpi corretto, per resistenza residua della sabbia pulita	Resistenza residua normalizzata sulla pressione efficace litostatica	Angolo di resistenza a taglio residuo (post-liq.)
ID		z	dz	ID	Nspt	z <sub>f</sub>	γ <sub>n</sub>	σ <sub>vo</sub> '	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	σ <sub>vo</sub>	r <sub>d</sub>	a <sub>max</sub> /g	CSR	FC	(N <sub>1</sub> ) <sub>60,cs</sub>	M	MSF	CCR <sub>7,5</sub>	FL	S <sub>L,i</sub>	S <sub>L</sub>	Δ(N1) <sub>60,cs-Sr</sub>	(N1) <sub>60,cs-Sr</sub>	Sr / σ <sub>vo</sub> '	φ <sub>res</sub>
		[m]	[m]			[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]		[kN/m <sup>2</sup> ]				[%]											[°]
S-PE13	PE	6	3	bc2	4	5	20	102	4	117	0,933	0,40	0,278	70	10	7,06	1,12	0,116	0,47	11	11	5	8,9	0,089	5
S-PE15	PE	4	0,15	bc2	14	3	20	64	14	68	0,969	0,36	0,241	5	14	7,06	1,12	0,148	0,69	0,5	5	1	15,0	0,217	12
S-PE15	PE	6	0,45	bc2	3	3	20	92	3	120	0,933	0,36	0,286	5	3	7,06	1,12	0,075	0,29	2,8	5	1	4,0	0,054	3
S-PE15	PE	9	0,30	bc2/bc3	3	3	20	118	3	176	0,884	0,36	0,309	5	3	7,06	1,12	0,074	0,27	2,0	5	1	3,7	0,052	3
S-PE20	PE	6	2	bc2/bc3	5	5,6	20	116	5	120	0,933	0,40	0,250	50	11	7,06	1,12	0,122	0,55	7	7	4	8,6	0,086	5
S-PE21	PE	10	3	bc2	13	5,3	20	144	11	185	0,875	0,40	0,294	59	18	7,06	1,12	0,181	0,69	8	8	5	15,6	0,253	14
S-PE24	PE	3	1,0	ba2	2	0,8	20	137	2	159	0,975	0,40	0,293	68	7	7,06	1,12	0,098	0,38	5	11	5	6,7	0,071	4
S-PE24	PE	6	2,5	ba2	15	0,8	20	134	13	185	0,933	0,40	0,335	22	18	7,06	1,12	0,181	0,61	6	11	2	15,0	0,217	12
S-PE25	PE	6	1,0	bc2	9	4,0	20	97	9	117	0,933	0,40	0,292	50	16	7,06	1,12	0,163	0,63	3	13	4	13,0	0,146	8
S-PE25	PE	9	1,5	bc3/bc2	6	4,0	20	126	5	176	0,884	0,40	0,319	87	11	7,06	1,12	0,127	0,45	5	13	6	11,3	0,115	7
S-PE25	PE	12	1,5	bc3/bc2	8	4,0	20	156	6	234	0,831	0,40	0,325	87	12	7,06	1,12	0,136	0,47	5	13	6	12,5	0,135	8
D6bis	PD	5	2	bc2	7	4	20	95	7	100	0,948	0,40	0,261	26	12	7,06	1,12	0,134	0,58	7	7	4	11,0	0,111	6
IF15P08	PD	6	1	bc2	10	4	20	93	10	110	0,941	0,40	0,288	26	16	7,06	1,12	0,161	0,63	4	4	4	14,0	0,175	10
IF15R55	PD	2	1	ba2	8	1	20	20	8	30	0,993	0,40	0,383	69	15	7,06	1,12	0,153	0,45	2	13	5	13,0	0,146	8
IF15R55	PD	3	4	ba2	10	1	20	35	10	60	0,975	0,40	0,429	35	17	7,06	1,12	0,174	0,46	10	13	4	14,0	0,175	10
IF15S09	PD	7	3	bc2	4	6	20	126	4	140	0,917	0,40	0,264	53	9	7,06	1,12	0,113	0,48	12	12	5	8,5	0,085	5
IF15R10	PD	12	2	bc2	12	6	20	179	9	240	0,831	0,40	0,289	50	15	7,06	1,12	0,159	0,62	6	9	4	12,7	0,138	8
IF15R10	PD	15	1	bc2	8	6	20	210	5	300	0,777	0,40	0,289	50	11	7,06	1,12	0,128	0,50	3	9	4	9,3	0,092	5

Tabella 4 - Quadro di sintesi delle verifiche a liquefazione sui dati SPT integrativi (PE) e pregressi (PE)

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE</b> <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Relazione sismica</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>GE0001 002</td> <td>B</td> <td>22 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	22 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	22 di 30								

I risultati delle analisi integrative su SPT confermano la zonazione indicata in **Tabella 1**.

Nella **zona A**, ricadono i sondaggi SPE13 ed SPE15 associati, rispettivamente, al manufatto a farfalla del viadotto VI05 e alla spalla sud del viadotto VI06. Nel primo caso la presenza di una lente sabbiosa liquefacibile era stata già evidenziata nel progetto definitivo, nel sondaggio D6bis, a profondità compresa tra 4.95 - 5.65m dal piano campagna. L'indagine integrativa ha permesso di individuare un corpo sabbioso liquefacibile di spessore 3.00m, che si estende tra 4.00 e 7.00m di profondità in coerenza con la stratigrafia di sondaggio. **Il cedimento associato è stimato pari a 11cm** sulla base della SPT corrispondente.

Nel caso del viadotto VI06 la liquefazione interessa gli strati sabbiosi a profondità di 4.00, 6.00 e 9.00m dal piano campagna. Per la stima del cedimento post-liquefazione, data l'incertezza nell'individuazione degli spessori liquefacibili sulla base della sola stratigrafia di sondaggio, sono stati utilizzati quelli definiti dai risultati delle CPTU\_PE02 e CPTU\_PE03, eseguite nelle vicinanze della verticale SPE15. Come specificato al paragrafo 5.6 il passo di misurazione della CPTU permette di individuare con precisione centimetrica lo spessore delle lenti sabbiose liquefacibili. Verificato che i valori di deformazione volumetrica percentuale ottenuti tramite CPTU ed SPT sono simili, il cedimento cumulato stimato è di circa 5.00cm, minore della prescrizione di capitolato.

Nella **zona B** si in corrispondenza del sondaggio SPE24 si conferma la liquefacibilità dello strato superficiale sabbioso (unità ba2) su cui poggia il rilevato d'approccio alla spalla SUD del viadotto VI07, con uno spessore liquefacibile di 3.5 – 4.00m desunto dalla stratigrafia di sondaggio. Lo spessore è coerente con quello individuato, nella fase progettuale precedente, sulla base della CPTU05. **Il cedimento post liquefazione stimato sulla base dei dati SPT e dello spessore di stratigrafia è di 11cm**, non compatibile col limite di funzionamento dell'infrastruttura. Le verticali d'indagine della CPTU\_PE04, SPE4bis, così come IF15R55, individuano la formazione potenzialmente liquefacibile ba2 ad una profondità compresa tra 0.5 e 5m dal piano campagna. L'analisi sui dati SPT del sondaggio IF15R55 indica un cedimento post liquefazione di 6cm. Tuttavia, si deve considerare che non è stata eseguita una stima di dettaglio degli spessori degli strati liquefacibili in asse al tracciato considerato il fuori asse elevato dei sondaggi citati (compreso tra 45 e 79m) dovuto a difficoltà operative incontrate in fase d'esecuzione. Si è ritenuto pertanto, a favore di sicurezza, di dover estendere la tratta a potenziale liquefacibilità tra le pk 25+200 e 25+750, confermando quanto già previsto nella fase progettuale precedente.

Nella **zona C**, in cui ricadono i sondaggi SPE20, SPE21 ed SPE25, si conferma la potenziale liquefacibilità della formazione bc2 estendendola di fatto dalla pk 26+300 alla pk 27+700. Gli spessori degli strati liquefacibili sono stati assegnati in base al riscontro stratigrafico di sondaggio. **I cedimenti post liquefazione sono pari a 7, 8 e 13 cm**, stimati, rispettivamente sulla verticale SPE20, SPE21 ed SPE25.

I pali delle fondazioni delle pile 3, 14, 15, 16, 17 e 18 del viadotto VI05 e quelle della spalla sud del viadotto VI07 attraversano strati di spessore variabile da 1.5 a 2.7m nelle porzioni sotto falda delle sabbie dell'unità alluvionale ba2. Tuttavia, per queste fondazioni, è previsto che lo scavo per il raggiungimento della quota di testa palo sia effettuato previa realizzazione di un isolamento idraulico con tappo di fondo e corona in jet-grouting. Il tappo di fondo è spinto ad una profondità tale da saturare di malta l'intero spessore liquefacibile, annullando, di fatto, l'esposizione dei pali e, di conseguenza, il rischio connesso. Pertanto, le verifiche che seguono, non includono i manufatti citati.

  	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE</b> <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Relazione sismica</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF26</td> <td style="text-align: center;">12 E ZZ</td> <td style="text-align: center;">RG</td> <td style="text-align: center;">GE0001 002</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">23 di 30</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	23 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	23 di 30								

### 6.3.4 RESISTENZA RESIDUA DA PROVE SPT

I valori di  $S_r/\sigma'_v$  ottenuti da correlazione con SPT variano negli intervalli riportati in **Tabella 5**:

ZONA	da $pk$ [km]	a $pk$ [km]	SPT DI RIFERIMENTO	UG	$S_r / \sigma'_v$ ( $\tan \phi'_{res}$ )	$\phi'_{res}$
A	21+050	21+900	D6bis, IF15P08 (PD); SPE13, SPE15 (PE).	bc2	0.05 – 0.22	3 - 12
B	25+220	25+784	IF15R55, (PD); SPE24 (PE).	ba2	0.07 - 0.22	4 - 12
C	26+350	27+700	IF15S09, IF15R10 (PD); SPE20, SPE21. SPE25, (PE).	bc2	0.07 - 0.15	4 - 14

**Tabella 5 - Resistenza residua post-liquefazione da SPT**

### 6.3.5 RISULTATI DELLE ANALISI SU PROVE CPTU PREGRESSE

In fase di progettazione definitiva sono state eseguite 5 prove CPTU01÷CPTU05. La prova CPTU02 si è interrotta praticamente entro il primo metro, nella formazione delle coltri eluvio colluviali. La CPTU1 è stata eseguita nella zona del rilevato RI05 dove sono stati rinvenuti depositi alluvionali di spessore circa 7m e la facies sabbiosa del tufo grigio campano (TGC2); nei depositi alluvionali i valori della resistenza penetrometrica varia tra 3 e 5 MPa nei primi 1.5 m di profondità da p.c. (unità ba2) e tra 0.5 e 3 MPa fino a circa 7 m (unità ba3); entrando nelle sabbie piroclastiche la resistenza si attesta su 7 MPa. Nell'ambito dei depositi alluvionali non si evidenziano problemi di liquefazione.

Le prove CPTU03 e CPTU04 sono state eseguite in corrispondenza dei rilevati RI11 e RI12, dove anche l'interpretazione delle prove SPT ha indicato lenti sabbiose alluvionali potenzialmente liquefacibili. L'interpretazione delle due prove CPTU (**Figura 4**) conferma la presenza di locali lenti potenzialmente liquefacibili, in particolare:

- CPTU03: spessore 0.40 m intorno alle profondità di 5 e 7 m con un indice di potenziale liquefazione  $IPL=0.67$  quindi rischio molto basso;
- CPTU04: spessore 0.30 m intorno alle profondità di 4 e 7 m con un indice di potenziale liquefazione  $IPL=1.44$  quindi rischio molto basso.

La prova CPTU05 è stata eseguita nella zona del rilevato RI16 prima del viadotto VI07 e interessa interamente le alluvioni recenti ba2, andando a rifiuto nelle ghiaie.

L'interpretazione dei dati riportata in **Figura 5** indica uno spessore di terreno potenzialmente liquefacibile di 3 m circa da p.c. fino a 4.8 m di profondità con indice di potenziale liquefazione  $IPL=18.75$  (rischio alto).

Relazione sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	24 di 30

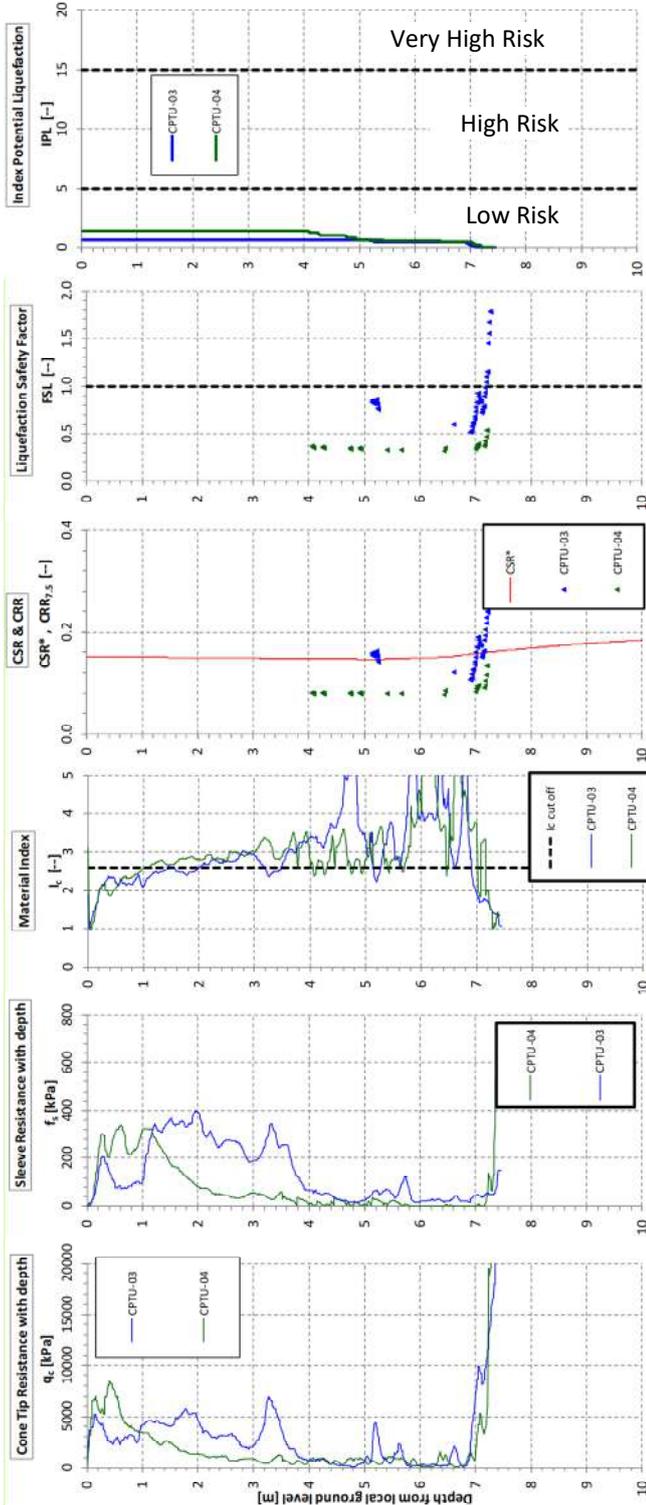


Figura 4– CPTU03, CPTU04

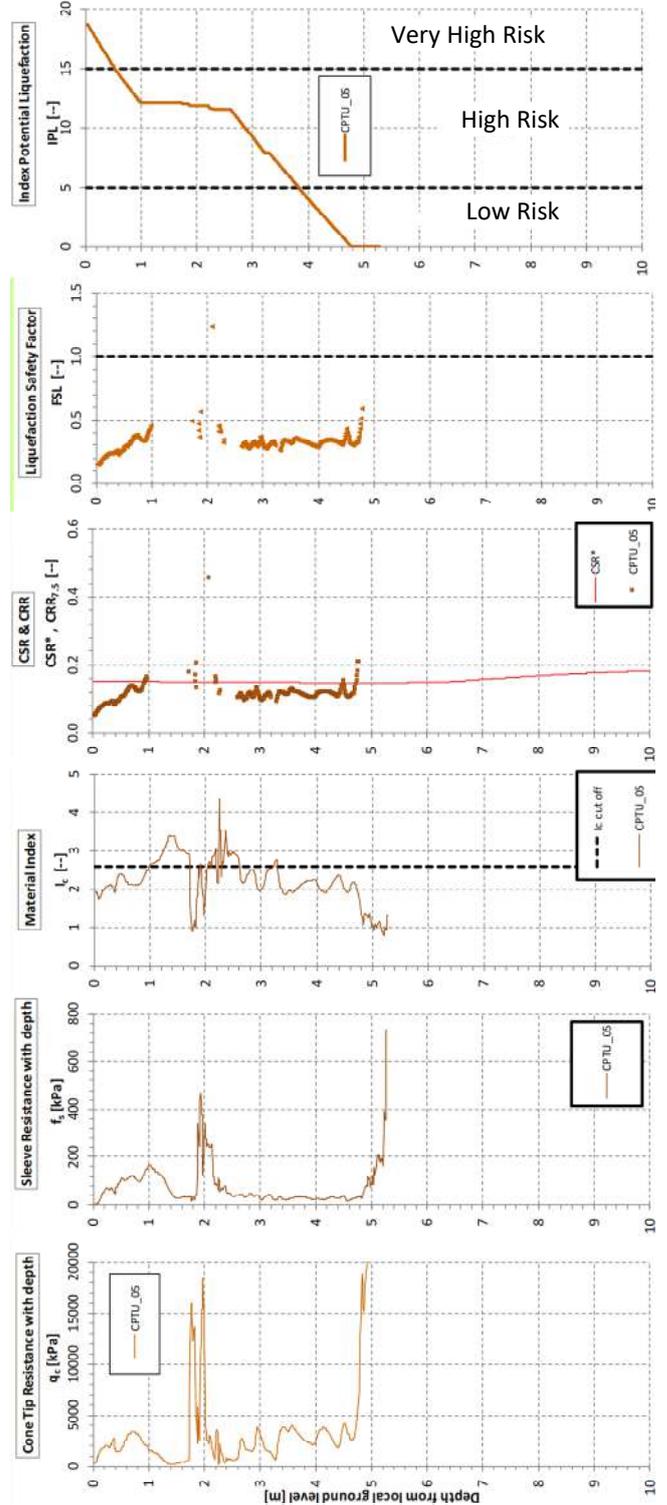
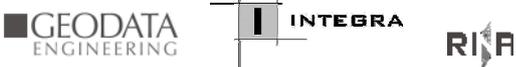


Figura 5 – CPTU05

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Relazione sismica</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>GE0001 002</td> <td>B</td> <td>25 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	25 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	25 di 30								

### 6.3.6 RISULTATI DELLE ANALISI SU PROVE CPTU INTEGRATIVE

A supporto della progettazione esecutiva sono state realizzate 12 prove CPTU integrative (CPTU\_PE01 ÷ CPTU\_PE10, e le CPTU\_PE3bis e 4bis)

Parte di esse sono state escluse dall'analisi a liquefazione per i motivi indicati di seguito:

- le CPTU\_PE3bis e 4bis, sono state eseguite con pre-foro di 14m, allo scopo preciso di avere dati di resistenza utili alla caratterizzazione della formazione argillosa profonda MDL3 nell'ambito della galleria artificiale GA02;
- la CPTU\_PE4bis ha dato rifiuto a -1.50m di profondità dove presumibilmente ha intercettato le ghiaie della formazione ba1;
- la CPTU\_PE07 che, eseguita con un fuori asse di 31.6m a causa dell'impossibilità di raggiungere la posizione richiesta, ha intercettato la sequenza alluvionale recente ba2/ba3, non presente in asse al tracciato;
- le CPTU\_PE05 e 06 perché fuori falda.

Le restanti prove sono state analizzate secondo la procedura di riferimento descritta al precedente paragrafo 5.6. I risultati sono rappresentati nella seguente **Figura 6**.

La CPTU-PE01 attraversa l'unità prevalentemente argilloso limosa bc3 nella zona A, ed è rappresentativa del sottosuolo della tratta in rilevato compresa tra le pk 21+250 – 21+850. La CPTU individua uno strato a comportamento (SBT) associabile ad una sabbia, a profondità di circa 6.5m, con spessore decimetrico, indicandolo come potenzialmente liquefacibile, ma con rischio di potenziale liquefazione molto basso.

La CPTU-PE8 individua una sequenza di strati potenzialmente liquefacibili di spessore decimetrico tra le profondità sotto falda comprese tra 4.50 e 7.50m dal piano campagna, associabili all'unità geotecnica bc2. L'indice di potenziale liquefazione indica un rischio medio basso. Il cedimento post liquefazione calcolato è di circa 4cm, compatibile col limite imposto dal capitolato.

In prossimità del viadotto VI06, e del sondaggio SPE15, le CPTUPE02 e CPTUPE03 individuano una serie di strati liquefacibili sempre di spessore decimetrico a profondità comprese tra 3.00 e 5.00m, 6.00 e 7.00m e 9.00m dal piano campagna. Il rischio associato è medio basso. Il cedimento massimo in superficie stimato è di circa 3.5cm. Gli spessori degli strati liquefacibili intercettati dalle CPTUPE02 e 03 sono stati utilizzati per il calcolo del cedimento risultante in superficie da SPT (ref TABELLA 4, S-PE15).

La CPTU-PE09, individua una sequenza di strati potenzialmente liquefacibili tra le profondità comprese tra 2.00 e 7.00m e tra 9.00 e 10.00m dal piano campagna. Il rischio associato è medio alto. Il cedimento post liquefazione al piano campagna è di 5.6cm, a rigore non compatibile col limite di funzionamento dell'infrastruttura.

I risultati delle CPTU confermano il rischio per le zone A e C. In particolar modo, la zona C risulta essere associata ad un rischio medio alto con cedimento stimati pari a 5.6, valore incompatibile sia col limite tecnico di funzionamento dell'infrastruttura, sia col valore limite del cedimento differenziale associabile alle strutture annesse alla linea ferroviaria, inclusa la stazione Telese.

Relazione sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	26 di 30

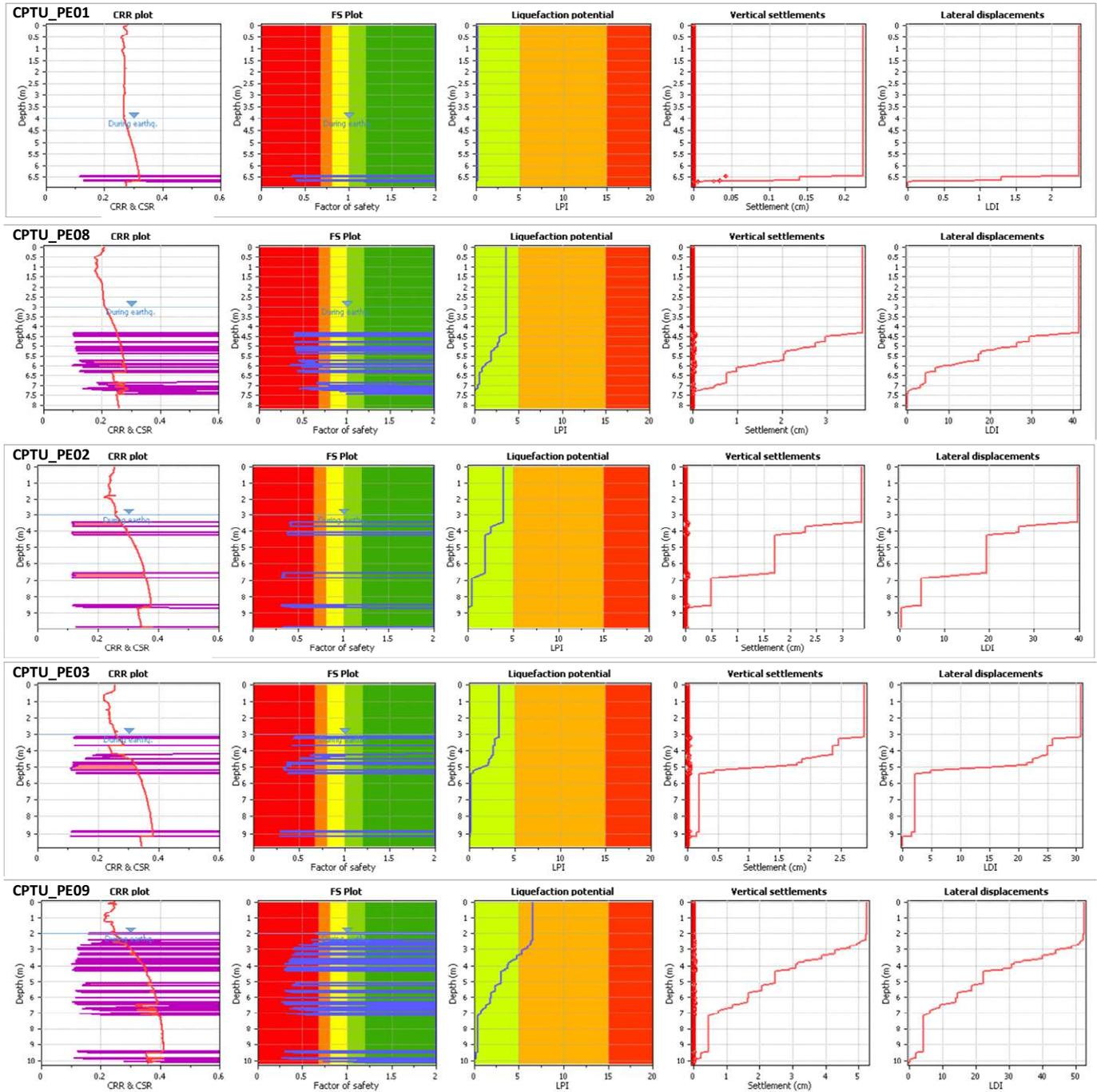


Figura 6 - Risultati delle verifiche eseguite sulle CPTU integrative valide

Relazione sismica

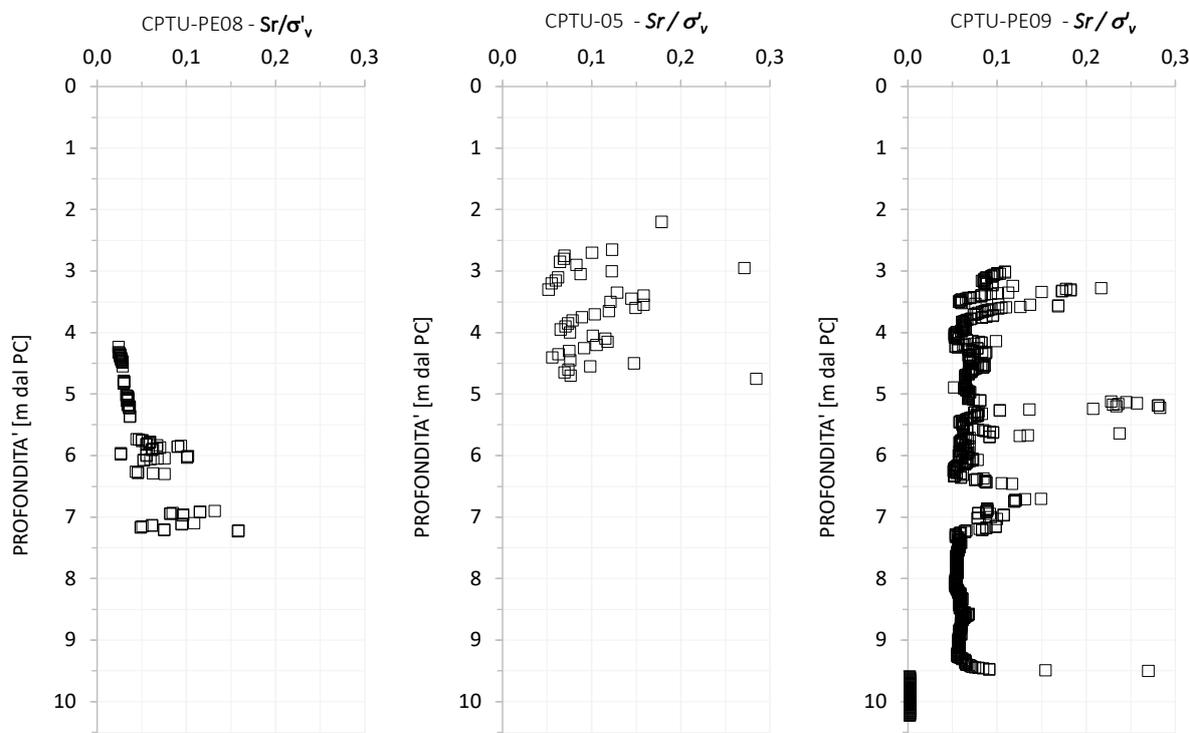
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	27 di 30

### 6.3.7 RESISTENZA RESIDUA DA PROVE CPTU

In base a quanto definito al paragrafo 6.3.6, le CPTU che ricadono nella zona A individuano un assetto stratigrafico costituito, mediamente, da poche lenti liquefacibili, di spessore centimetrico, immerse in volumi non liquefacibili, di spessore decimetrico o metrico (ref. precedente **Figura 6**). Fa eccezione la CPTU-PE8, che indica una condizione di maggiore pericolosità costituita da una sequenza di strati liquefacibili addensati tra le profondità comprese tra 4.5 e 7.5 dal PC, approssimabile ad un unico strato di spessore massimo pari a 3.0m. Sulla base del profilo geotecnico aggiornato [E.1] si osserva che questa condizione critica è associata al tratto in rilevato compreso tra le pk 21+750 e 21+950, che sarà, pertanto, oggetto di verifica. L'analisi di stabilità è riportata nel documento specifico [E.4].

Per le zone B e C, la stima della resistenza residua è stata eseguita sulle CPTU05 (PD) e CPTU-PE09 (PE).

I risultati ottenuti sono rappresentati in **Figura 7**.



**Figura 7 - Resistenza residua normalizzata da CPTU, rispettivamente zone A, B e**

I valori ottenuti permettono di ricavare gli intervalli caratteristici di  $Sr/\sigma'_v$ , min – max, riportati di seguito, con indicazione, in parentesi, del valore mediano:

- zona A, unità bc2, CPTU-PE08: 0.05 – 0.16 (0.10);
- zona B, unità ba2, CPTU05: 0.06 – 0.14 (0.09);
- zona C, unità bc, CPTU-PE09: 0.06 – 0.15 (0.07).

  	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE</b> <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Relazione sismica</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF26</td> <td style="text-align: center;">12 E ZZ</td> <td style="text-align: center;">RG</td> <td style="text-align: center;">GE0001 002</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">28 di 30</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	28 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RG	GE0001 002	B	28 di 30								

## 6.4 SINTESI DEI RISULTATI

Le analisi del rischio liquefazione condotte sui risultati delle prove penetrometriche statiche e dinamiche integrative e pregresse confermano la zonazione del tracciato definita nella fase di progettazione precedente e avvalorano la necessità di interventi di mitigazione del rischio nelle zone B e C (**Tabella 6**).

ZONA	da pk [km]	a pk [km]	Estensione [m]	SONDAGGI E PROVE IN SITU DI RIFERIMENTO	RISULTATO
A	21+050	21+900	850	D6bis, IF15P08, CPTU03, CPTU04 (PD); SPE13, SPE15, CPTUPE01, CPTUPE08, CPTUPE02, CPTUPE03 (PE).	Rischio medio-basso, circoscritto al solo manufatto a farfalla del viadotto VI05. <b>Cedimento massimo stimato in corrispondenza del manufatto: 11cm</b> La fondazione del manufatto verrà isolata con interventi di jet-grouting nel volume costituito dall'area di ingombro dell'intera struttura, estesa di un franco all'esterno di essa, e lo spessore dello strato liquefacibile.
B	25+220	25+784	564	IF15R55, CPTU05 (PD); CPTUPE4, SPE24 (PE).	Rischio medio alto. <b>Cedimento massimo stimato: 11cm</b> <b>Si prevede un intervento di mitigazione</b> tramite disposizioni di colonne in ghiaia vibro-compattate su tutta la tratta liquefacibile, esteso alle opere adiacenti.
C	26+350	27+700	1350	IF15S09, IF15R10 (PD); SPE20, SPE21, SPE25, CPTUPE09 (PE).	Rischio medio alto. <b>Cedimento massimo stimato: 13cm</b> <b>Si prevede un intervento di mitigazione</b> tramite disposizioni di colonne in ghiaia vibro-compattate su tutta la tratta liquefacibile, esteso alle opere adiacenti.

**Tabella 6 - Quadro dei risultati delle valutazioni del rischio liquefazione di progetto esecutivo (PE)**

Il valore massimo del **cedimento atteso**, stimato con i dati di resistenza in prova SPT, riflette l'approssimazione nella stima degli spessori liquefacibili legata al passo di prova (una SPT ogni 3.00m). Il confronto con i profili di resistenza delle prove CPTU ha permesso di assegnare spessori congrui con le variazioni litostratigrafiche rilevabili dalla disamina delle stratigrafie di sondaggio e delle foto disponibili dai certificati (ref. IF26.1.2.E.ZZ.SG.GE.00.0.5.002). Il valore di cedimento calcolato tramite CPTU è generalmente più verosimile perché associato alla maggiore densità di informazione legata all'acquisizione dati della prova.

Gli intervalli caratteristici della **resistenza residua normalizzata** e del corrispondente angolo di resistenza residua per le unità ba2 e bc2 sono riportati nella seguente tabella:

ZONA	da pk [km]	a pk [km]	Estensione [m]	VERICALI SPT E PROVE IN SITU DI RIFERIMENTO	UG	$S_r / \sigma'_v$ ( $\tan \phi'_{res}$ )	$\phi'_{res}$
A	21+050	21+900	850	D6bis, IF15P08 (PD); SPE13, SPE15, CPTUPE08 (PE)	bc2	0.05 – 0.22	3 - 12
B	25+220	25+784	564	IF15R55, CPTU05 (PD); SPE24 (PE).	ba2	0.06 - 0.22	4 - 12
C	26+350	27+700	1350	IF15S09, IF15R10 (PD); SPE20, SPE21, SPE25, CPTUPE09 (PE).	bc2	0.06 - 0.15	4 - 8

**Tabella 7 - Valori caratteristici della resistenza residua post-liquefazione**

Relazione sismica

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IF26 12 E ZZ RG GE0001 002 B 29 di 30

ALLEGATO A – Classi sismiche di sottosuolo NTC2008 per WBS.

WBS	PK DI RIFERIMENTO			TIPO di OPERA	Profondità fondazione [m]	Indagine di riferimento (PD;PE)			categoria di sottosuolo sismica PE
	[km]	da[km]	a[km]			PD	PE		
TR01		16+500	16+595	trincea	Hmax 1m	PD	IF15V01	indagine più vicina	C
						PD	Rifr_01	indagine più vicina	
						PE	S-PE22 -DH	indagine più vicina	
RI01		16+595	16+729	rilevato	Hmax 2m	PD	IF15V01	indagine più vicina	C
						PD	Rifr_01	indagine più vicina	
						PE	S-PE22 -DH	indagine più vicina	
IN01	16+662			Tombino	-6	PD	IF15V01	in asse	C
						PD	Rifr_01	indagine più vicina	
						PE	S-PE22 -DH	indagine più vicina	
TR01		16+729	17+200	trincea	pc-3,5	PD	IF15V01	indagine più vicina	C
						PD	Rifr_01	indagine più vicina	
						PE	S-PE22 -DH	indagine più vicina	
RI02		17+200	17+391	rilevato	Hmax 5m	PD	Rifr_01	indagine più vicina	C
						PE	S-PE22 -DH	indagine più vicina	
VI01	17+415	17+391	17+430	Viadotto	-2;-3	PD	Rifr_01		B
						PE	S-PE22 -DH	in asse opera	
RI03		17+430	17+634	rilevato	Hmax 4-5m	PD	Rifr_01	indagine più vicina	C
						PE	S-PE01 - DH	indagine più vicina	
						PE	S-PE22 -DH	indagine più vicina	
SL01	17+577	17+634		Sottovia	2	PD	Masw1		B
						PE	S-PE01 - DH	indagine più vicina	
VI02	17+664 (17+631)	17+634	17+656	ponte	-2;-3	PD	Masw 1, Rifr_01		B
						PE	S-PE01 - DH	in asse opera	
RI04		17+656	17+770	rilevato	Hmax 4-5m	PD	Rifr_01	indagine più vicina	C
						PE	S-PE01 - DH	indagine più vicina	
						PE	S-PE22 -DH	indagine più vicina	
SL02	17+770			Sottovia+ tombino	-6	PD	Masw 1		B
						PE	S-PE01 - DH	indagine più vicina	
IN02	18+277			Nuovo ponte stradale su Maltempo	0-1	PD	Rifr_02; MASW1	indagine più vicina	C
						PE	S-PE23-DH	indagine più vicina	
RI05		17+770	18+640	rilevato	Hmax 6m	PD	Rifr_02; MASW1	indagine più vicina	C
						PE	S-PE23-DH	indagine più vicina	
						PE	CPTU-PE7		
IN25	18+649			Sist. Idr. Vallone Mortale	5	PD	Rifr_02; MASW1	indagine più vicina	C
						PE	S-PE23-DH	in asse opera	
VI03	18+658	18+640	18+658	Ponte	-2;-3	PD	Rifr_02; MASW1	indagine più vicina	B
						PE	S-PE23-DH	in asse opera	
RI06		18+658	19+180	rilevato	Hmax 5m	PD	Rifr_02; MASW1	indagine più vicina	C
						PE	S-PE23-DH	indagine più vicina	
						PE	S-PE29	indagine più vicina	
IV01	18+950			cavalcaferrovia		PD	Masw 1	in asse opera	C
						PE	S-PE29	in asse opera	
TR03		19+180	19+397	trincea	Hmax 7m	PD	Masw_1	indagine più vicina	C
						PE	S-PE03		
GA01	19+339			Galleria Artificiale 01		PD	Masw_1	indagine più vicina	C
						PD	IF15P05		
						PC	S-PC03		
TR04		19+397	19+670	trincea	Hmax 1m	PD	Masw_1	indagine più vicina	C
						PE	S-PE03		
						PE	S-PE04 DH	in asse opera	
RI07		19+670	19+741	rilevato	Hmax 3m	PD	Masw 1	indagine più vicina	C
						PE	S-PE04 DH	in asse opera	
IN09	19+750					PD	MASW2	prossima all'opera	C
						PE	S-PE04 DH	in asse opera	
VI04	19+755 (19+775)	19+741	19+775	Viadotto	3-7	PD	MASW2	prossima all'opera	B
						PE	S-PE04 DH	in asse opera	
RI08		19+775	19+837	rilevato	Hmax 5m	PD	Masw_1	indagine più vicina	C
						PE	S-PE04 DH	in asse opera	
TR05		19+837	20+050	trincea	Hmax 3m	PD	Masw_1	indagine più vicina	C
						PE	S-PE04 DH	in asse opera	
RI09		20+050	20+144	rilevato	Hmax 7m	PD	Masw_1	indagine più vicina	C
						PE	S-PE04 DH	in asse opera	
						PE	S-PE05-DH	indagine più vicina	
SL03	20+144	20+144	20+150	nuovo sottovia stradale	0-1	PD	IF15R53	in asse opera	C
						PD	MASW2	indagine più vicina	
						PE	S-PE05-DH	indagine più vicina	
RI10		20+150	20+474	rilevato	Hmax 8m	PD	Masw_1	indagine più vicina	C
						PE	S-PE04 DH	in asse opera	
						PE	S-PE05-DH	indagine più vicina	

ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO

Relazione sismica

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IF26 12 E ZZ RG GE0001 002 B 30 di 30

WBS	PK DI RIFERIMENTO			TIPO di OPERA	Profondità fondazione	Indagine di riferimento (PD;PE)			categoria di sottosuolo sismica PE
	[km]	da[km]	a[km]			[m]			
VI05	20+500	20+474	21+238	Viadotto	3-6	PE	S-PE05-DH	in asse opera	C
	20+550								
	20+600								
	20+644								
	20+720								
	20+780 (20+750)								
	20+850								
	20+950 (20+925)								
	21+000								
	21+110								
	21+220								
RI11		21+238	21+898	rilevato	Hmax 9m	PE	S-PE14 - DH	in asse opera	C
						PD	Masw Area D8	prossimo a sottovia	
						PE	S-PE14 - DH	prossimo a rilev Max H	
SL04	21+898	21+898	21+900	nuovo sottovia stradale	3-4	PE	S-PE15 - DH	prossimo a VI06	C
						PD	Masw Area D8	prossimo a sottovia	
						PE	S-PE15 - DH	prossimo a VI06	
RI12		21+900	22+142	rilevato	Hmax 7m	PE	S-PE15 - DH	prossimo a VI06	C
						PD	Masw Area D8	prossimo a sottovia	
FV01	21+950			Fermata		PD	Masw Area D8	prossimo	C
						PD	Masw Area D8	spalla2	
VI06	22+142	22+142	22+164	Ponte	4-5	PE	S-PE15 - DH	spalla1	C
						PD	Masw Area D8	prossimo a sottovia	
RI13		22+164	22+290	rilevato	Hmax 6m	PE	S-PE15 - DH	prossimo a VI06	C
						PD	rifr_03	prossimo a opera	
RI14		25+270	25+375	rilevato	Hmax 5m	PE	S-PE24 - DH	prossimo a opera	C
						PD	IF15R55, rifr_03	prossimo a opera	
IN04	25+374			tombino	0-1	PE	S-PE24 - DH	prossimo a tombino	C
						PD	IF15R55, rifr_03	prossimo a opera	
RI15		25+375	25+595	rilevato	Hmax 3m	PE	S-PE24 - DH	prossimo a opera	C
						PD	IF15R55, rifr_03	prossimo a opera	
IN05	25+594			tombino	0-1	PE	S-PE24 - DH	prossimo a tombino	C
						PD	IF15R55, rifr_03	prossimo a opera	
RI16		25+595	25+784	rilevato	Hmax 7m	PE	S-PE24 - DH	prossimo a opera	C
						PD	PNIF52V12, Rifr_03	prossimi a spalla2	
VI07	25+780	25+784	25+814	Ponte	4-5	PE	S-PE24 - DH	spalla 1	C
						PD	IF15R55, rifr_03	prossimo a opera	
RI17		25+814	26+312	rilevato	Hmax 7m	PE	S-PE24 - DH	prossimo a opera	C
						PE	MASW SPE 20	prossimo a SL05	
SL05	26+312			sottovia	6-7	PD	IF15S09, rifr_03	prossim ma meno affidabili	C
						PE	MASW SPE 20	in asse	
FV02	26+397			Fermata		PD	IF15S09, rifr_03	prossimi a opera	C
						PD	IF15S09, rifr_03	prossimi a opera	
TR06		26+312	27+024	trincea	Hmax 1-2m	PE	MASW SPE 20	in asse	C
						PE	S-PE21	prossimi a opera	
TR07		27+024	27+138	trincea	Hmax 1-2m	PD	IF15S09, rifr_03	prossimi a opera	C
						PE	MASW SPE 20	in asse	
						PE	S-PE21	prossimi a opera	
IN07	27+138			tombino	5	PD	IF15S09, rifr_03	prossimo a tombino	C
IN08	27+242			tombino	3-4	PD	IF15S09, rifr_03	prossimo a tombino	
TR08		27+138	27+700	trincea	Hmax 1-2m	PD	IF15S09, rifr_03	prossimi a opera	C
						PE	MASW SPE 20	in asse	
						PE	S-PE21	prossimi a opera	