

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

GEOTECNICA

Relazione intervento di consolidamento dei rilevati e trincee

APPALTATORE	IMPRESA PIZZAROTTI & C. S.p.A. Dott. Ing. Sabino DEL BALZO IL DIRETTORE TECNICO Ing. Sabino DEL BALZO 23/062020	SCALA: -
-------------	---	-----------------

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

I F 2 6 1 2 E R B G E G E 0 0 0 5 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	23/062020	A. Eusebio	23/062020	P. Grasso	23/062020	ATTILIO EUSEBIO ORDINE GEOLOGI REGIONE PIEMONTE ALBO PROFESSIONALE 23/062020

File: IF26.1.2.E.ZZ.RB.GE.00.0.5.002.B.doc

n. Elab.:

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO												
Relazione intervento di consolidamento rilevati e trincee	<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>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>B</td> <td>2 di 19</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RB	GE0005 002	B	2 di 19
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RB	GE0005 002	B	2 di 19								

Indice

1. GENERALITA'	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	3
2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
2.2 ELABORATI DI RIFERIMENTO	3
2.3 RIFERIMENTI DI LETTERATURA.....	4
3. ZONE DI INTERVENTO A RISCHIO LIQUEFAZIONE.....	5
3.1 LOCALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO.....	5
3.2 ESTENSIONE DELL'INTERVENTO TRA LE PROGRESSIVE 26+317 E 26+450.....	6
4. INTERVENTI DI MITIGAZIONE	10
4.1 SCOPO DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE	10
4.2 TIPOLOGIE DI INTERVENTI	10
5. DIMENSIONAMENTO DEI PALI IN GHIAIA VIBRO-COMPATTATI.....	11
5.1 METODOLOGIA DI DIMENSIONAMENTO	11
5.2 RISULTATI DEL DIMENSIONAMENTO.....	11
5.3 METODOLOGIA GENERALE DI REALIZZAZIONE DELLE COLONNE IN GHIAIA.....	13
5.4 SEQUENZA COSTRUTTIVA DELLE COLONNE IN GHIAIA	13
5.5 ELEMENTI DI COMPLETAMENTO DELL'INTERVENTO COLONNARE.....	13
5.6 PRESCRIZIONI SUI MATERIALI DA IMPIEGARE	15
6. DIMENSIONAMENTO DELL'INTERVENTO CON DRENI IN GHIAIA	16
6.1 PREMESSA.....	16
6.2 METODOLOGIA DI DIMENSIONAMENTO	16
6.3 RISULTATI	17
6.4 ELEMENTI DI COMPLETAMENTO DELL'INTERVENTO CON DRENI IN GHIAIA	19
6.5 SPECIFICHE SUI MATERIALI DA IMPIEGARE	19
7. CONCLUSIONI	19

1. GENERALITA'

Nel presente documento si riporta il dimensionamento degli interventi di consolidamento del piano di posa di rilevati e trincee ferroviarie, mirati alla mitigazione del rischio liquefazione evidenziato nelle analisi specifiche.

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

- [E.1]. IF26 12 EZZ FZ GE0005 001 A ÷ IF26 12 EZZ FZ GE0005 008 A – Raddoppio della tratta Canello-Benevento – Il lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Profilo geotecnico di linea- Sub lotto 1.
- [E.2]. IF26 12 EZZ RB GE0005 001 A – Raddoppio della tratta Canello-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 Canello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Relazione Geologica, geomorfologica ed idrogeologica – sub lotto 1
- [E.4]. IF26 12 E ZZ RG GE 00 01 002 A – Raddoppio della tratta Canello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Relazione Sismica.
- [E.5]. IF26 12 E ZZ W9 GE 00 05 001 A ÷ 007 A – Raddoppio della tratta Canello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Consolidamenti piano di posa rilevati e trincee - sezioni trasversali (Elaborati grafici)
- [E.6]. IF 26 12 E ZZ RH TR 00 00 002 B - Raddoppio della tratta Canello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Rilevati e Trincee. Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee
- [E.7]. IF 26 12 EZZ WA GE 00 5 001 A - Raddoppio della tratta Canello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Sezione tipo consolidamenti piano di Posa Rilevati - Dettagli e Tratte di Applicazione
- [E.8]. IF 26 12 EZZ B9 GE 00 5 001 A ÷ 002 A - Raddoppio della tratta Canello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Consolidamenti piano di posa rilevati e trincee - Fasi costruttive - Sezioni tipo in rilevato
- [E.9]. IF 26 12 EZZ P9 GE 00 5 001 A ÷ 007 A - Raddoppio della tratta Canello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Consolidamenti piano di posa rilevati e trincee - Planimetrie
- [E.10]. IF 26 12 EZZ W9 GE 00 5 001 B ÷ 007 B - Raddoppio della tratta Canello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Consolidamenti piano di posa rilevati e trincee - Sezioni trasversali

2.3 RIFERIMENTI DI LETTERATURA

- Priebe H J, 1998 – *Vibro Replacement to Prevent Earthquake Induced Liquefaction*. Proceedings of the Geotechnique Colloquium at Darmstadt, Germany, on March 19th (also in Ground Engineering, September 1998) Technical paper 12-57 E.
- Kempton JJ, Stewart JP, 2006 – *Prediction equations for significant duration of earthquake ground motions considering site and near-source effects*. Earthquake Spectra, 22(4), 985-1013.
- Vrettos C, Savidis A, 2004 - Seismic design of the foundation of an immersed tube tunnel in liquefiable soil – Rivista Italiana di Geotecnica
- Saito A., Tagawa K., Tamura T., Oishi H., Nagayama H. and Shimaoka H., 1987 – *A countermeasure for sand liquefaction by gravel drains method*. Nippon Kokan Technical Report Overseas, n. 51, pp. 46- 52.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO												
Relazione intervento di consolidamento rilevati e trincee	<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;">RB</td> <td style="text-align: center;">GE0005 002</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">5 di 19</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RB	GE0005 002	B	5 di 19
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RB	GE0005 002	B	5 di 19								

3. ZONE DI INTERVENTO A RISCHIO LIQUEFAZIONE

3.1 LOCALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO

Le analisi del rischio liquefazione condotte sui risultati delle prove penetrometriche statiche e dinamiche integrative ([E.2]), dettagliate nella relazione sismica generale [E.4], confermano la zonazione del tracciato definita nella fase di progettazione precedente e avvalorano la necessità di interventi di mitigazione del rischio nelle zone riportate in **Tabella 1**.

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); S-PE13, S-PE15, CPTU-PE01, CPTU-PE08, CPTU-PE02, CPTU-PE03 (PE).	Rischio medio-basso, circoscritto al solo manufatto a farfalla del viadotto VI05. I cedimenti attesi lungo la zona A sono inferiori a 5cm (limite di tolleranza) per cui non si prevede l'intervento di mitigazione.
B	25+220	25+784	564	IF15R55, CPTU05 (PD); S-PE4bis, CPTU-PE4, S-PE24 (PE).	Rischio medio alto. Cedimento massimo stimato: 11cm Si prevede un intervento di mitigazione.
C	26+317	27+700	1350	IF15S09, IF15R10 (PD); S-PE20, S-PE21, S-PE25, CPTUPE09 (PE).	Rischio medio alto, Cedimento massimo stimato: 13cm Si prevede un intervento di mitigazione.

Tabella 1 - Quadro dei risultati delle valutazioni del rischio liquefazione

Sulla base delle analisi condotte, si prevede la realizzazione di un intervento sistematico nelle zone B e C poiché i cedimenti attesi risultano maggiori del limite di funzionamento dell'infrastruttura ferroviaria, identificato con la soglia di tolleranza tecnica pari a 5cm.

Sono state inoltre individuate situazioni puntuali e locali soggette a potenziale rischio liquefazione, per le quali sono state previste le seguenti misure di mitigazione:

- in corrispondenza delle fondazioni su pali del manufatto a farfalla del viadotto VI05 (pk 21+100), il nuovo sondaggio S-PE13 ha confermato la presenza di uno strato potenzialmente liquefacibile sotto il manufatto a farfalla, estendendone lo spessore per circa 3m, da 4,5 m e 7,5 m da pc, con cedimento stimato pari ad 11cm. Si prevede, pertanto, un intervento di mitigazione del rischio tramite consolidamento con jet-grouting al di sotto del piano di posa del manufatto;
- In corrispondenza della spalla Sud del viadotto VI07 (pk 25+784), la CPTU-05 e il sondaggio S-PE24 individuano, uno strato potenzialmente liquefacibile alla profondità di 6m, per uno spessore di circa 3m. Come specificato in E.4, per la realizzazione della fondazione è già previsto l'isolamento idraulico dello scavo con tappo di fondo in jet-grouting. L'estensione in profondità del trattamento comprende la porzione dello strato liquefacibile attraversato dai pali di fondazione e di fatto comporta l'attenuazione del rischio connesso. Pertanto, non si prevedono ulteriori interventi.

**Relazione intervento di consolidamento
rilevati e trincee**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RB	GE0005 002	B	6 di 19

In coerenza con quanto previsto nella fase progettuale precedente (PD), per le zone B e C l'intervento consiste di una maglia di colonne in ghiaia vibro-compattata, in grado di migliorare l'addensamento del terreno, la resistenza a taglio media nel volume trattato, e incrementarne il potenziale di drenaggio. Il dimensionamento dell'intervento è descritto di seguito.

In tutte le zone in cui è richiesto un intervento di mitigazione del rischio liquefazione, il trattamento del sottosuolo si sviluppa, in sezione trasversale, nei limiti imposti dall'infrastruttura ferroviaria, incluse le opere in adiacenza, come le barriere foniche.

Nell'ambito della Zona C, lo sviluppo areale del sistema di opere connesse alla nuova stazione di Telese ha richiesto un'analisi di dettaglio mirata alla verifica della necessità dell'estensione trasversale dell'intervento, alla luce delle risultanze delle recenti indagini di progetto esecutivo.

3.2 ESTENSIONE DELL'INTERVENTO TRA LE PROGRESSIVE 26+317 E 26+450

Nell'area compresa tra le progressive 26+317 e 26+450, in prossimità della stazione di Telese, le indagini eseguite in fase esecutiva hanno permesso di affinare la definizione l'assetto geologico stratigrafico locale. Questo settore è caratterizzato dalla presenza delle varie litofacies dei depositi alluvionali antichi. In particolare, come si evince dallo stralcio della carta geologica di progetto in **Figura 2**, l'area in esame ricade nella zona di transizione al passaggio tra i depositi sabbioso limosi dell'unità bc2 e quelli travertinosi dell'unità bc4.

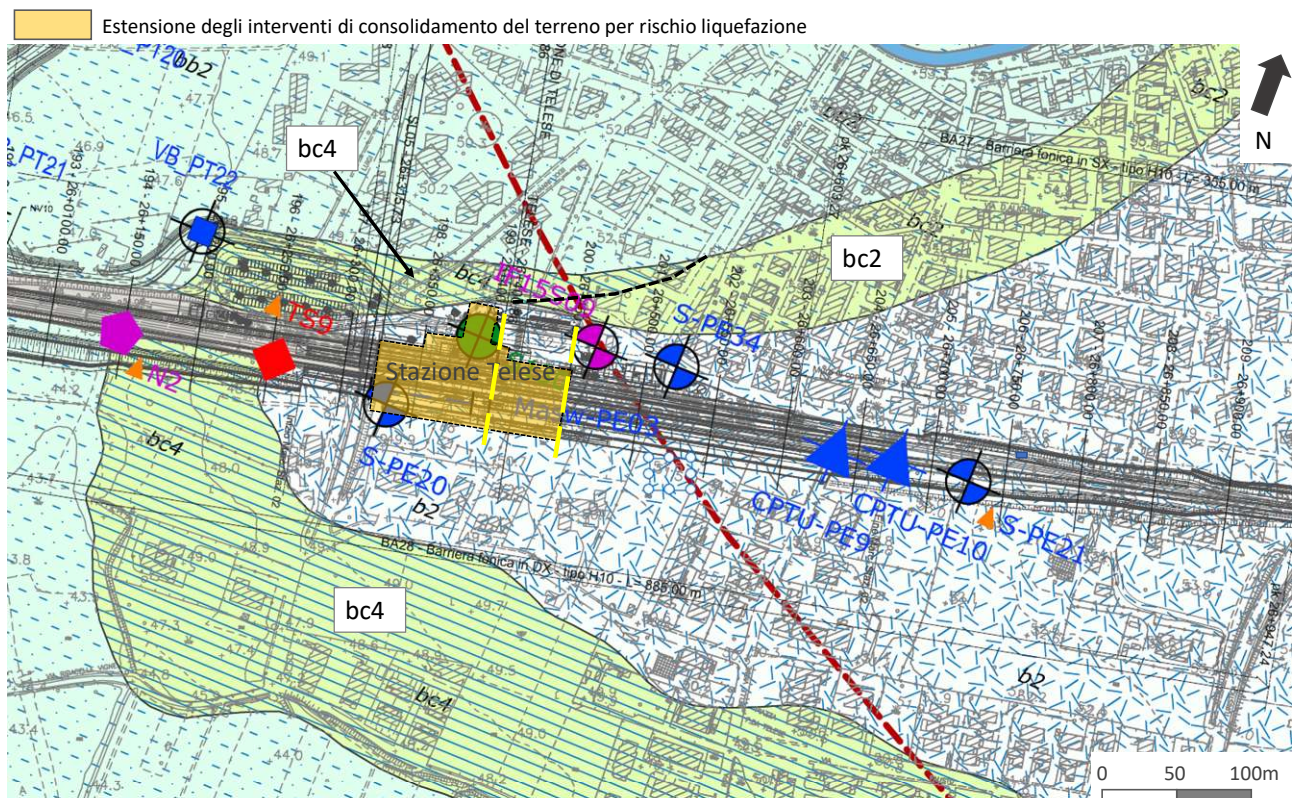


Figura 1 – Estratto dalla carta geologica di progetto con l'ubicazione dell'area di estensione degli interventi, stazione di Telese.

Relazione intervento di consolidamento
rilevati e trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RB	GE0005 002	B	7 di 19

LEGENDA

Coltri eluvio colluviali



Argille limose, limi argillosi e argilloso sabbiosi con, resti vegetali, inclusi piroclastici e rare ghiaie poligeniche

Depositi alluvionali recenti



Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, a luoghi con passaggi di limi argilloso sabbiosi, con sporadici inclusi poligenici

Depositi alluvionali antichi



Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi con locali livelli travertinosi, a luoghi con passaggi di limi argilloso sabbiosi e sporadici inclusi poligenici



Travertini litoidi vacuolari e debolmente stratificati, con intercalazioni di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi.



Limite stratigrafico



Faglia, a tratteggio se presunta o sepolta

LEGENDA INDAGINI

Simbolo	Descrizione	Colore simbolo	Campagna Indagini
	Sondaggio a carotaggio continuo non attrezzato		2017 integrativa
	Sondaggio a carotaggio continuo attrezzato con piezometro		2017
	Sondaggio attrezzato con piezometro non funzionante		2015
	Sondaggio a carotaggio continuo attrezzato per sismica in foro		2008 - 2009
	Sondaggio a distruzione con down-hole e piezometro in foro separato a distruzione		2007
	Sondaggio a distruzione attrezzato con inclinometro		1984 - 1985
	Pozzetto esplorativo con prova di carico su piastra		
	Prova penetrometrica statica		
	Pozzetto geognostico per caratterizzazione ambientale		2019
	Sondaggio geognostico per caratterizzazione ambientale		
	Top soil		
	Stendimento di sismica a rifrazione		
	MASW		
	Tomografia elettrica		

Progetto Definitivo

Progetto Esecutivo

Figura 2 – Legenda geologica e delle indagini associata alle carta geologica precedente

L'assetto geologico stratigrafico dell'area è tuttavia più complesso. I limiti tra le varie facies non sono netti ma sono caratterizzati da geometrie complesse a lenti che determinano alternanze verticali (intercalazioni di livelli di spessore variabile delle varie facies) ed eteropie laterali. I sondaggi realizzati nell'area sia nella fase di progettazione definitiva (PD) sia in quella esecutiva (PE), coprono un intorno significativo a ridosso del tracciato con fuori asse variabili da 22m verso Sud (sondaggio S-PE20) a 38m verso Nord (sondaggio IF15S09) e sono quindi stati considerati rappresentativi del modello geologico locale di riferimento per le opere principali di linea e per quelle a ridosso del corpo ferroviario.

I sondaggi realizzati nell'area hanno recuperato nei primi 10m di profondità i depositi alluvionali antichi nelle loro 4 facies caratteristiche:

- **bc1:** facies ghiaiosa in matrice sabbiosa e sabbioso limosa a luoghi debolmente argillosa. La facies sabbiosa non è frequentemente intercettata dai sondaggi in questo settore se non in lenti di modesto spessore;
- **bc2:** facies sabbioso limosa caratterizzata da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi con locali livelli travertinosi, a luoghi con passaggi di limi argilloso sabbiosi e sporadici inclusi poligenici. Rappresenta la facies dominante nel tratto esteso dalla stazione di Telese a fine tracciato;
- **bc3:** facies argilloso limosa caratterizzata da argille limose, limi argillosi e limi argilloso sabbiosi con inclusi piroclastici e sporadiche ghiaie. Sono presenti frequenti passaggi di sabbie e sabbie limose interne all'unità;
- **bc4:** Travertini litoidi vacuolari e debolmente stratificati, con intercalazioni di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi.

Le unità maggiormente intercettate dai sondaggi sono bc2, bc3 e bc4, strutturate in lenti eteropiche con modesta continuità laterale. Le lenti presentano spessori variabili in generale di ordine metrico e si strutturano in alternanze stratigrafiche e granulometriche sia verticali che laterali alle quali corrisponde una variabilità del comportamento meccanico. L'estensione e la continuità laterale dell'unità bc2 aumenta procedendo dalla stazione verso l'abitato di Telese, come si evince dalla carta e dal profilo geologico di riferimento.

Le facies sabbiosa (bc2) e limoso argillosa (bc3) in particolar modo presentano diffusi passaggi transizionali tra le distribuzioni granulometriche caratteristiche delle unità, le cui geometrie e spessori risultano difficilmente rappresentabili in sezione. Tali livelli, evidenziati da sondaggi, prove in situ (CPTU, SPT) e di laboratorio, sono stati considerati nell'analisi dei rischi geologici potenziali dell'area tra cui il rischio

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Relazione intervento di consolidamento rilevati e trincee	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RB	DOCUMENTO GE0005 002	REV. B	FOGLIO 8 di 19

liquefazione. Tuttavia, quando non rappresentabili graficamente sono stati accorpati all'interno dell'unità geotecnica principale rinvenuta lungo le verticali di sondaggio.

L'interpolazione dei contatti geologici tra le verticali di sondaggio rappresenta la ricostruzione schematica dello scenario geologico più probabile atteso e preso come riferimento per lo sviluppo della caratterizzazione geologica e geotecnica dell'area e per le assunzioni di progetto.

La ricostruzione della superficie di falda si basa sui dati ad oggi disponibili dei livelli massimi misurati lungo i sondaggi S-PE20, IF15S09, S-PE34 e S-PE21. Le letture sono congruenti tra loro ed attestano una quota assoluta del livello piezometrico misurato compresa tra 46 e 47m circa s.l.m, a cui corrisponde una soggiacenza media di circa -5m da p.c. Nel settore della stazione di Telese i depositi alluvionali antichi (bc) si trovano sottofalda mediamente tra le profondità di 5 e 10m da p.c. determinando una condizione predisponente per l'innescò dei fenomeni di liquefazione.

Le sezioni geologiche riportate nella seguente **Figura 3** illustrano il quadro geologico stratigrafico atteso nel settore in esame e gli orizzonti principali potenzialmente liquefacibili.

La complessità dei rapporti stratigrafici delle varie facies unitamente all'estensione trasversale dei principali livelli liquefacibili, evidenziata in **Figura 3** (campitura in rosso) indicano la necessità di prevedere un intervento omogeneo di mitigazione del rischio liquefazione esteso a tutte le opere strutturali della stazione Telese.

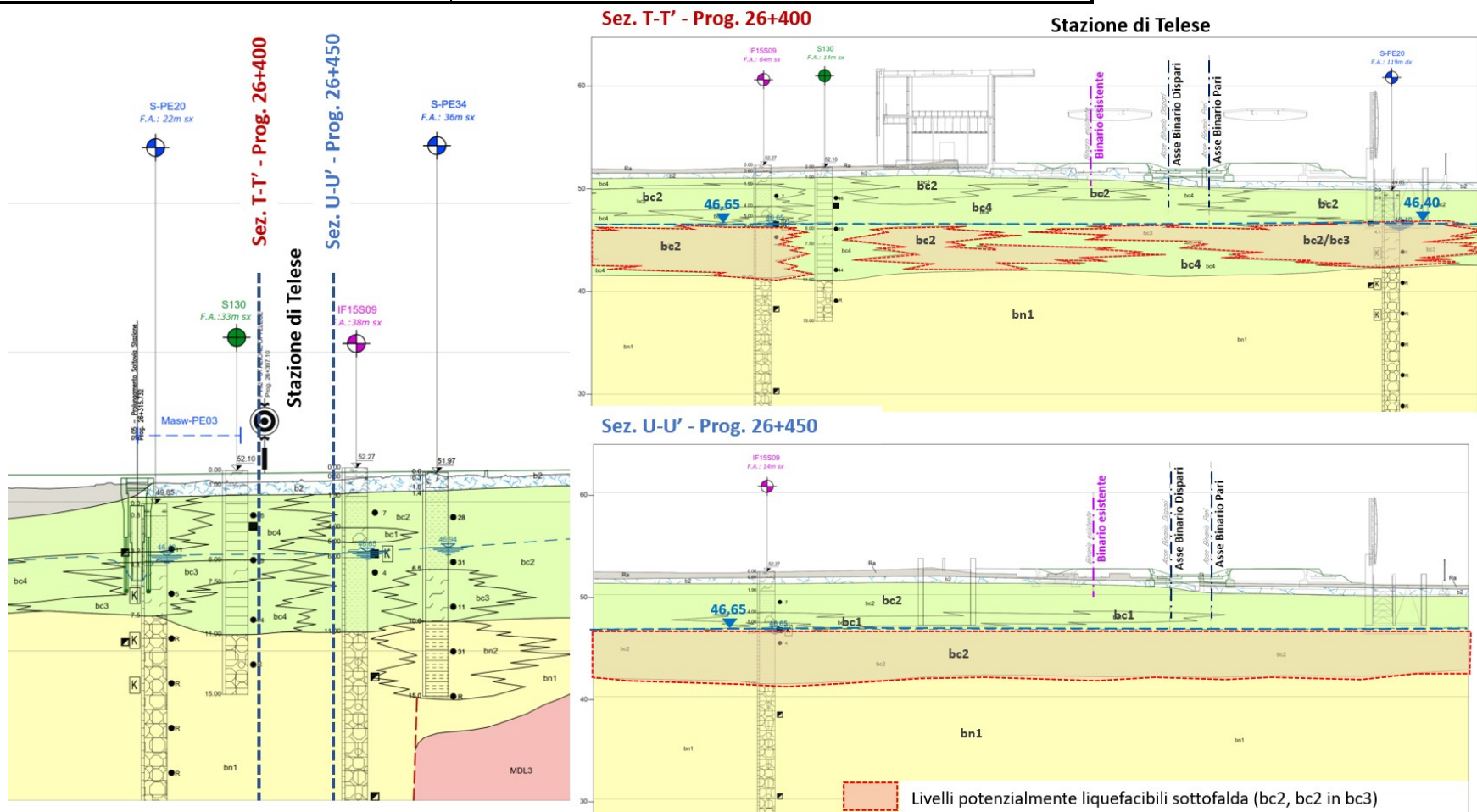


Figura 3 – Stralcio del profilo geotecnico longitudinale (a sinistra) e delle sezioni trasversali (T-T', U-U'), in corrispondenza della stazione di Telesino.

**Relazione intervento di consolidamento
rilevati e trincee**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RB	GE0005 002	B	10 di 19

LEGENDA

Coltri eluvio colluviali



Argille limose, limi argillosi e argilloso sabbiosi con, resti vegetali, inclusi piroclastici e rare ghiaie poligeniche

Depositi alluvionali recenti



Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, a luoghi con passaggi di limi argilloso sabbiosi, con sporadici inclusi poligenici

Depositi alluvionali antichi



Ghiaie poligeniche ed eterometriche in matrice sabbiosa, sabbioso limosa a luoghi deb. argillosa



Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi con locali livelli travertinosi, a luoghi con passaggi di limi argilloso sabbiosi e sporadici inclusi poligenici



Argille limose, limi argillosi e argilloso sabbiosi con inclusi piroclastici e ghiaie, a luoghi con passaggi di sabbie e sabbie limose.



Travertini litoidi vacuolari e debolmente stratificati, con intercalazioni di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi.

Depositi alluvionali terrazzati



Ghiaie poligeniche ed eterometriche in matrice sabbiosa e sabbioso limosa

Unità di Maddaloni



Unità di Maddaloni indifferenziata

— Limite stratigrafico
— Faglia, a tratteggio se presunta o sepolta

Simbolo	Descrizione	Colore simbolo	Campagna Indagini
	Sondaggio a carotaggio continuo non attrezzato	Yellow	2017 integrativa
	Sondaggio a carotaggio continuo attrezzato con piezometro	Purple	2017
	Sondaggio attrezzato con piezometro non funzionante	Red	2015
	Sondaggio a carotaggio continuo attrezzato per sismica in foro	Orange	2008 - 2009
	Sondaggio a distruzione con down-hole e piezometro in foro separato a distruzione	Brown	2007
	Sondaggio a distruzione attrezzato con inclinometro	Green	1984 - 1985
	Pozzetto esplorativo con prova di carico su piastra		
	Prova penetrometrica statica		
	Pozzetto geognostico per caratterizzazione ambientale	Blue	2019
	Sondaggio geognostico per caratterizzazione ambientale		
	Top soil		
	Stendimento di sismica a rifrazione		
	MASW		
	Tomografia elettrica		

Progetto Definitivo

Progetto Esecutivo

Figura 4 – Legenda geologica e delle indagini associate alle precedenti sezioni geologiche

4. INTERVENTI DI MITIGAZIONE

4.1 SCOPO DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE

Gli interventi di mitigazione del rischio liquefazione previsti mirano ad aumentare il fattore di sicurezza ([E.4]) abbattendo il rischio di innesco dei fenomeni che possono indurre sia l'instabilità di scarpate (di tratte in trincea e in rilevato), sia i cedimenti per consolidazione post-sismica.

4.2 TIPOLOGIE DI INTERVENTI

Per il trattamento degli strati liquefacibili si prevede la realizzazione di due tipologie di intervento:

- 1) Colonne di ghiaia vibro-compattate, distribuite su una griglia a maglia regolare (2.0x1.5m) ed estese in profondità in funzione dello spessore degli strati potenzialmente liquefacibili rappresentati nel modello geotecnico generale;
- 2) Dreni verticali in ghiaia, distribuiti su una maglia regolare (1.2x1.2m) localizzati nel segmento di tracciato in cui è impossibile realizzare i pali in ghiaia vibro-compattata.

La prima tipologia di intervento si basa sulla sostituzione di volumi di terreno liquefacibile, con un materiale di granulometria calibrata, non liquefacibile, in grado di sviluppare una maggiore resistenza a taglio. L'aumento del fattore di sicurezza, F_L , si ottiene per diminuzione del rapporto di sollecitazione ciclica (CSR, con riferimento a [E.4]), attraverso la stima di un fattore di riduzione che dipende dalla geometria dell'intervento e dalla resistenza a taglio della ghiaia impiegata.

La procedura di realizzazione prevede la progressiva compressione della ghiaia, per fasi, determinando l'addensamento del terreno intorno alla singola colonna, con un conseguente aumento di resistenza e rigidità del complesso colonna-terreno. Il diametro effettivo delle colonne di ghiaia, pertanto, dipende dalla densità relativa del terreno in sito e dalla tecnologia specifica di realizzazione e può essere stimato con buona approssimazione solo

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Relazione intervento di consolidamento rilevati e trincee	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RB	DOCUMENTO GE0005 002	REV. B	FOGLIO 11 di 19

dopo la posa in opera, misurando sia il volume di ghiaia effettivamente sistemato, sia la lunghezza effettiva della colonna realizzata (in base all'estensione della barra porta utensile infissa nel sottosuolo). Nel dimensionamento dell'intervento, si assumerà, pertanto, un diametro nominale definito dalla casistica applicativa disponibile in letteratura.

Nel calcolo, non è stato considerato l'effetto combinato di miglioramento della capacità drenante del sottosuolo dovuto alla presenza delle colonne in ghiaia. In linea generale, infatti, la variabilità della geometria delle colonne non permette di definire con adeguata approssimazione il diametro effettivo del fusto drenante, ma, soprattutto, non è possibile garantirne l'efficacia drenante nel tempo.

La metodologia di posa in opera considerata nel progetto non prevede l'utilizzo di fluidi di perforazione e, associata all'utilizzo di sola ghiaia naturale, consente di operare nelle condizioni di massima compatibilità ambientale.

La seconda tipologia di intervento prevede la realizzazione di dreni verticali progettati al fine di permettere la completa dissipazione delle sovrappressioni interstiziali indotte dal sisma, nel tempo necessario al passaggio del treno d'onda sismico (durata significativa del sisma). L'effetto dei dreni è, pertanto, quello di limitare lo sviluppo delle sovrappressioni interstiziali in modo che non si inneschi la liquefazione, aumentando la capacità drenante media delle formazioni liquefacibili.

L'intervento è localizzato tra le pk 26+947 e 26+979, al di sotto del cavalca-ferrovia della via Turistica del Lago (comune di Telesse Terme), data l'impossibilità di realizzarvi i pali in ghiaia, a causa dell'incompatibilità tra le dimensioni della macchina di vibro-infissione e l'altezza disponibile al di sotto del cavalcaferrovia.

La realizzazione dei dreni, invece, può essere effettuata impiegando una macchina per micro-pali di dimensioni compatibili con lo spazio lavoro imposto dal cavalcaferrovia.

5. DIMENSIONAMENTO DEI PALI IN GHIAIA VIBRO-COMPATTATI

5.1 METODOLOGIA DI DIMENSIONAMENTO

La metodologia di dimensionamento dei pali in ghiaia utilizzata nel progetto è quella di Priebe (1998), finalizzata alla stima del fattore α di riduzione del rapporto di sollecitazione ciclica CSR, calcolato come segue:

$$\alpha = p_s / p = K_{a,c} [1 - (A_c / A)] / [(A_c / A) + K_{a,c} (1 - A_c / A)^2]$$

dove:

A_c , è l'area della sezione della colonna di consolidamento;

A , è l'area di influenza della singola colonna di consolidamento;

$K_{a,c} = \tan^2 (45^\circ - \phi_c / 2)$, è il coefficiente di spinta attiva delle colonne;

ϕ_c , è l'angolo di resistenza al taglio della ghiaia compattata;

Il fattore α rappresenta l'aliquota dell'incremento tensionale indotto dal sisma assorbita dal terreno tra le colonne in ghiaia, definita in percentuale, dal rapporto tra l'incremento di pressione efficace verticale, p_s , e l'incremento di pressione verticale totale p (in coerenza con la notazione utilizzata in Priebe, 1998)

Il fattore di sicurezza a liquefazione è dato da $F_L = CRR / (\alpha \cdot CSR)$.

5.2 RISULTATI DEL DIMENSIONAMENTO

Il dimensionamento dell'intervento è stato eseguito assumendo un diametro nominale delle colonne $D_{nom} = 0.80m$ ed ottimizzando, la spaziatura della maglia di intervento, per ottenere un fattore di sicurezza $F_L \geq 1.25$, come indicato nella Relazione Sismica [E.4].

I risultati sono in **Tabella 2** ed il dettaglio dei calcoli sono rappresentati nella seguente **Tabella 3**.

A parità di angolo di resistenza a taglio della ghiaia, il parametro che definisce l'efficacia dell'intervento è la percentuale di sostituzione areale A_c/A . Considerati i bassi valori di resistenza penetrometrica caratteristici degli strati potenzialmente liquefacibili nel sottosuolo oggetto dell'intervento, nei calcoli è stato considerato l'effetto di

Relazione intervento di consolidamento
rilevati e trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RB	GE0005 002	B	12 di 19

addensamento all'intorno delle colonne in ghiaia, in via preliminare assumendo un diametro effettivo della singola colonna pari a $1.15 \times D_{nom}$. Il diametro di calcolo, D_{calc} , è compatibile con una percentuale di sostituzione areale $A_c/A = 0.20-0.22$, che rientra nei limiti della tecnologia prevista.

La condizione di sicurezza è rispettata in corrispondenza di ogni verticale di indagine, a meno dello strato più superficiale dei sondaggi: SPE24 dove $F_L = 1.01$, IF15R55 con $F_L = 1.20$ ed SPE25 con $F_L = 1.20$. In questi casi considerata la singolarità del dato ed essendo comunque $F_L > 1$, si considera che la condizione di sicurezza sia verificata, nell'ottica di quanto specificato nella NTC2008, che rimanda al progettista la valutazione della condizione limite di sicurezza più opportuna (ref. [E.4]).

ϕ_c	$k_{a,c}$	i_x	i_y	A	D_{nom} (D_{calc})	A_c	A_c/A	α
[°]		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ²]		
45	0,17	2	1,5	3	0.80 (0,925)	0,672	0.22	0.37

Tabella 2 – Percentuale di sostituzione areale per la riduzione del rischio a liquefazione

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 prof.à	Accelerazione max in superficie	Rapporto di sollecitazione ciclica	Passante al 0,0075 mm	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
ID		z	dz	ID	Nspt	z _f	γ_n	σ_{vo}	(N ₁) ₆₀	σ_{vo}	r _d	a _{max} /g	CSR	FC	(N ₁) _{60,cs}	M	MSF	CRR _{7,5}	FL
		[m]	[m]			[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]		[kN/m ²]				[%]					
S-PE24	PE	3	1,0	ba2	2	0,8	20	137	2	159	0,975	0,40	0,109	68	7	7,06	1,12	0,098	1,01
S-PE24	PE	6	2,5	ba2	15	0,8	20	134	13	185	0,933	0,40	0,126	22	18	7,06	1,12	0,181	1,64
IF15R55	PD	2	1	ba2	8	1	20	20	8	30	0,993	0,40	0,143	69	15	7,06	1,12	0,153	1,20
IF15R55	PD	3	4	ba2	10	1	20	35	10	60	0,975	0,40	0,160	35	17	7,06	1,12	0,174	1,22
S-PE20	PE	6	2	bc2/bc3	5	5,6	20	116	5	120	0,933	0,40	0,093	50	11	7,06	1,12	0,122	1,46
S-PE21	PE	10	3	bc2	13	5,3	20	144	11	185	0,875	0,40	0,109	59	18	7,06	1,12	0,181	1,86
S-PE25	PE	6	1,0	bc2	9	4,0	20	97	9	117	0,933	0,40	0,109	50	16	7,06	1,12	0,163	1,68
S-PE25	PE	9	1,5	bc3/bc2	6	4,0	20	126	5	176	0,884	0,40	0,119	87	11	7,06	1,12	0,127	1,20
S-PE25	PE	12	1,5	bc3/bc2	8	4,0	20	156	6	234	0,831	0,40	0,121	87	12	7,06	1,12	0,136	1,26
IF15S09	PD	7	3	bc2	4	6	20	126	4	140	0,917	0,40	0,099	53	9	7,06	1,12	0,113	1,28
IF15R10	PD	12	2	bc2	12	6	20	179	9	240	0,831	0,40	0,108	50	15	7,06	1,12	0,159	1,66
IF15R10	PD	15	1	bc2	8	6	20	210	5	300	0,777	0,40	0,108	50	11	7,06	1,12	0,128	1,33

Tabella 3 - Dettaglio delle verifiche per la riduzione del rischio a liquefazione

La lunghezza delle colonne varia tra i 5 e i 13m in funzione delle profondità degli strati liquefacibili attesi, del profilo topografico e del profilo di scavo finale delle opere di progetto. Il dettaglio è rappresentato negli elaborati [E.9], [E.10].

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Relazione intervento di consolidamento rilevati e trincee	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RB	DOCUMENTO GE0005 002	REV. B	FOGLIO 13 di 19

5.3 METODOLOGIA GENERALE DI REALIZZAZIONE DELLE COLONNE IN GHIAIA

La realizzazione di colonne in ghiaia può essere effettuata attraverso due differenti metodologie:

1. metodo *top-feed*, che prevede: l'infissione di un tubo-forma per vibrazione e progressiva trivellazione del foro, l'immissione della ghiaia dall'alto, l'estrazione del tubo forma e la compattazione della ghiaia per percussione dall'alto. Il metodo prevede la sostituzione di terreno liquefacibile, con asportazione, stoccaggio e smaltimento del terreno estratto dal foro.
2. metodo *bottom-feed*, in cui un vibro-flottatore viene infisso fino alla quota di fondo della singola colonna, la ghiaia viene espulsa dalla punta del vibro e compattata per fasi successive di estrazione dello stesso, e schiacciamento della ghiaia sistemata. La singola colonna si forma, quindi, procedendo dal basso verso l'alto, restituendo, alla fuoriuscita dell'utensile al piano campagna, la colonna in ghiaia già compattata. Il metodo non prevede volumi di risulta, perché non c'è estrazione di terreno.

La metodologia *bottom-feed* garantisce una maggiore velocità di esecuzione, l'assenza di volumi di risulta, e una maggiore efficacia nella compattazione del terreno in cui agisce il vibroflottatore.

La realizzazione delle colonne in ghiaia prevede che la vibro-sostituzione sia eseguita per tutto lo spessore dello strato liquefacibile ed estesa fino in superficie, per evitare di lasciare volumi rimaneggiati a seguito dell'estrazione del vibroflottatore.

5.4 SEQUENZA COSTRUTTIVA DELLE COLONNE IN GHIAIA

Nel caso specifico si considera che la posa in opera avvenga secondo il metodo *bottom-feed*.

La sequenza costruttiva di dettaglio è descritta di seguito:

1. posizionamento della macchina operatrice in corrispondenza del punto di intervento;
2. approvvigionamento di un primo quantitativo di ghiaia, che viene caricata nel serbatoio dell'utensile di infissione tramite una tramoggia mobile;
3. pressurizzazione del sistema interno all'utensile per posizionare e comprimere la ghiaia in punta al vibroflottatore;
4. infissione dell'utensile fino al raggiungimento della profondità di progetto, con conseguente dislocazione laterale del terreno. L'infissione avviene per l'azione combinata della spinta del tirabasso della macchina operatrice e della vibrazione dell'utensile, contestuale alla fuoriuscita di aria in pressione;
5. estrazione per fasi del vibro ed immissione della ghiaia precedentemente pressurizzata ad ogni fase di estrazione; il successivo affondamento dell'utensile ne produce la compattazione e lo schiacciamento laterale contro il terreno circostante;
6. livellamento e compattazione finale del piano di lavoro ad avvenuta estrazione del vibroflottatore.

5.5 ELEMENTI DI COMPLETAMENTO DELL'INTERVENTO COLONNARE

L'intervento di attenuazione è costituito da un pacchetto tecnologico composto dalle colonne in ghiaia e da uno strato drenante disposto alla quota di testa delle colonne stesse, al di sotto dell'eventuale strato anti-capillare.

Lo strato drenante è costituito da materiale a granulometria coerente con le prescrizioni di capitolato [N.4] per lo strato anti capillare, avvolto in un manto di geotessile con massa da 401 a 500g/m² ha spessore pari a 0.50m e si estende trasversalmente a raccordare tutte le colonne che si attestano alla stessa quota, come esemplificato in **Figura 5**.

La necessità di interporre un elemento drenante tra il sottosuolo trattato e gli strati compattati del rilevato ferroviario deriva dalla necessità di evitare di una risalita d'acqua attraverso le colonne in ghiaia nel rilevato ferroviario, in quanto queste costituiscono, rispetto al terreno in cui sono realizzate, elementi di maggiore permeabilità.

La risalita d'acqua è una conseguenza attesa delle sovrappressioni interstiziali dovute dalla rapida compressione degli strati sabbiosi saturi prodotta da passaggio del treno d'onda sismico. Anche in assenza di liquefazione ($F_L \geq$

Relazione intervento di consolidamento
rilevati e trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RB	GE0005 002	B	14 di 19

1.25, ref. [E.4]), l'esistenza di sovrappressione residua viene generalmente presa in considerazione nelle analisi di stabilità delle scarpate per le tratte in trincea o in rilevato [E.6].

L'entità della risalita è stimabile a partire dall'aliquota residua di sovrappressione interstiziale, r_u , pari al 15% della pressione verticale litostatica efficace esistente negli strati liquefacibili, fissata in funzione del fattore di sicurezza $F_L=1.25$ (ref. E.6). Per profondità di falda variabile tra 5 e 7m dal piano campagna, si calcola un'altezza di risalita variabile tra 1.5 e 2.0m, generalmente assorbita dal tratto di colonna in ghiaia non immerso nello strato liquefacibile.

Il materasso drenante è da considerarsi, quindi, come un ulteriore volume di accumulo destinato ad assorbire la temporanea risalita dell'acqua; non è necessario, quindi, prevedere per esso la sagomatura con pendenza e la connessione idraulica con l'esterno del rilevato.

Nelle sezioni in cui, il materasso drenante è al limite della superficie freatica (Figura 5), l'eventuale aumento del livello piezometrico, già in condizioni ordinarie, può determinarne la saturazione e la successiva risalita di acqua per capillarità negli strati di base del rilevato ferroviario. Pertanto, come esemplificato sempre in Figura 5, in corrispondenza dei gruppi di colonne maggiormente esposti alle oscillazioni del livello di falda (seppur minime), si prevede di realizzare sistematicamente uno strato anti-capillare in sovrapposizione allo strato drenante.

Nell'ottimizzazione generale dell'intervento colonnare, la quota di allettamento del materasso drenante è stata fissata in coerenza con quella di fondo dello strato di bonifica necessario per l'esecuzione del rilevato ferroviario. Pertanto, a parità di quota d'intervento, il volume da bonificare, associato alla rimozione di uno spessore di 0.50m al di sotto dello strato di scotico, è stato sistematicamente sostituito dallo strato drenante.

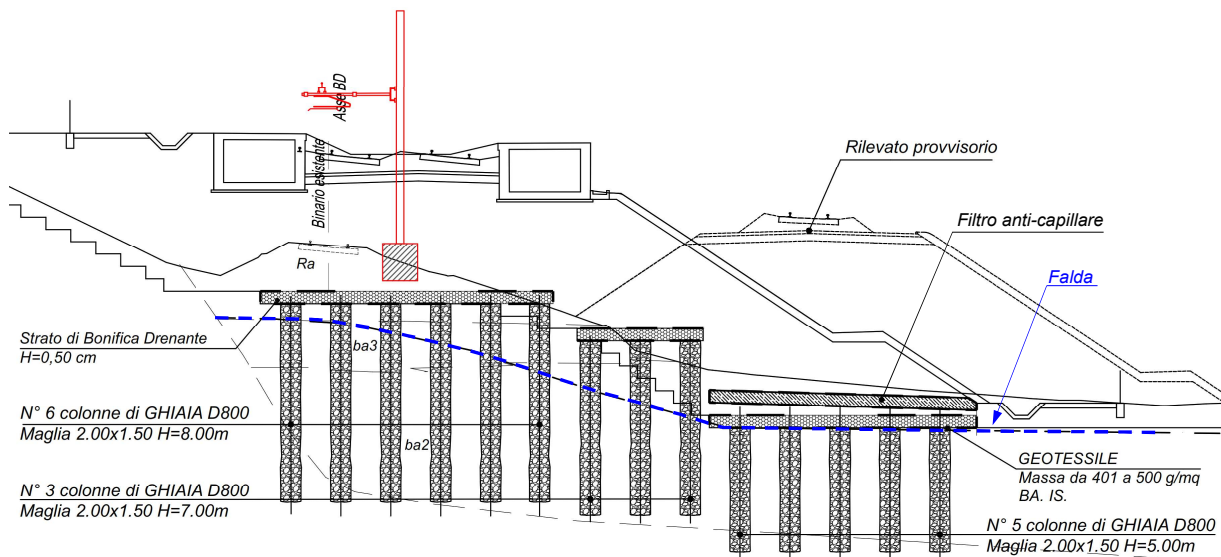


Figura 5 – Sezione tipo dell'intervento di mitigazione del rischio liquefazione con pali in ghiaia

La realizzazione di uno strato anti-capillare segue le prescrizioni del Manuale di Progettazione RFI [N.3] implementate come di seguito, in base alle caratteristiche granulometriche del terreno di posa e l'altezza dei rilevati. Nel caso specifico, lo strato anticapillare dovrà avere spessore costante pari a 50cm e sarà costituito da materiale rispondente ai requisiti riportati nella Sezione 5 del Capitolato RFI, protetto inferiormente da un telo di geotessile, risvoltato per almeno 3 m da entrambi i lati sulla faccia superiore dello strato. L'anti-capillare sarà posizionato con l'intradosso alla profondità di 30cm dal piano di campagna in corrispondenza del piede del rilevato e sarà conformato a schiena d'asino con pendenza pari al 3%.

Per lo strato drenante si seguono le medesime prescrizioni in merito a spessore e materiali, a meno della sagomatura.

5.6 PRESCRIZIONI SUI MATERIALI DA IMPIEGARE

La ghiaia utilizzata per la realizzazione delle colonne deve essere conforme alle prescrizioni di dettaglio definite dallo specifico esecutore, che deve indicare i limiti granulometrici e il diametro massimo necessari, rispettivamente, ad avere una compattazione ottimale, sulla base delle esperienze pregresse, a consentire il passaggio della ghiaia nel sistema di pressurizzazione ed espulsione del vibroflottatore, sulla base del brevetto impiegato.

In linea generale, si tratta di ghiaie a granulometria inclusa in fusi come quello riportato, a titolo esemplificativo, nella seguente Figura 6 (da Vrettos e Savidis, 2004, in coerenza con Saito et al. 1987)

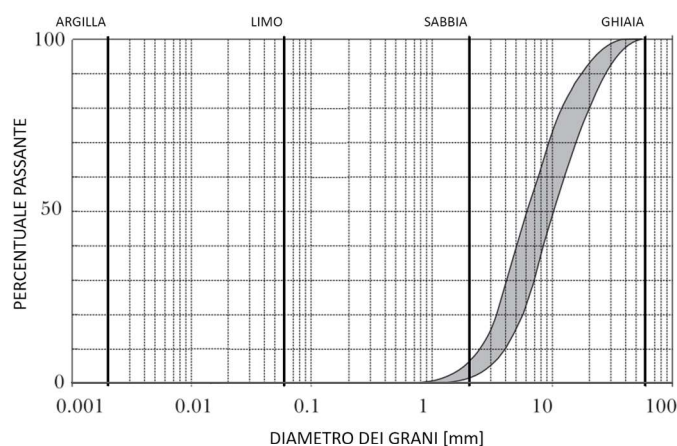


Figura 6 - Fuso granulometrico tipo per colonne in ghiaia

In merito ai materiali per la realizzazione dello strato drenante e di quello anti-capillare, le prescrizioni della Sezione 5 del Capitolato RFI indicano l'impiego di una ghiaia naturale a spigoli vivi (definita *pietrischetto*) con dimensioni comprese tra 2 e 25 mm avente le caratteristiche granulometriche indicate in Tabella 4 (coerente con UNI 11531-1/2014), ed il seguenti limiti, in termini di equivalente in sabbia, $SE \geq 70\%$ e resistenza alla frammentazione in prova Los Angeles, $LA \leq 40\%$.

DIMENSIONE GRANULI	PASSANTE
25mm	100%
2mm	$\leq 15\%$
0.063mm	$\leq 3\%$

Tabella 4 – Limiti granulometrici da Capitolato RFI per il materiale degli strati drenante ed anti-capillare

La posa in opera e la compattazione del materiale in sito segue le prescrizioni di capitolato sempre al paragrafo 5.5.4.1, punto c).

Sempre in coerenza col Capitolato RFI (par. 5.5.4.1, punto c), il telo di geotessile è costituito da tessuto-non tessuto, in polipropilene e/o poliestere, non rigenerato, coesionato meccanicamente mediante agugliatura, esente da trattamenti chimici o termici, rispondente alla norma UNI EN 13250 e avente le caratteristiche minime coerenti con quanto prescritto nel Capitolato RFI [N.4], tabella 5.5.2, paragrafo 5.5.4.1, punto c. Il geotessile dovrà essere marcato CE secondo la norma armonizzata UNI EN ISO 10320 e conforme alle UNI EN 12224 e 12225, relative rispettivamente ai metodi per la determinazione della resistenza microbiologica e agli agenti atmosferici.

Nel caso specifico si prevede l'utilizzo di geotessile costituito da fibre in poliestere o polipropilene, della massa da 401 a 500 g/m².

6. DIMENSIONAMENTO DELL'INTERVENTO CON DRENI IN GHIAIA

6.1 PREMESSA

Il segmento di intervento compreso tra le pk 26+947 e 26+981 e ricade al di sotto del cavalcaferrovia della via Turistica del Lago (comune di Telesse Terme), dove si misura un'altezza netta tra intradosso travi e fondo dello scavo provvisorio pari a 8.5m. Lo spazio disponibile, quindi, non permette la realizzazione dei pali in ghiaia, per i quali è necessario movimentare una macchina che richiede un'altezza massima libera di circa 22-24m.

Pertanto, nella sola tratta in esame è stata prevista la realizzazione di un sistema di dreni verticali per l'immediata dissipazione delle sovrappressioni interstiziali indotte dal sisma.

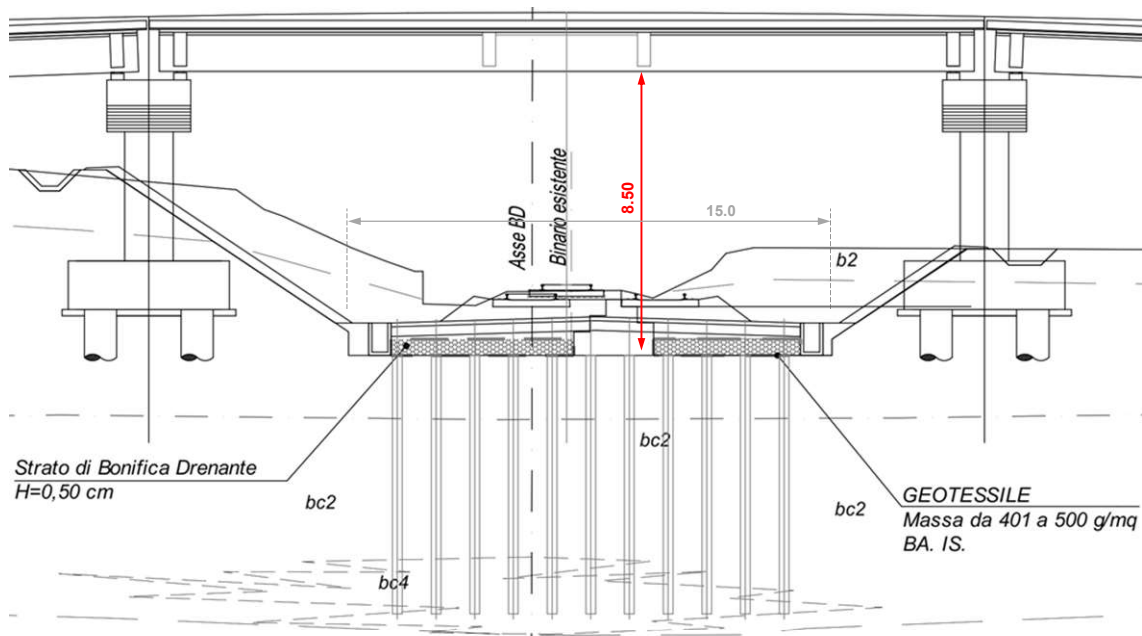


Figura 7 – Sezione trasversale, pk 26+950, cavalcaferrovia della via Turistica del Lago

Nel tratto in esame, il sottosuolo è costituito quasi completamente dai sedimenti sabbioso limosi dell'unità liquefacibile bc2 [E.4].

6.2 METODOLOGIA DI DIMENSIONAMENTO

La progettazione del sistema di dreni in ghiaia segue la metodologia normalmente utilizzata per il dimensionamento di un sistema di dreni verticali destinato all'accelerazione di cedimenti da consolidazione. Nell'attenuazione del rischio liquefazione, si calibra la geometria del sistema, definita dal diametro dei dreni, dalla geometria della maglia (a quinconce o quadrata) e dall'interasse tra i dreni, in modo da dissipare le sovrappressioni interstiziali indotte dal sisma in un intervallo temporale pari alla durata significativa del sisma stesso. In tal modo, è possibile evitare la consolidazione post-liquefazione ed i cedimenti che ne conseguono.

La metodologia prevede la stima del grado di consolidazione U_h , che definisce la percentuale di sovrappressione neutra dissipata, in funzione di un fattore tempo, T_h , che dipende dalla permeabilità e dalla compressibilità dei terreni in cui si eseguono i dreni, ed un fattore efficienza geometrica, F , che dipende dal rapporto tra il diametro di dreni ed il diametro equivalente dell'area di influenza definita dalla spaziatura della maglia.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Relazione intervento di consolidamento rilevati e trincee	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RB	DOCUMENTO GE0005 002	REV. B	FOGLIO 17 di 19

Le formule sono riportate di seguito:

- Coefficiente di dissipazione, $U_h = 1 - \exp(-8T_h / F)$;
- Fattore tempo, $T_h = (K_h / \gamma_w) \cdot [t / (m_v \cdot d_e^2)]$;
- Fattore geometrico, $F = [n^2 / (n^2 - 1)] \cdot \ln(n) - (3n^2 - 1) / 4n^2$;

dove:

- K_h è la permeabilità orizzontale del terreno in cui sono realizzati i dreni, assunta pari a quella verticale:
 $K = 10^{-5} \text{m/s}$ per l'unità sabbioso limosa bc2 [E.3];
- m_v è il coefficiente di compressibilità volumetrica, pari all'inverso del modulo edometrico, ricavato in funzione del valore di progetto del modulo elastico operativo, E'_{op} , riportato in [E.4], secondo la formula:
 $m_v = 1/E_{ed}$, con $E_{ed} = E'_{op} (1-\nu)/(1-\nu-2\nu^2)$,
con $\nu = 0.3$ e $E'_{op} = 30000 \text{kPa}$.

Il valore ottenuto è stato confrontato con quello mediano ricavato dall'interpretazione dei dati penetrometrici della CPTU-PE09 (eseguita alla pk 26+630, in prossimità della tratta in esame) nell'ambito delle profondità di rinvenimento dell'unità sabbio limosa bc2 (ref. [E.4]), ottenendo il valore di progetto $m_v = 0.00003 [1/\text{kPa}]$;

- n è il rapporto tra il diametro equivalente dell'area di influenza del singolo dreno, d_e , e il diametro della colonna drenante, d_w . Assunto un interasse S tra i dreni, il diametro equivalente d_e è pari a $1.13 \cdot S$, per maglia quadrata;
- t è la variabile tempo che rientra nella stima di T_h , ed è assunta pari alla durata significativa, D_{5-95} , dell'evento sismico ideale, funzione della magnitudo di riferimento, secondo la formulazione seguente:

$$D_{5-95} = 0.029 \exp(0.878 \cdot M) + 0.15 \cdot R \quad (\text{Kempton e Stewart, 2006})$$

in cui

- D_{5-95} è la durata significativa dell'evento sismico di riferimento, rappresentativa dell'intervallo temporale entro cui il sisma rilascia dal 5 al 95% dell'energia rilasciata;
- M è la magnitudo dell'evento sismico di riferimento;
- R è la distanza sito - sorgente;

In base alla disaggregazione relativa alla zona di localizzazione delle tratte in esame (ref. Relazione Sismica [E.4], paragrafo 4.3.1), la distanza sito-sorgente, R , corrispondente al valore di riferimento della magnitudo assunta nelle verifiche a liquefazione, $M=7.06$, è compresa tra 0 e 10km.

Assumendo $R = 10 \text{km}$, la durata significativa si calcola è pari a 16 secondi.

6.3 RISULTATI

Il diametro nominale dei dreni è stato fissato in modo da utilizzare macchine dall'ingombro in manovra compatibile con lo spazio disponibile al di sotto del cavalcaferrovia, e pertanto, è pari a $d_w = 300 \text{mm}$.

Di conseguenza, il dimensionamento consiste nel definire il valore della spaziatura, S , che verifica la condizione di sicurezza con $F_L = 1.25$.

Il procedimento seguito prevede quindi:

1. la stima della pressione interstiziale residua Δu pari a alla pressione litostatica efficace σ'_v , in condizioni di liquefazione;
2. il calcolo del grado di consolidazione, U_h , indice della percentuale di sovrappressione interstiziale dissipata nella durata del sisma;
3. il calcolo della pressione interstiziale dissipata nella durata del sisma, $U_h \cdot \Delta u$, e quindi della sovrappressione neutra residua, $u_{res} = (1 - U_h) \cdot \sigma'_v$;
4. il calcolo del rapporto $r_{u,res} = \Delta u_{res} / \sigma'_v = 1 - U_h$;

Relazione intervento di consolidamento
rilevati e trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RB	GE0005 002	B	18 di 19

5. la definizione del fattore di sicurezza da correlazione empirica tra r_u e F_L (Tokimatsu e Seed, 1987).

Considerata l'approssimazione insita nella correlazione di letteratura per la stima del valore di F_L corrispondente al rapporto r_u calcolato, si considera di avere una percentuale di sovrappressione dissipata almeno pari al 90%.

Il risultati del dimensionamento sono riportati di seguito in Tabella 5:

Spaziatura dei dreni, S [m]	1.2
Diametro equivalente, d_e [m]	1.356
Diametro dei dreni, d_w [m]	0.3
Coefficiente di compressibilità edometrica m_v [1/kPa]	0.00003
Magnitudo di riferimento, M	7.06
Durata significativa dell'evento sismico, t [s]	16
Rapporto d_e/d_w , n	5
Fattore geometrico, F	0.85
Permeabilità, K [m/s]	10^{-5}
Fattore tempo, T_h	0.25
Coefficiente di dissipazione, U_h [%]	90
Rapporto $r_u = 1 - U_h$	0.10
Fattore di sicurezza a liquefazione, F_L	1.25 - 1.4

Tabella 5 – Risultati del dimensionamento del sistema di dreni in ghiaia

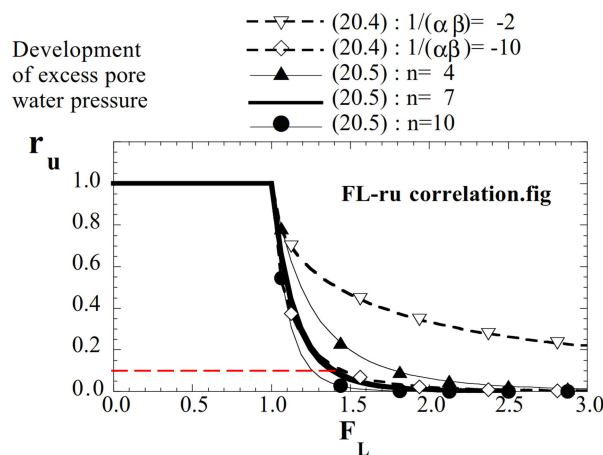


Figura 8 – Correlazione tra rapporto di sovrappressione neutra, r_u , e fattore di sicurezza a liquefazione (Tokimatsu e Seed, 1987)

Lo strato di terreno liquefacibile, appartenente all'unità sabbioso limosa bc2 è localizzato tra le profondità orientative 1.00 e 8.00m dal piano campagna con piano limite di falda posto a circa 5.00m, dal pc, pertanto i dreni hanno uno sviluppo in lunghezza $H = 8.00m$.

L'intervento consiste, quindi, in un totale di 235 dreni verticali, disposti su una maglia quadrata, spaziate di $1.20 \times 1.20m$, di diametro $d_w = 300mm$, e lunghezza $H = 8.00m$.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Relazione intervento di consolidamento rilevati e trincee	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RB	DOCUMENTO GE0005 002	REV. B	FOGLIO 19 di 19

6.4 ELEMENTI DI COMPLETAMENTO DELL'INTERVENTO CON DRENI IN GHIAIA

Per il sistema di dreni si prevede la realizzazione di uno strato drenante secondo le disposizioni dettagliate ai precedenti paragrafi 5.5 e 5.6.

6.5 SPECIFICHE SUI MATERIALI DA IMPIEGARE

Le specifiche sulla ghiaia per la realizzazione dei dreni sono le stesse definite per la ghiaia da impiegare nella realizzazione dell'intervento colonnare.

Per il geotessile, si considera di utilizzare lo stesso materiale previsto per lo strato drenante (ref, paragrafo 5.6), ovvero, costituito da fibre in poliestere o polipropilene, della massa da 401 a 500 g/m².

7. CONCLUSIONI

Le analisi condotte evidenziano la necessita di implementare un intervento di mitigazione del rischio nelle zone B e C identificate in Tabella 1. L'intervento è esteso anche alle opere ed i manufatti in adiacenza alla sede ferroviaria, tra cui le fondazioni delle barriere foniche ed i fabbricati della stazione Telese, in modo da ottenere un comportamento uniforme del piano di fondazione delle strutture in progetto.

L'intervento prevede, in linea generale, la realizzazione di colonne di ghiaia vibro-compattata con una maglia 2.0x1,5m, da realizzare in corrispondenza del piano di fondazione dei rilevati e delle opere soggette al rischio liquefazione.

In corrispondenza dei muri e barriere foniche, i pali in ghiaia saranno intercalati con i pali di fondazione in modo da non avere sovrapposizione.

La lunghezza delle colonne varia tra i 5 e i 13m in funzione delle profondità degli strati liquefacibili attesi, del profilo topografico e del profilo di scavo finale delle opere di progetto. Il dettaglio è rappresentato negli elaborati [E.9], [E.10].

L'esecuzione degli interventi presuppone sempre la realizzazione di un numero significativo di campi prova per la verifica dell'effettivo addensamento ed aumento di resistenza in prossimità della singola colonna, ed in mezzeria della maglia tipo, tramite prove penetrometriche statiche e dinamiche con passo ridotto (1 SPT ogni 1.50m di profondità).

Nella solo segmento compreso tra le pk 26+947 e 26+981 attesa l'impossibilità tecnica di eseguire i pali in ghiaia, a causa dell'altezza del cavalcaferrovia esistente, si prevede la realizzazione di dreni verticali in ghiaia, disposti su una maglia quadrata 1.2x1.2.