

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA

RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI

GEOTECNICA

Relazione descrittiva degli interventi di consolidamento Lotti 1 e 2

SCALA:

-

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

I A 4 S 0 0 D 2 9 R G G B 0 0 0 6 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	E. Lombardo	28.05.2019	L. Eboli	29.05.2019	T. Pagetti	30.05.2019	F. Arduini 31.05.2019

ITALFERR S.p.A.
Direzione Tecnica
Infrastruttura Centro
Dott. Ing. Filippo Arduini
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
11/05/2019

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	4
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOTECNICO E SISMICO DELL'AREA.....	6
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO	6
3.2 INQUADRAMENTO SISMICO.....	8
4. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	11
4.1 INQUADRAMENTO DELLE AREE E DELLE PRINCIPALI OPERE DI PROGETTO.....	11
5. PRINCIPALI PROBLEMATICHE GEOTECNICHE RISCONTRATE	17
5.1 PROBLEMATICHE PER RISCHIO SISMICO: LIQUEFACIBILITÀ DEI TERRENI.....	17
5.1.1 <i>Valutazione del rischio di liquefazione</i>	17
5.1.2 <i>Stima cedimento post sismico</i>	17
5.1.3 <i>Valutazione qualitativa dei danni in superficie</i>	18
5.1.4 <i>Sintesi dei risultati ottenuti</i>	18
5.1.5 <i>Criteri di valutazione del rischio</i>	22
5.1.6 <i>Analisi delle tratte specifiche</i>	23
5.2 PROBLEMATICHE PER PRESENZA DI MATERIALI CEDEVOLI NEL TEMPO	26
5.2.1 <i>Valutazione dei cedimenti dei rilevati nel tempo</i>	26
5.2.2 <i>Criteri di valutazione</i>	27
5.2.3 <i>Analisi delle tratte specifiche</i>	28
6. SOLUZIONI PROGETTUALI: CRITERI ADOTTATI, TIPOLOGIA DI INTERVENTI E APPLICAZIONE	31
6.1 PREMessa	31
6.2 COLONNE IN DEEP MIXING	31
6.3 COLONNE DI GHIAIA	33
6.4 CRITERI DI SELEZIONE DELLA TECNOLOGIA	34

6.5	STRATO DI RIPARTIZIONE.....	35
6.6	INTERVENTI ADOTTATI NELLE TRATTE SPECIFICHE	36
6.6.1	Tratta da 0+000 a 0+600	38
6.6.2	Tratta da 0+600 a 0+793	41
6.6.3	Tratta da 0+793 a 0+900	43
6.6.4	Tratta da 0+900 a 1+050	46
6.6.5	Tratta da 1+050 a 1+250	47
6.6.6	Tratta da 1+250 a 2+650	47
6.6.7	Tratta da 2+650 a 2+710	47
6.6.8	Tratta da 2+710 a 2+960	50
6.6.9	Tratta da 2+960 a 3+100	52
6.6.10	Tratta da 3+100 a 4+500	52
6.6.11	Tratta da 4+500 a 4+800	53
6.6.12	Tratta da 4+800 a 5+100	55
6.6.13	Tratta da 5+100 a 5+400	55
6.6.14	Tratta da 5+400 a 5+850	58
6.6.15	Tratta da 5+850 a 6+500	58
6.6.16	Tratta da 6+500 a 12+050	60
6.6.17	Opera IV01 cavalcaferrovia di via Tiburtina SS5 al km 5+639	60
6.6.18	Opera IV02 cavalcaferrovia di Via del Fiume al km 7+891	69
6.6.19	Opera IV03 cavalcaferrovia di via Carboni al km 9+535	71
7.	MONITORAGGIO	78
7.1	FINALITÀ DEL MONITORAGGIO	78
7.2	TIPOLOGIA DELLE MISURE E CONTROLLI	78
7.3	SEZIONI DI MONITORAGGIO	79

1. INTRODUZIONE

Scopo della presente relazione è illustrare quelli che sono gli interventi di consolidamento previsti all'interno degli interventi di progetto dei Lotti 1 e 2 del Raddoppio ferroviario della tratta Pescara Porta Nuova – Chieti, dando evidenza delle problematiche geotecniche riscontrate in fase di progettazione e delle conseguenti scelte progettuali messe in atto per risolverle.

In particolare, si fornisce un breve inquadramento geologico, geotecnico e sismico delle aree in esame con la successiva definizione di quelle che sono le principali problematiche geotecniche riscontrate proprio in funzione delle caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni presenti in sito.

Successivamente, dopo la descrizione delle opere in progetto, sia in linea che connesse alla linea (viabilità stradali interferenti), si presentano le diverse soluzioni progettuali di trattamento adottate a seconda delle problematiche evidenziate e delle tipologie di opere da realizzare.

In ultimo si forniscono le indicazioni di massima relative ai controlli da eseguirsi legati alla realizzazione degli interventi di consolidamento e al sistema di monitoraggio previsto in progetto.

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Si riporta di seguito l'elenco delle normative principali a cui si è fatto riferimento per il progetto in esame:

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30.
- [2] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- [3] RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21.12.2018- “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”.
- [4] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2011 – “Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra”.
- [5] RFI DTC SI SP IFS 001 C del 21.12.2018- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi”– RFI.
- [6] 2008/217/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità (20/12/2007)”.
- [7] 2011/275/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo convenzionale (26/04/2011)”.
- [8] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [9] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [10] RFI DPR PSE 02 1 0 del 01.08.2018- Gestione dell'emergenza in presenza di eventi sismici.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOTECNICO E SISMICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geologico-geotecnico

Dal punto di vista geologico, i terreni che caratterizzano il tratto in esame ricadono nella fascia collinare-costiero abruzzese nella piana alluvionale del F. Pescara, posta ad Est della catena appenninica, dove affiorano i termini marini, che caratterizzano i rilievi collinari, e i continentali che si sono depositati a partire dal Pliocene fino all'Olocene, nella piana fluviale.

Dalle indicazioni stratigrafiche risultato delle due campagne geognostiche eseguite, nell'area si intercettano prevalentemente depositi limosi-argillosi ricchi di materiale torboso (in alcuni casi anche tronchi), con intercalazioni di livelli limosi-sabbiosi, con alla base, per quasi tutta la tratta, si imposta un livello ghiaioso-sabbioso. Tali depositi alluvionali terrazzati hanno uno spessore di 20/30 metri.

Alla base dei depositi Quaternari si intercettano la presenza di litologie costituite principalmente da argille e argille marnose grigio - azzurre e argille siltose avana sottilmente stratificate con rari livelli e strati sabbiosi.

Da un punto di vista geotecnico il sito si presenta generalmente caratterizzato da materiali prevalentemente fini (di media o alta compressibilità) per uno spessore di circa 20-30 m, poggianti su un livello sabbioso-ghiaioso e sul sottostante substrato marnoso (entrambi di elevata consistenza). Localmente si hanno livelli, anche di spessore rilevante (5-10 m), di sabbie limose all'interno dei depositi alluvionali fini, che sono però caratterizzati da resistenze basse o molto basse.

Più in dettaglio, da un punto di vista geotecnico, nella tratta in esame si incontrano i seguenti tipi di terreno:

- **Argille limose:** argille limose a tratti con presenza di una bassa frazione sabbiosa (A,L2), spesso con presenza di livelli torbosi o tracce di materiale organico. Generalmente di colore grigio scuro. Sono generalmente caratterizzate da basse resistenze ed elevata deformabilità.
- **Limi e limi argillosi:** limi argillosi a tratti debolmente sabbiosi (A,L1, L,A1) o caratterizzati da una frazione sabbiosa più elevata (L,A2) spesso con presenza di resti vegetali e di frammenti

fossili conchigliari, specialmente se superficiali. L'unità A,L1 si ritrova nei primi metri di profondità del deposito e si presenta come un materiale di medio-alta consistenza; l'unità L,A2 si incontra mediamente tra i 15 e i 25 metri di profondità ed è caratterizzata da parametri di resistenza inferiori rispetto ad A,L1 ma crescenti con la profondità. La parte più profonda dei depositi alluvionali è costituita dall'unità L,A1, prevalentemente limosa o limoso-argillosa che costituisce la parte più consistente dell'intero deposito di terrazzi fluviali.

- **Limi sabbiosi**: limi sabbiosi a tratti debolmente argillosi, L(S), anche in questo caso spesso con presenza di resti vegetali e di frammenti fossili conchigliari, specialmente se superficiali. Generalmente di colore grigio. Si tratta di limi debolmente addensati, mediamente consistenti.
- **Sabbie e ghiaie**: sabbie medio-grosse e ghiaie eterometriche (G,S) incontrate localmente tra strati di materiale più fine e, soprattutto nella parte terminale dell'area in oggetto, come strato sovrastante la formazione marnosa più profonda. Sono caratterizzate da resistenze medio - alte.
- **Torbe**: incontrate localmente, all'interno delle altre formazioni. Si tratta prevalentemente di torbe e materiali organici di colore grigio scuro, talvolta con presenza di legno.
- **Marne**: Argille limoso-marnose o marnose (M) di colore grigio-azzurro che costituiscono il substrato più consistente alla base dei depositi limosi e limoso-argillosi. Sono caratterizzate da resistenze elevate.

In generale la falda si attesta a meno di un metro da p.c. per tutta la prima parte di tracciato (circa 6 – 7km). Successivamente la falda principale si approfondisce e nella seconda parte del tracciato il livello di falda risulta essere altamente variabile da un massimo di 21.2 m da p.c. in corrispondenza del sondaggio S10 ad un minimo di 12.2 m da p.c. in corrispondenza del sondaggio S11. In prossimità dei sondaggi S15 ed S16 è stata, inoltre, rilevata una falda sospesa ad una profondità variabile tra 1.7 e 4.3 m da p.c, ma in generale la falda si attesta ad una quota media di circa 20 m sul livello del mare, a conferma di quanto rilevato anche nel corso delle perforazioni di sondaggio.

A tale livello, per la definizione della falda di progetto da adottare per le verifiche geotecniche, si dovrebbe aggiungere un delta pari a circa 0.5 m dovuto alle oscillazioni stagionali. Tuttavia, vista la profondità talvolta minima della falda rispetto al piano campagna e in assenza di indicazioni circa la presenza di aree con acqua stagnante, si è ritenuto di assumere in tali tratte la falda interpolata dalle letture piezometriche direttamente quale falda di progetto.

3.2 Inquadramento sismico

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio in esame, trova attuazione la classificazione sismica stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n.3274/2003, la quale ha introdotto una nuova classificazione sismica, suddividendo il territorio nazionale in quattro zone caratterizzate da diverso grado di sismicità e sottoposte alle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Le zone sono definite rispettivamente ad alta sismicità la zona “1”, a media sismicità la zona “2” e a bassa sismicità la zona “3”, mentre nella zona “4” viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa. Il Comune di Pescara e S. Giovanni Teatino risulta classificato in zona “3”, mentre il Comune di Chieti risulta classificato in zona “2”.

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, sono state analizzate le osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente la zona di Pescara e Chieti e sono state individuate le sorgenti sismogenetiche significative per l'area. A valle di queste analisi è stata definita la magnitudo di riferimento M per le verifiche a liquefazione che è stata assunta cautelativamente pari a 6.

L'azione sismica di riferimento per le diverse verifiche è stata definita stabilendo il periodo di riferimento per l'azione sismica, in base alla classificazione delle opere in progetto. Successivamente, sono stati definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica da considerare, determinata a sua volta per condizioni di suolo rigido ed a livello del piano campagna in corrispondenza di alcuni punti di interesse.

Nel caso in esame, per quanto riguarda la linea ferroviaria, trattandosi di una opera infrastrutturale di elevata importanza, ma non inquadrata all'interno del sistema di grande viabilità

ferroviaria, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stato assunto in sede progettuale:

$$V_N = 75 \text{ anni}$$

Per le opere connesse alla viabilità stradale (IV01, VI02, VI03, VI04, IV02, IV03), ritenute fondamentali per i fini di Protezione civile a valle di un terremoto, si è assunto:

$$V_N = 100 \text{ anni}$$

Per quanto riguarda l'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico, l'infrastruttura ferroviaria si assume appartenente alla Classe d'Uso II, alla quale le NTC2018 fanno corrispondere un coefficiente d'uso $C_U = 1.0$, mentre per le opere connesse alla viabilità stradale, è stata assunta la classe d'uso IV a cui corrisponde $C_U = 2.0$.

I corrispondenti periodi di riferimento V_R risultano quindi pari a 75 anni (opere ferroviarie) e 200 anni (viabilità stradali).

Una volta definiti i periodi di riferimento e i relativi valori di periodo di ritorno dell'azione sismica per i diversi Stati Limite, sono state definite le azioni sismiche di riferimento riportate nelle successive Tabella 1 (Lotto 1 - linea ferroviaria), Tabella 2 (Lotto 1 - viabilità stradale), Tabella 3 (Lotto 2 - linea ferroviaria) e Tabella 4 (Lotto 2 - viabilità stradale).

Tabella 1: Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito S ($S_I=1$) e dell'accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento. Lotto 1 - Linea ferroviaria ($V_R = 75$ anni).

SL	T_R (anni)	Lotto 1		
		a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
SLO	45	0.058	1.500	0.087
SLD	75	0.073	1.500	0.109
SLV	712	0.180	1.431	0.258
SLC	1462	0.234	1.349	0.315

Tabella 2: Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito

S ($S_T=1$) e dell'accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento. Lotto 1 - Viabilità stradale ($V_R = 200$ anni).

SL	T_R (anni)	Lotto 1		
		a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
SLO	120	0.089	1.500	0.133
SLD	201	0.111	1.500	0.166
SLV	1898	0.256	1.314	0.336
SLC	2475	0.281	1.276	0.358

Tabella 3: Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito

S ($S_T=1$) e dell'accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento. Lotto 2 - Linea ferroviaria ($V_R = 75$ anni)

SL	T_R (anni)	Lotto 2		
		a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
SLO	45	0.061	1.500	0.092
SLD	75	0.077	1.500	0.116
SLV	712	0.192	1.415	0.272
SLC	1462	0.248	1.328	0.329

Tabella 4: Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito

S ($S_T=1$) e dell'accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento. Lotto 2 - Viabilità stradale ($V_R = 200$ anni)

SL	T_R (anni)	Lotto 2		
		a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
SLO	120	0.095	1.500	0.142
SLD	201	0.118	1.500	0.177
SLV	1898	0.271	1.291	0.350
SLC	2475	0.297	1.250	0.371

4. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

4.1 Inquadramento delle aree e delle principali opere di progetto

Il progetto di raddoppio della Pescara Porta Nuova – Chieti è in distinto in due lotti funzionali:

- Lotto 1: Raddoppio della Pescara Porta Nuova (e) – P.M. San Giovanni Teatino;
- Lotto 2: Raddoppio della P.M. san Giovanni Teatino – Chieti (e).

Il Lotto 1 prevede delle rettifiche puntuali di tracciato, l'adeguamento a PRG del PM S. Giovanni teatino con modulo a 750m, l'adeguamento al raddoppio della tratta e a standard TPL delle fermate di Pescara S. Marco, la realizzazione della nuova fermata ferroviaria Pescara Aeroporto, e l'eliminazione del PL su Corso Italia.

Nel Lotto 2 è introdotta una variante di tracciato al fine di ottenere una velocizzazione del di tracciato (variante di S. Martino), l'adeguamento al raddoppio ferroviaria della sede, e la sistemazione a standard TPL della fermata di Chieti Madonna delle Piane (Chieti).

L'infrastruttura ferroviaria attraversa un territorio fortemente antropomorfizzato: fin dalle fasi iniziali della progettazione, l'analisi e la risoluzione delle numerosissime interferenze tra il nuovo corridoio ferroviario e l'esistente hanno rappresentato l'aspetto caratterizzante ed il punto focale su cui si è sviluppato l'intero progetto.

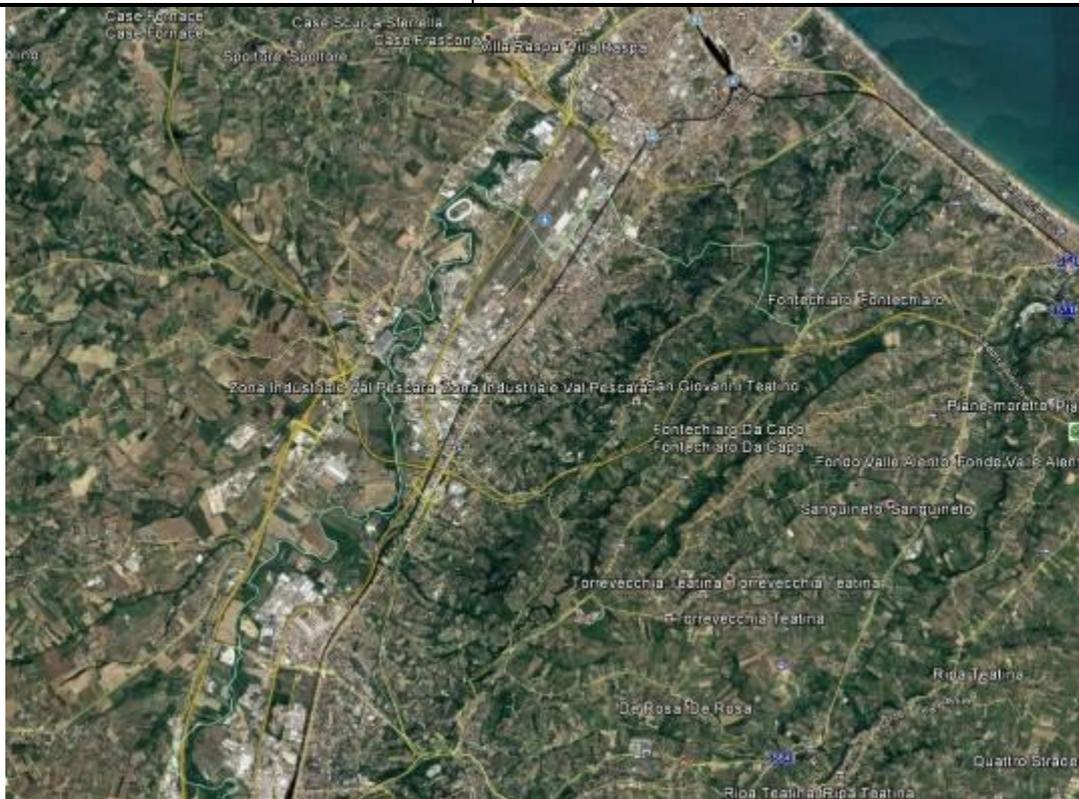


Figura 1: Inquadramento generale dell'intervento tra Pescara e Chieti (lotto 1 e lotto 2)

Il raddoppio ferroviario viene realizzato in sede in stretto affiancamento alla linea esistente. Tenendo conto che le interruzioni dell'esercizio, come da indicazione della Committenza, sono state ridotte in modo significativo, e che gli spazi ristretti, la presenza di fabbricati (civili e produttivi), di viabilità stradali e di canalizzazioni idraulici non hanno permesso di realizzare il raddoppio ferroviario sempre sullo stesso lato rispetto alla linea storica in esercizio (LS), il raddoppio della tratta in esame verrà realizzato con alternanza il lato destro e quello sinistro del binario esistente, ricorrendo dove necessario a deviate provvisorie.

Nei tratti di linea in cui è previsto di realizzare l'incrocio di uno dei binari di progetto con la linea in esercizio (LS) oppure l'avvicinamento ad una distanza non superiore a 5,50/4,60 m le lavorazioni per il raddoppio della sede verranno realizzate con interruzioni all'esercizio ferroviario di breve durata. Visto che nei due lotti si presentano diverse situazioni di questo genere, le analisi

sul tracciato e sui lavori hanno portato a prevedere che più zone di “transizione” possano essere eseguite insieme all’interno di un’unica interruzione.

Per poter eseguire i lavori di raddoppio in stretto affiancamento senza interruzione dell’esercizio ferroviario, per velocità di progetto non superiori a 200 km/h, è prevista la realizzazione dell’allargamento della sede per la posa del binario di progetto più esterno da quello della LS: la distanza tra tale binario di progetto e quello esistente non deve essere, di norma, inferiore a 5,50 m. In alcuni casi tale parametro può essere ridotto fino a raggiungere il valore di 4,60 m; ciò è possibile solo per tratti di raddoppio in stretto affiancamento di sede in rilevato e trincea, privi di opere d’arte puntuali.

Dal punto di vista altimetrico il tracciato di progetto ripercorre l’andamento di quello della linea storica. La nuova infrastruttura va inoltre ad interferire con numerosi fabbricati sorti ai margini del sedime attuale: per tali fabbricati si è reso necessario prevedere la demolizione.

Le principali opere in terra e d’arte ferroviarie, nonché la risoluzione delle interferenze stradali lungo linea sono di seguito riportate.

Nelle successive tabelle sono riportate le principali opere di linea di entrambi i lotti con indicazioni delle fasi di realizzazione previste in progetto, i ponti e viadotti, i cavalcaferrovia e i sottopassi per entrambi i lotti.

Tabella 5: Opere in terra di linea – Lotto 1

OP	Descrizione OP	TdO	Descrizione TdO	Note
RI01	Rilevato ferroviario da km 0+000.000 a km 1+634.179	RI01A	Rilevato ferroviario lato BP da km 0+000.000 a km 0+096.823	In presenza di esercizio ferroviario
		RI01B	Rilevato ferroviario lato BD da km 0+000.000 a km 0+096.823	
		RI01C	Rilevato ferroviario lato BP da km 0+116.808 a km 0+449.825	
		RI01D	Rilevato ferroviario lato BD da km 0+116.808 a km 0+449.825	
		RI01E	Rilevato ferroviario lato BP da km 0+467.813 a km 0+722.322	
		RI01F	Rilevato ferroviario lato BD da km 0+467.813 a km 0+722.322	
		RI01G	Rilevato ferroviario lato BP da km 0+744.947 a km 1+063.220	
		RI01H	Rilevato ferroviario lato BD da km 0+744.947 a km 1+063.220	
		RI01I	Rilevato ferroviario lato BP da km	

**Relazione descrittiva degli interventi di
consolidamento Lotti 1 e 2**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IA4S 00 D29 RG GB0006 001 A 14 di 84

OP	Descrizione OP	TdO	Descrizione TdO	Note
			1+070.221 a km 1+313.042	
		RI01L	Rilevato ferroviario lato BD da km 1+070.221 a km 1+313.042	
		RI01M	Rilevato ferroviario lato BP da km 1+313.042 a km 1+634.179	
		RI01N	Rilevato ferroviario lato BD da km 1+313.042 a km 1+634.179	
TR01	Trincea ferroviaria da km 1+634.179 a km 1+782.711	TR01A	Trincea ferroviaria da km 1+634.179 a km 1+782.711	in interruzione di esercizio ferroviario
TR02	Trincea ferroviaria da km 1+782.711 a km 2+038.498	TR02A	Trincea ferroviaria lato BD da km 1+782.711 a km 2+038.498	In presenza di esercizio ferroviario
		TR02A	Trincea ferroviaria la BP da km 1+782.711 a km 2+038.498	
TR03	Trincea ferroviaria da km 2+038.498 a km 2+230.000	TR03A	Trincea ferroviaria da km 2+038.498 a km 2+230.000	in interruzione di esercizio ferroviario
RI02	Rilevato ferroviario da km 2+230.000 a km 2+244.142	RI02A	Rilevato ferroviario da km 2+230.000 a km 2+244.142	in interruzione di esercizio ferroviario
RI03	Rilevato ferroviario da km 2+244.142 a km 2+965.754	RI03A	Rilevato ferroviario lato BP da km 2+244.142 a km 2+965.754	In presenza di esercizio ferroviario
		RI03B	Rilevato ferroviario lato BD da km 2+244.142 a km 2+965.754	
RI04	Rilevato ferroviario da km 2+965.754 a km 3+045.657	RI04A	Rilevato ferroviario da km 2+965.754 a km 3+045.657	in interruzione di esercizio ferroviario
RI05	Rilevato ferroviario da km 3+045.657 a km 3+422.396	RI05A	Rilevato ferroviario lato BD da km 3+045.657 a km 3+422.396	In presenza di esercizio ferroviario
		RI05B	Rilevato ferroviario lato BP da km 3+045.657 a km 3+422.396	
RI06	Rilevato ferroviario da km 3+422.396 a km 3+515.692	RI06A	Rilevato ferroviario da km 3+422.396 a km 3+515.692	in interruzione di esercizio ferroviario
TR04	Trincea ferroviaria da km 3+515.692 a km 4+709.039	TR04A	Trincea ferroviaria lato BP da km 3+515.692 a km 4+709.039	In presenza di esercizio ferroviario
		TR04B	Trincea ferroviaria lato BD da km 3+515.692 a km 4+709.039	
RI07	Rilevato ferroviario da km 4+709.039 a km 6+500.000	RI07A	Rilevato ferroviario da km 4+709.039 a km 6+500.000 - Fase 1	In presenza di esercizio ferroviario
		RI07B	Rilevato ferroviario da km 4+709.039 a km 6+500.000 - Fase 2	
		RI07C	Rilevato ferroviario da km 4+709.039 a km 6+500.000 - Fase 3	

Tabella 6: Opere in terra di linea – Lotto 2

OP	Descrizione OP	TdO	Descrizione TdO	Note
TR05	Trincea ferroviaria da km 6+500.000 a km 7+019.979	TR05A	Trincea ferroviaria lato BD da km 6+500.000 a km 7+019.979	In presenza di esercizio ferroviario
		TR05B	Trincea ferroviaria lato BP da km 6+500.000 a km 7+019.979	

**Relazione descrittiva degli interventi di
consolidamento Lotti 1 e 2**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IA4S 00 D29 RG GB0006 001 A 15 di 84

OP	Descrizione OP	TdO	Descrizione TdO	Note
TR06	Trincea ferroviaria da km 7+019.979 a km 7+150.730	TR06A	Trincea ferroviaria da km 7+019.979 a km 7+150.730	in interruzione di esercizio ferroviario
TR07	Trincea ferroviaria da km 7+150.730 a km 7+587.970	TR07A	Trincea ferroviaria lato BP da km 7+150.730 a km 7+587.970	In presenza di esercizio ferroviario
		TR07B	Trincea ferroviaria lato BD da km 7+150.730 a km 7+587.970	
TR08	Trincea ferroviaria da km 7+781.874 a km 8+045.000	TR08A	Trincea ferroviaria lato BP da km 7+781.874 a km 8+045.000	In presenza di esercizio ferroviario
		TR08B	Trincea ferroviaria lato BD da km 7+781.874 a km 8+045.000	
TR09	Trincea ferroviaria da km 8+286.000 a km 8+484.164	TR09A	Trincea ferroviaria da km 8+286.000 a km 8+484.164	In variante di tracciato
TR15	Trincea ferroviaria da km 8+484.164 a km 8+510.000	TR15A	Trincea ferroviaria da km 8+484.164 a km 8+510.000	in interruzione di esercizio ferroviario
TR10	Trincea ferroviaria da km 8+510.000 a km 8+735.000	TR10A	Trincea ferroviaria da km 8+510.000 a km 8+735.000	In variante di tracciato
RI10	Rilevato ferroviario da km 8+890.000 a km 8+925.000	RI10A	Rilevato ferroviario lato BD da km 8+890.000 a km 8+925.000	In presenza di esercizio ferroviario
		RI10B	Rilevato ferroviario lato BP da km 8+890.000 a km 8+925.000	
TR11	Trincea ferroviaria da km 8+925.000 a km 9+044.674	TR11A	Trincea ferroviaria lato BD da km 8+925.000 a km 9+044.674	In presenza di esercizio ferroviario
		TR11B	Trincea ferroviaria lato BP da km 8+925.000 a km 9+044.674	
TR12	Trincea ferroviaria da km 9+044.674 a km 9+185.266	TR12A	Trincea ferroviaria lato BD da km 9+044.674 a km 9+185.266	In presenza di esercizio ferroviario
		TR12B	Trincea ferroviaria lato BP da km 9+044.674 a km 9+185.266	
RI11	Rilevato ferroviario da km 9+185.266 a km 10+510.000	RI11A	Rilevato ferroviario lato BP da km 9+185.266 a km 10+510.000	In presenza di esercizio ferroviario
		RI11B	Rilevato ferroviario lato BD da km 9+185.266 a km 10+510.000	
TR13	Trincea ferroviaria da km 10+510.000 a km 12+025.780	TR13A	Trincea ferroviaria lato BP da km 10+510.000 a km 12+025.780	In presenza di esercizio ferroviario
		TR13B	Trincea ferroviaria lato BD da km 10+510.000 a km 12+025.780	
TR14	Trincea ferroviaria provvisoria da km 7+150.730 a km 7+587.975	TR14A	Trincea ferroviaria lato BP da km 7+150.730 a km 7+587.975	In presenza di esercizio ferroviario

Tabella 7: Ponti e viadotti ferroviari in progetto

LOTTO	WBS	Descrizione	da km	a km
LOTTO 1	VI02	Ponte ferroviario a DB su Via San Donato 1, realizzato con due impalcati a travi incorporate. La fondazione è di tipo profonda.	0+094,779	0+117,417
LOTTO 1	VI03	Ponte ferroviario a DB su Via San Donato 2, realizzato con due impalcati a travi incorporate. La fondazione è di tipo	0+447,486	0+470,189

**Relazione descrittiva degli interventi di
consolidamento Lotti 1 e 2**

COMMESSA IA4S LOTTO 00 D29 CODIFICA RG DOCUMENTO GB0006 001 REV. A FOGLIO 16 di 84

LOTTO	WBS	Descrizione	da km	a km
		profonda.		
LOTTO 1	VI04	Ponte ferroviario a DB su Via Sparto 2, realizzato con due impalcati a travi incorporate. La fondazione è di tipo profonda.	0+721,766	0+745,280
LOTTO 1	VI05	Sottopasso stradale su Via Aldo Moro, realizzato con struttura scatolare e per fasi.	1+067,494	1+067,494
LOTTO 2	VI06	Viadotto ferroviario Smeraldo a DB realizzato con campate in cap di luce 25,00 m. La fondazione è di tipo profonda.	8+086,870	8+287,514
LOTTO 2	VI07	Viadotto ferroviario Paradiso a DB realizzato con campate in cap di luce 25,00 m La fondazione è di tipo profonda.	8+856,203	8+881,203
LOTTO 2	VI08	Ponte ferroviario su Via Isonzo a DB realizzato con impalcato a travi incorporate. La fondazione è del tipo superficiale	10+149,620	10+149,620
LOTTO 2	VI09	Ponte ferroviario su Via Marvin Gelber a DB realizzato con impalcato a travi incorporate. La fondazione è del tipo superficiale	11+867,849	11+867,849

Tabella 8: Cavalcaferrovia di progetto

LOTTO	WBS	Descrizione	Progressiva
LOTTO 1	IV01	Cavalcaferrovia di Via Tiburtina SS5 (NV11)	5+639,362
LOTTO 2	IV02	Cavalcaferrovia di Via del Fiume (NV14)	7+891,528
LOTTO 2	IV03	Cavalcavia di Via Carboni (NV15)	9+535,554

Tabella 9: Sottovia e sottopassi pedonali di progetto

LOTTO	WBS	Descrizione	Progressiva
LOTTO 1	SL01	Sottopasso ciclo-pedonale di Via Alessandro Volta	1+313.042
LOTTO 2	SL02	Sottovia di Via Fontanelle	2+249.682
LOTTO 2	SL03	Sottovia di Via Sandro Pertini	3+574.768
LOTTO 2	SL04	Sottovia stradale dei Mille	4+217.498
LOTTO 2	SL05	Sottopasso ciclabile di Via Chiacchieretta	4+656.308
LOTTO 2	SL06	Sottovia di Via Lago Trasimeno	5+272.699
LOTTO 2	SL07	Sottovia di Via Aterno	7+003.905

Per le opere di sostegno di linea e per eventuali dettagli si rimanda agli elaborati grafici ed alle relazioni delle specifiche opere.

5. PRINCIPALI PROBLEMATICHE GEOTECNICHE RISCONTRATE

5.1 Problematiche per rischio sismico: liquefacibilità dei terreni

5.1.1 Valutazione del rischio di liquefazione

Al fine di definire se nella tratta oggetto della presente relazione vi siano zone potenzialmente instabili nei confronti della liquefazione, sono state condotte una serie di verifiche per la cui descrizione di dettaglio si rimanda alla Relazione Geotecnica.

Le verifiche sono state condotte in accordo al “metodo semplificato” originariamente proposto da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), confrontando lo sforzo di taglio ciclico normalizzato rispetto alla pressione verticale in sito (CSR) e la resistenza normalizzata del terreno al taglio ciclico (CRR). Il rapporto di resistenza ciclica CRR è stato valutato mediante relazioni empiriche che correlano la sollecitazione sismica ai risultati delle prove penetrometriche statiche (CPT) e dinamiche (SPT) eseguite in sito lungo il tracciato.

Il fattore di sicurezza FL rispetto al fenomeno della liquefazione, in accordo a Youd et al. (2001), vale:

$$FL = (CRR_{7.5}/CSR) MSF k_{\sigma}$$

L'indice di Potenziale di Liquefazione (in letteratura LPI, Liquefaction Potential Index) in accordo a Iwasaki et al. (1982) viene determinato come segue:

$$LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot W(z) dz$$

dove $W(z)$ rappresenta un moltiplicatore (peso) linearmente decrescente con la profondità z (da 0 a 20 m) in grado di assegnare una maggiore importanza a ciò che avviene all'interno degli strati più superficiali

5.1.2 Stima cedimento post sismico

Oltre a queste verifiche, sono stati valutati anche i cedimenti da riconsolidazione post-terremoto, a seguito di generazione di sovrappressioni interstiziali durante la fase di scuotimento, sulla base di relazioni derivate da prove di laboratorio, in generale buona relazione con effetti

osservati su scala reale (Idriss & Boulanger, 2008). In particolare, i cedimenti attesi sono stati determinati in accordo alla procedura proposta da Ishihara and Yoshimine (1992), la quale mette in relazione le deformazioni volumetriche post-sisma con i valori massimi di sforzo a taglio sviluppati durante i cicli di carico non drenato e la densità relativa iniziale del suolo.

5.1.3 Valutazione qualitativa dei danni in superficie

In aggiunta alle valutazioni di cedimento atteso di cui sopra è stata effettuata anche una valutazione di quelle che potrebbero essere i risentimenti in superficie della liquefazione, utilizzando le curve proposte da Ishihara nel 1985 a partire da dataset raccolti durante diversi eventi sismici. In base a queste curve è possibile, in funzione dello spessore di materiale liquefacibile e dello spessore del materiale sovrastante non liquefacibile, valutare se in superficie si possano avere dei danni. Si ricorda che tali curve sono espressamente dedicate ai danni che possono aversi su strutture (edifici) sulla superficie e che si tratta solo di una valutazione qualitativa sulla possibile presenza di “major damages” senza fornire pertanto alcuna stima di una eventuale percentuale del cedimento post-sisma stimato, avvertibile in superficie. Inoltre bisogna tenere conto che i damages a cui si riferiscono le curve di Ishihara sono danni rilevanti e visibili al terreno in superficie che provocano danni significativi alle strutture. Nel nostro caso abbiamo a che fare col corpo ferroviario che è una struttura flessibile e che quindi reagirà in modo diverso anche al danno al terreno in superficie.

5.1.4 Sintesi dei risultati ottenuti

Sulla base di quanto sopra esposto sono state condotte le verifiche a liquefazione ed i risultati ottenuti, letti criticamente alla luce del dato stratigrafico e dei risultati delle indagini di laboratorio, sono di seguito riportati.

In sintesi, gli spessori di materiale potenzialmente liquefacibile sono riportati nella seguente Tabella 10.

Tabella 10: Sintesi dei risultati delle verifiche a liquefazione ed individuazione dei tratti potenzialmente liquefacibili

Tratto di linea	Indagini di riferimento	Quota media piano campagna	Spessore materiale potenzialmente liquefacibile	Elevazione		FL	LPI (*) Classe di pericolosità	Stima cedimento post-sisma atteso (*)
				da [m slm]	a [m slm]			
0+000 – 0+600	SCPTU01, S1, S2	+1.7	-	-	-	-	- (Nessuna)	-
0+600 – 0+900	S3, SCPTU02	+2.0	3	+0.5	-2.5	< 1	0.9 2.2 (Bassa/Moderata)	3.0 5.5 (IV04)
0+900 – 1+480	S4, SCPTU03, S5	+2.5	-	-	-	-	- (Nessuna)	-
1+480 – 1+900	SCPTU04	+4.0	4	-9.8	-14.8	< 1	0.8 (Bassa)	10.8
1+900 – 2+650	-	+8.0	-	-	-	-	- (Nessuna)	-
2+650 – 3+100	CPTU02, S8n	+9.0	3	+5	+2	< 1	7.9 (Alta)	11
3+100 – 4+500	S6, CPTU03	+13.0	-	-	-	-	- (Nessuna)	-
4+500 – 4+800	S7	+14.0	8	+11.3	+3.3	< 1	5.8 (Alta)	20.8
4+800 – 5+100	CPTU04	+15.5	2	+7.5	+5.5	< 1	1.5 (Bassa)	5.2
5+100 – 5+400	CPTU05	+18.5	4	+14.5	+10.5	< 1	2.9 (Moderata)	9
5+400 – 5+850	S8	+19.5	4	+8.9	+4.9	< 1	0.0 2.6 (Bassa/Moderata)	2.8 12.5 (IV01)
5+850 – 6+500	CPTU06	+19.5	3	+19.5	+16.5	< 1	2.0 (Bassa/Moderata)	5.7
6+500 – 6+800	-	+20.0	-	-	-	-	- (Nessuna)	-
6+800 – 7+250	S9	+20.5	2.5	+11.5	+9.0	< 1	2.1 (Bassa/Moderata)	11.7
7+250 – 9+300	S10, S11, SCPTU14, S12, SCPTU13, S14	+27 - +33	-	-	-	-	0 (Nessuna)	-
9+300 – 9+950	S15	+30.0	7	+17.0	+10.0	< 1	0 1.5 (Bassa)	6.8 30.5 (IV03)
9+950 – 10+550	CPTU07	+31.0	-	-	-	-	0 (Nessuna)	-
10+550 – 12+050	S16	+32.0	5	+17	+12	< 1	0 (Nessuna)	2.5

(*) il valore riportato nella seconda linea in corsivo si riferisce ad un valore di V_n pari a 100 anni, tra parentesi è indicata l'opera a cui si riferisce

Si osserva come gli strati caratterizzati da potenziale liquefazione sotto il terremoto di progetto sono generalmente variabili in profondità e, salvo due eccezioni (prog. 4+500 – 4+800 e prog. da 9+300 – 9+950), di spessore relativamente contenuto. Sulla base dei valori di LPI ottenuti (Tabella 10), la pericolosità a liquefazione per il Lotto 1 è classificabile come bassa/moderata, salvo i tratti tra 2+650 – 3+100 e 4+500 – 4+800 dove i valori elevati di LPI e la relativa superficialità degli strati con $FL < 1$ portano a una pericolosità alta di liquefazione, mentre per il Lotto 2 la pericolosità a liquefazione è classificabile come nulla, salvo il tratto tra 6+500 ÷ 7+500 in cui LPI risulta pari a 2.1 e il tratto tra 9+300 – 9+950 dove i valori elevati di LPI e la relativa superficialità degli strati con $FL < 1$ portano a una pericolosità moderata/alta di liquefazione.

Il piano campagna sostanzialmente orizzontale, porta ad escludere fenomeni di scivolamento laterale (o *lateral spreading*) e a considerare il sito come sostanzialmente stabile rispetto al fenomeno della liquefazione. Tuttavia, in fase post-sismica si potranno generare cedimenti legati alla dissipazione delle sovrappressioni interstiziali (cfr. ultima colonna di Tabella 10) dei quali si dovrà tenere conto in sede di progettazione delle opere e/o ripristino a valle dell'evento sismico.

Per quanto riguarda invece la valutazione qualitativa del possibile risentimento in superficie degli effetti della liquefazione, nella successiva Figura 2 sono stati inseriti i dati delle tratte individuate nel grafico di Ishihara.

Da questa valutazione sembrerebbe che i seguenti tratti possono essere ragionevolmente esclusi da quelli che possono avere danni in superficie: 0+600 – 0+900, 4+800 – 5+100, 6+800 – 7+250 e 10+550 – 12+050. Per gli altri tratti rimanenti invece la potenzialità di danno è confermata.

Nel grafico sono riportati coi punti azzurri i tratti potenzialmente soggetti a liquefazione relativi al Lotto 1 e con i punti arancio quelli relativi al Lotto 2 (l'etichetta riporta le progressive e il cedimento atteso calcolato in corrispondenza dell' a_{max} individuata per le opere in zona) mentre con una linea rossa tratteggiata è evidenziata la curva che si riferisce ad $a_{max} = 0.30g$, che si prende come riferimento per il sito in esame.

Effetto della presenza di uno strato non liquefacibile superficiale sui
danni al terreno in superficie (ref. Ishihara, 1985)

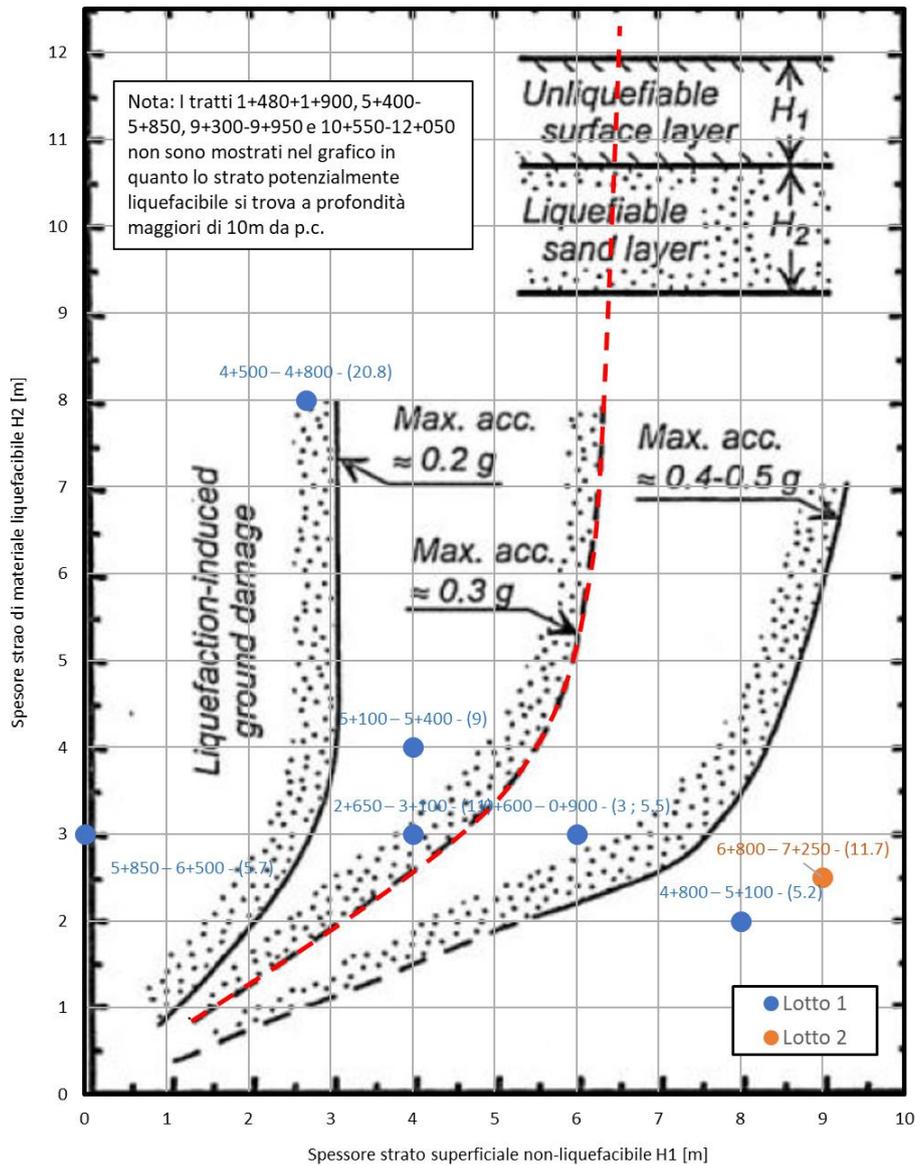


Figura 2: Effetto della presenza di uno strato non liquefacibile superficiale sui danni al terreno in superficie (Ishihara, 1985).

5.1.5 Criteri di valutazione del rischio

Una volta effettuate le verifiche a liquefazione e ottenuti i risultati sintetizzati nella Tabella 10, si è proceduto ad una rivalutazione critica degli stessi in base ai seguenti criteri:

- tipologie di opere presenti nel tratto potenzialmente liquefacibile (se le analisi di stabilità in condizioni sismiche in presenza di liquefazione sono soddisfatte, si ritiene che da questo punto di vista non sia necessario un intervento di mitigazione della liquefazione);
- per la valutazione del **cedimento** atteso post-sisma, valutato sulla superficie dello strato liquefacibile posto in profondità rispetto al p.c., si è ritenuto accettabile un valore massimo di 8-10 cm. Tale assunzione deriva dal fatto che dopo un sisma, di prassi viene applicato quanto previsto nella **specifica [10] RFI DPR PSE 02 1 0 sulla “gestione dell'emergenza in presenza di eventi sismici”** che stabilisce:

- 1) il flusso delle informazioni tra i soggetti coinvolti (compresa Protezione Civile),
- 2) i provvedimenti organizzativi prioritari in termini di circolazione treni e di verifiche infrastrutturali.

Essa si occupa della mappatura delle tratte elementari soggette al sisma, e delle disposizioni per l'attuazione delle misure di degrado della circolazione.

In particolare i valori di Magnitudo con i quali vengono gestite le condizioni all'esercizio della linea ferroviaria citate nelle suddette Istruzioni, sono inferiori a quelli massimi previsti dal progetto.

Oltre ai due criteri principali suddetti, sono stati considerati anche i seguenti elementi che hanno permesso di valutare in modo ancora più completo i potenziali rischi dati dalla liquefazione in caso di evento sismico.

- **Indice** del Potenziale di Liquefazione (se il valore calcolato di LPI risulta basso o nullo il fenomeno è stato ritenuto trascurabile);
- Stima qualitativa dei danni indotti in superficie dalla liquefazione (se la stima considera nulli gli effetti in superficie il fenomeno è stato ritenuto trascurabile).

Pertanto correlando la valutazione del **cedimento** come sopra esposto con valori bassi dell'**Indice** di potenziale liquefazione (LPI), si è ritenuto, in tali casi, di non intervenire sotto il corpo ferroviario.

Come trattato nel capitolo 6 che descrive più estesamente tutti gli interventi messi in atto, si è ritenuto importante, a prescindere dai criteri suddetti applicati per tutto il lungo linea, prevedere in progetto dei consolidamenti anche per quelle opere puntuali (come tombini e sottovia) agganciati a tratti di linea ferroviaria ricadenti in zona a rischio liquefazione ma per i quali non sono previsti interventi nel rispetto dei limiti succitati. Tali opere infatti, se non opportunamente preservate, potrebbero trovarsi in uno stato di “fuori servizio” non più recuperabile a seguito dell'evento sismico.

5.1.6 Analisi delle tratte specifiche

In base ai criteri sopra descritti sono state effettuate le seguenti considerazioni sulle tratte di interesse.

LINEA FERROVIARIA

- km 0+000 – km 0+600: nessun rischio di potenziale liquefazione e Classe di pericolosità Nessuna.
- km 0+600 – km 0+900: tratto soggetto a potenziale liquefazione con Classe di pericolosità Bassa o Moderata, i cedimenti attesi sono contenuti (3 cm) ma lo strato potenzialmente liquefacibile è relativamente superficiale; viene selezionata per verificare la stabilità in condizioni sismiche con presenza di materiale liquefacibile. Le verifiche svolte mostrano la necessità di un intervento che mitighi il rischio liquefazione. In particolare la presenza delle fondazioni su pali del viadotto VI04 localizzato all'interno di questa tratta, rende necessari degli interventi di trattamento, localizzati in corrispondenza dei pali, per evitare effetti di annullamento delle resistenze laterali nel tratto di palo sino alla base dello strato liquefacibile con conseguente cedimento post-sisma della porzione di terreno che genererebbe attrito negativo sul palo stesso.
- km 0+900 – km 1+480: nessun rischio di potenziale liquefazione e Classe di pericolosità Nessuna.

- km 1+480 – km 1+900: tratto in cui è stata evidenziata la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile, Classe di pericolosità Bassa e cedimenti attesi dell'ordine dei 10 – 11 cm; vista la relativa profondità dello strato liquefacibile, non si prevede la necessità di realizzare interventi per mitigare il rischio liquefazione.
- km 1+900 – km 2+650: nessun rischio di potenziale liquefazione e Classe di pericolosità Nessuna.
- km 2+650 – km 3+100: tratto in cui è stata evidenziata la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile, Classe di pericolosità Alta e cedimenti attesi dell'ordine degli 11 cm; visto che lo strato potenzialmente liquefacibile è relativamente superficiale, viene selezionata per verificare la stabilità in condizioni sismiche con presenza di materiale liquefacibile. Le verifiche svolte mostrano la necessità di un intervento che mitighi il rischio liquefazione.
- km 3+100 – km 4+500: nessun rischio di potenziale liquefazione e Classe di pericolosità Nessuna.
- km 4+500 – km 4+800: tratto in cui è stata evidenziata la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile, Classe di pericolosità Alta e cedimenti attesi dell'ordine degli 21 cm; vista l'entità dei cedimenti e visto che lo strato potenzialmente liquefacibile è anche relativamente superficiale, si prevede un intervento di consolidamento mirato ad eliminare il rischio di liquefazione, a prescindere dai risultati delle verifiche di stabilità in condizioni sismiche con presenza di materiale liquefacibile;
- km 4+800 – km 5+100: tratto soggetto a potenziale liquefazione con Classe di pericolosità Bassa, i cedimenti attesi sono contenuti (5.2 cm) e lo strato potenzialmente liquefacibile è profondo; non si prevede la necessità di realizzare interventi per mitigare il rischio liquefazione;
- km 5+100 – km 5+400: tratto soggetto a potenziale liquefazione con Classe di pericolosità Bassa o Moderata, i cedimenti attesi sono relativamente contenuti (9 cm) ma lo strato potenzialmente liquefacibile è relativamente superficiale; si prevede un intervento di

consolidamento mirato ad eliminare il rischio di liquefazione, a prescindere dai risultati delle verifiche di stabilità in condizioni sismiche con presenza di materiale liquefacibile.

- km 5+400 – km 5+850: tratto soggetto a potenziale liquefazione con Classe di pericolosità Bassa, i cedimenti attesi sono contenuti (2.8 cm) e lo strato potenzialmente liquefacibile è molto profondo; non si prevede la necessità di realizzare interventi per mitigare il rischio liquefazione.
- km 5+850 – km 6+500: tratto soggetto a potenziale liquefazione con Classe di pericolosità Bassa o Moderata, i cedimenti attesi sono contenuti (5.7 cm) ma lo strato potenzialmente liquefacibile è individuato direttamente a partire dal piano campagna; viene selezionata per verificare la stabilità in condizioni sismiche con presenza di materiale liquefacibile. Le verifiche svolte mostrano la necessità di un intervento che mitighi il rischio liquefazione.
- km 6+500 – km 6+800: nessun rischio di potenziale liquefazione e Classe di pericolosità Nessuna.
- km 6+800 – km 7+250: tratto soggetto a potenziale liquefazione con Classe di pericolosità Bassa o Moderata, i cedimenti attesi sono relativamente contenuti (11.7 cm) e lo strato potenzialmente liquefacibile è molto profondo; non si prevede la necessità di realizzare interventi per mitigare il rischio liquefazione.
- km 7+250 – km 9+300: nessun rischio di potenziale liquefazione e Classe di pericolosità Nessuna.
- km 9+300 – km 9+950: tratto soggetto a potenziale liquefazione con Classe di pericolosità Bassa, i cedimenti attesi sono relativamente contenuti (6.8 cm) e lo strato potenzialmente liquefacibile è molto profondo; non si prevede la necessità di realizzare interventi per mitigare il rischio liquefazione.
- km 9+950 – km 10+550: nessun rischio di potenziale liquefazione e Classe di pericolosità Nessuna.
- km 10+550 – km 12+050: nessun rischio di potenziale liquefazione e Classe di pericolosità Nessuna.

OPERE STRADALI INTERFERENTI

- cavalcaferrovia (IV01) di via Tiburtina SS5 al km 5+639 del tracciato ferroviario: opera in zona soggetta a potenziale liquefazione con Classe di pericolosità Moderata, i cedimenti attesi sono relativamente contenuti (12.8 cm) e lo strato potenzialmente liquefacibile è profondo; viene selezionata per verificare la stabilità in condizioni sismiche con presenza di materiale liquefacibile. Le verifiche di stabilità svolte non mostrano la necessità di un intervento che mitighi il rischio liquefazione, tuttavia vista la presenza di rilevati molto alti, associati ad una stima di cedimenti sia in esercizio che post-sisma non trascurabile, tali interventi sono previsti con doppia valenza: mitigare il rischio liquefazione e ridurre i cedimenti attesi. La presenza di fondazioni su pali per l'opera di scavalco rende poi necessari degli interventi di trattamento localizzati in corrispondenza dei pali stessi, per evitare effetti di attrito negativo dovuti al cedimento post-sisma.
- cavalcaferrovia (IV03) di via Carboni al km 9+535 del tracciato ferroviario: opera in zona soggetta a potenziale liquefazione con Classe di pericolosità Bassa, i cedimenti attesi sono estremamente elevati visti la profondità e lo spessore dello strato liquefacibile (30.5 cm); pertanto per questa opera specifica è stato deciso di prevedere un intervento di consolidamento, mirato ad eliminare il rischio di liquefazione, a prescindere dai risultati delle verifiche di stabilità globale in condizioni statiche e sismiche senza interventi. La presenza di fondazioni su pali per l'opera di scavalco rende poi necessari degli interventi di trattamento localizzati in corrispondenza dei pali stessi, per evitare effetti di attrito negativo dovuti al cedimento post-sisma.

5.2 Problematiche per presenza di materiali cedevoli nel tempo

5.2.1 Valutazione dei cedimenti dei rilevati nel tempo

Come anticipato al precedente paragrafo di inquadramento geotecnico, i terreni presenti in sito, nei primi 20-30m, sono di tipo prevalentemente coesivo (argille limose e limi argillosi e sabbiosi), leggermente sovraconsolidati, e caratterizzati da basse e medio-basse permeabilità. Ciò implica che, una volta caricati, questi terreni cederanno, in modo anche significativo, nel tempo. Vista la

presenza diffusa lungo tutto il tracciato dei Lotti 1 e 2 di questi depositi, è l'entità del carico, ossia l'altezza del rilevato, l'elemento principale nella definizione delle tratte a rischio.

Al fine di valutare i cedimenti attesi per le diverse opere in progetto sono state condotte delle analisi di spostamento in campo statico, costituenti le verifiche SLE richieste dalla Normativa per le opere in terreni sciolti.

Tali analisi sono state condotte per mezzo del codice Plaxis 2D utilizzando un modello costitutivo di tipo elasto-plastico con criterio di rottura alla Mohr Coulomb per le formazioni ghiaioso-sabbiose (G,S), un modello costitutivo di tipo Hardening (Hardening Soil Model) per l'unità L(S) e con un modello costitutivo tipo Cam Clay (Soft Soil Model), sempre con criterio di rottura alla Mohr-Coulomb per le formazioni definite come coesive.

Attraverso questo calcolo è stato possibile ripercorrere la storia tenso-deformativa del sistema rilevato esistente-terreno di fondazione e valutare lo sviluppo nel tempo dei cedimenti dati dalla costruzione del nuovo rilevato.

I calcoli così condotti hanno permesso anche di valutare l'effetto indotto in termini di attrito negativo sui pali di fondazione delle eventuali opere d'arte (fondazioni di spalle dei viadotti, fondazioni di muri di sostegno della sede ferroviaria) ed il relativo impatto sul loro dimensionamento.

5.2.2 Criteri di valutazione

Una volta effettuati i calcoli di cedimento e ottenuti i risultati, si è proceduto ad una valutazione critica degli stessi in base ai seguenti criteri:

- Per i cedimenti dei rilevati ferroviari e dei rilevati stradali di nuova costruzione è stato ritenuto accettabile un valore di cedimento residuo, ossia il cedimento che il rilevato avrà da scontare una volta ultimata la costruzione e dopo la messa in esercizio, sino al termine della vita utile dell'opera definita in progetto, inferiore a 5 cm (tale valore è in accordo a quanto definito nel Capitolato RFI).

- Per i cedimenti del rilevato ferroviario esistente, indotti dalle lavorazioni per la costruzione del nuovo rilevato ferroviario nei tratti in affiancamento, è stato ritenuto accettabile un valore di cedimento sino a circa 8 cm.
- Per quanto riguarda l'attrito negativo indotto sui pali di fondazione delle opere adiacenti i rilevati, è stato valutato in generale non accettabile e pertanto si è proceduto, per tutte le opere su pali in prossimità di rilevati cedevoli, a predisporre interventi di consolidamento specifici mirati sostanzialmente ad eliminare i contributi di cedimento relativo tra pali e terreno adiacente e quindi a prevenire la formazione di attrito negativo sui pali stessi.

5.2.3 Analisi delle tratte specifiche

In base ai criteri sopra descritti sono state effettuate le seguenti considerazioni sulle tratte di interesse.

LINEA FERROVIARIA

- km 0+000 – km 1+250: rilevato alto (altezza massima pari a 5.75 m) per il quale ci si aspettavano cedimenti residui potenzialmente superiori ai limiti di capitolato per il rilevato di progetto e cedimenti in corso d'opera anch'essi considerevoli per la sede ferroviaria esistente. Lungo tale tratta si ha anche la presenza di opere d'arte in linea (viadotti) e muri di sostegno del rilevato ferroviario fondati su pali. Si prevedeva quindi che possano esservi anche effetti in termini di attrito negativo sui pali di fondazione di cui tenere conto nella progettazione. Le analisi effettuate hanno mostrato che sia i cedimenti residui per i binari sul rilevato di progetto, sia quelli del binario esistente durante l'esecuzione dei lavori risultano al di sotto dei limiti fissati. Tuttavia la costruzione del nuovo rilevato induce dei cedimenti nel terreno in cui vengono eseguiti dei pali di fondazione che genererebbero attrito negativo sino a profondità non accettabili da un punto di vista progettuale (circa 15 m da testa palo). Si è valutato quindi di eseguire degli interventi di trattamento che permettano di progettare i pali senza dover considerare l'attrito negativo.
- km 1+250 – km 12+050: rilevato mediamente basso o linea a raso. Non si valutano cedimenti significativi e pertanto non si prevedono interventi di trattamento con la finalità di riduzione dei cedimenti.

OPERE STRADALI INTERFERENTI

- cavalcaferrovia (IV01) di via Tiburtina SS5 al km 5+639 del tracciato ferroviario: opera stradale di scavalco della linea ferroviaria. Dovendo raggiungere l'elevazione necessaria per lo scavalco, la sede stradale che approccia dai due lati il ponte, corre a seconda dell'altezza in parte in rilevato e in parte su scatolari. I rilevati hanno altezza massima pari a circa 5.8 m. Tale sezione è stata selezionata per condurre le verifiche dei cedimenti attesi e le verifiche di stabilità globale. Le valutazioni condotte hanno mostrato la necessità di realizzare interventi di consolidamento per ridurre i cedimenti residui attesi che viceversa non sarebbero accettabili. Nell'ambito della progettazione dell'intero cavalcaferrovia, al fine di uniformarne il comportamento deformativo sono stati previsti anche interventi di consolidamento al di sotto dei tratti in scatolare sempre con finalità di riduzione dei cedimenti. Si ricorda che la zona dell'IV01 risulta anche soggetta a rischio liquefazione e pertanto gli interventi hanno doppia valenza: mitigare il rischio liquefazione e ridurre i cedimenti attesi.
- cavalcaferrovia (IV02) di Via del Fiume al km 7+891 del tracciato ferroviario: opera stradale di scavalco della linea ferroviaria che prevede due paratie di pali accostati che fungono da spalle per l'attraversamento. E' previsto anche un muro di sostegno per la sede stradale, su pali, in approccio all'attraversamento sul lato del binario dispari. Dovendo raggiungere l'elevazione necessaria per lo scavalco, la sede stradale che approccia dai due lati il ponte corre in rilevato. L'opera costituisce un rifacimento di un cavalcaferrovia esistente del quale in parte, laddove possibile perché compatibile con la nuova configurazione di progetto, vengono preservati i rilevati esistenti. In particolare lato binario pari il rilevato viene realizzato mantenendo quasi completamente la sagoma del rilevato esistente e i pali, che fungono da spalle per l'attraversamento, vengono realizzati a partire dal rilevato esistente senza poi effettuare particolari riempimenti alle loro spalle. Lato binario dispari invece la nuova configurazione del cavalcaferrovia non permette di riutilizzare completamente il rilevato esistente e pertanto si ha una zona, proprio a ridosso dell'attraversamento, in cui si deve realizzare un riempimento consistente. Per limitare i cedimenti di questo riempimento si prevede la realizzazione di un

intervento di consolidamento con la doppia funzione di riduzione dei cedimenti e miglioramento del terreno per il progetto dei pali, riducendo la presenza di attrito negativo.

- cavalcaferrovia (IV03) di via Carboni al km 9+535 del tracciato ferroviario: opera stradale di scavalco sia della linea ferroviaria sia di un asse viario. Dovendo raggiungere l'elevazione necessaria per gli scavalchi, la sede stradale che approccia dai due lati i due ponti, corre a seconda dell'altezza in parte in rilevato e in parte su scatolari. I rilevati hanno altezza massima pari a circa 4.5 m. Tale sezione è stata selezionata per condurre le verifiche dei cedimenti attesi in quanto più significativa in termini di carichi, mentre per le verifiche di stabilità globale è stata selezionata la sezione geometricamente più critica anche se associata ad un'altezza minore. Le valutazioni condotte hanno mostrato la necessità di realizzare interventi di consolidamento per ridurre i cedimenti residui attesi che viceversa non sarebbero accettabili. Nell'ambito della progettazione dell'intero cavalcaferrovia, al fine di uniformarne il comportamento deformativo sono stati previsti anche interventi di consolidamento al di sotto dei tratti in scatolare sempre con finalità di riduzione dei cedimenti. Si ricorda che anche la zona dell'IV03 risulta anche soggetta a rischio liquefazione e pertanto gli interventi hanno anche in questo caso doppia valenza: mitigare il rischio liquefazione e ridurre i cedimenti attesi.

6. SOLUZIONI PROGETTUALI: CRITERI ADOTTATI, TIPOLOGIA DI INTERVENTI E APPLICAZIONE

6.1 Premessa

Come illustrato al punto precedente a seconda delle caratteristiche delle opere in progetto e alla tipologia di terreni incontrati in sito, si sono riscontrate le seguenti problematiche da affrontare:

- presenza di materiali potenzialmente liquefacibili che, in concomitanza con l'evento sismico, possono mettere in discussione la stabilità del rilevato o generare cedimenti post-sisma ritenuti troppo elevati sia per l'opera ferroviaria sia per le opere adiacenti, il cui collasso può avere conseguenze sulla funzionalità dell'esercizio ferroviario in atto più gravi dei danni residui sulla piattaforma ferroviaria che saranno oggetto di successivo ripristino;
- cedimenti residui attesi per i rilevati di nuova costruzione durante la vita del rilevato stesso superiori al limite consentito di 5 cm in base a quanto indicato nel Capitolato RFI;
- Fattori di Sicurezza nei confronti della stabilità delle scarpate dei rilevati non soddisfacenti i requisiti minimi di normativa.

Al fine di risolvere tali problematiche si prevede, nell'ambito del progetto in esame, di poter utilizzare due tipologie diverse di trattamento del terreno: Colonne in Deep Mixing e Colonne di Ghiaia. Di seguito sono illustrati le due tecniche di intervento ed i criteri seguiti per la selezione della tipologia di trattamento più adatta alle diverse aree di intervento.

6.2 Colonne in Deep Mixing

Il trattamento in oggetto fa parte dei trattamenti colonnari che prevedono miscelazione profonda per mescolamento meccanico del terreno con miscele cementizie. Solitamente è identificato con il termine deep mixing oppure con gli acronimi DMM (Deep Mixing Method) o DCM (Deep Cement Mixing).

La tecnica del deep mixing risulta essere efficace ai fini sia di ridurre i cedimenti che di mitigazione nei confronti della liquefazione. L'adozione di tale tecnica è limitata principalmente dalla necessità di operare con attrezzature di notevole ingombro che ne impediscono di fatto l'utilizzo per interventi in sottofondazione, in zone urbane o in siti di difficile accesso.

Nel presente progetto si prevede di realizzare colonne di terreno migliorato da un punto di vista meccanico miscelando il terreno stesso insieme ad un legante e/o ad altri materiali che vengono introdotti in forma secca. Il dry mixing è infatti generalmente preferito per terreni limo-argillosi saturi come quelli presenti in sito, in virtù del loro elevato contenuto d'acqua necessario per sviluppare le reazioni di presa del legante. Ovviamente il presupposto affinché possa avvenire la reazione di idratazione nel dry mixing è che il terreno sia immerso in falda o che comunque presenti un livello d'umidità sufficiente. Il getto avverrà a media-bassa pressione (20-40 bar) e con velocità di formazione delle colonne in risalita dell'ordine di 0.7 – 0.9 m/min.

Le colonne in deep-mixing dovranno avere le seguenti caratteristiche minime:

- diametro delle colonne: univocamente determinato dal diametro delle lame dell'elica di perforazione, $D = 600\text{mm}$;
- lunghezza variabile a seconda delle diverse aree di intervento;
- quantità minima di massa del cemento immesso pari al 10% della massa del terreno secco della colonna trattata;
- colonne realizzate con immissione a secco: il cemento potrà essere caricato con sabbia avente dimensione massima minore di 5 mm;
- la resistenza media a espansione laterale libera (q_u) di campioni prelevati dalle colonne non dovrà essere inferiore a: 1 N/mm^2 .

Come già detto questo tipo di intervento risulta essere efficace ai fini sia di ridurre i cedimenti che di mitigazione nei confronti della liquefazione, ma a seconda della finalità la maglia di trattamento da eseguire deve essere di tipologia diversa.

Nel caso di funzione di riduzione dei cedimenti si possono adottare maglie di varie tipologie (quadrata, a quinconce, ...); il requisito è quello di migliorare le caratteristiche del volume di terreno trattato, in modo omogeneo e sufficiente a garantire il miglioramento richiesto delle caratteristiche di deformabilità.

Nel caso invece di mitigazione nei confronti della liquefazione il requisito è quello di modificare le caratteristiche di resistenza del terreno naturale, fino a renderlo non più liquefacibile, in questo caso si preferisce adottare un sistema di celle chiuse (setti perpendicolari tra loro o strutture alveolari) che con la loro geometria garantiscono maggiormente di offrire la resistenza al taglio prevista durante l'evento sismico (si veda a tal proposito le esperienze di Taki et al. 1991, Matsuo et al. 1996, Hausler et al. 2001 e Yamashita et al. 2008).

Nel progetto in esame si prevede quindi di eseguire:

- Maglie di colonne a quinconce ad interasse 2.5 – 2.6 m – per riduzione dei cedimenti al di sotto dei rilevati alti;
- Maglie a setti quadrati di lato 2.4 – 4.2 – 6.0 m – per mitigazione della liquefazione sia al di sotto dei rilevati alti sia in corrispondenza dei pali di fondazione delle opere d'arte.

La scelta delle dimensioni della maglia dipende dalle esigenze specifiche di dimensionamento delle singole aree di intervento.

6.3 Colonne di ghiaia

Il trattamento in oggetto prevede di realizzare il miglioramento delle proprietà del terreno in sito mediante colonne di ghiaia realizzate con vibro-replacement mediante la tecnica con immissione della ghiaia a secco a fondo foro (bottom feed). Dove praticabili, infatti, tali tecniche risultano le più veloci ed economiche. Tuttavia, l'ingombro e gli spazi di manovra delle macchine, la necessità di alimentarle con apporti solidi (sabbia/ghiaia) con il rischio di caduta di tali materiali sulla sede ferroviaria, le dimensioni delle aree di disturbo create in superficie potrebbero rendere queste tecniche applicabili solo limitatamente nel caso in esame e dovendo prevedere opportune protezioni laddove si eseguissero in prossimità della linea esistente in esercizio.

Il metodo a secco, senza fluidi di perforazione, associato all'utilizzo di sola ghiaia naturale consente di operare nelle condizioni di massima compatibilità ambientale.

La tecnologia è particolarmente adatta a risolvere problematiche di mitigazione del rischio liquefazione grazie a tre effetti: l'irrigidimento del terreno per la presenza delle colonne di ghiaia, la compattazione del terreno intercluso tra le colonne, il drenaggio che garantisce la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali.

Le colonne di ghiaia dovranno avere un diametro nominale $D = 800\text{mm}$. La ghiaia da utilizzarsi per la formazione della colonne dovrà essere materiale tipo A1 con Coefficiente di Uniformità minore di 2, con un contenuto di materiale fine ($d < 80$ micron) inferiore al 5%. In accordo al metodo di realizzazione indicato (bottom feed) la distribuzione granulometria dovrà essere del tipo 8/40. La velocità di formazione delle colonne in risalita è nell'ordine di $0.2 - 0.4$ m/min a seconda del tipo di terreno e del diametro da eseguire.

La tecnica di formazione delle colonne di ghiaia è tale da realizzare un miglioramento del volume di terreno trattato non solo per la presenza della colonna che costituisce un elemento più rigido, ma soprattutto per l'addensamento indotto nel terreno tra le colonne. Questa caratteristica consente di migliorare sia le caratteristiche di deformabilità del terreno trattato per una efficace riduzione dei cedimenti dati dalla presenza di materiale cedevole sia le caratteristiche di resistenza al taglio per garantire la stabilità ed eliminare il rischio di potenziale liquefazione. Sulla base di queste considerazioni la maglia di trattamento, al contrario del trattamento con colonne Deep-mixing, può essere sia quadrata che a quinconce qualunque sia la finalità del trattamento.

Nel progetto in esame si prevede quindi di eseguire maglie quadrate di lato $1.7 - 1.9 - 2.15$ m con funzione specifica di mitigazione del rischio di liquefazione.

La scelta delle dimensioni della maglia dipende dalle esigenze specifiche di dimensionamento delle singole aree di intervento.

6.4 Criteri di selezione della tecnologia

Come detto ai punti precedenti entrambe le tecnologie proposte permettono di mitigare il rischio di potenziale liquefazione dei materiali e nel contempo di ridurre i cedimenti attesi dei rilevati, ma hanno caratteristiche di funzionamento e costruttive leggermente diverse e che sono state prese in considerazione nella selezione della tecnologia più adatta per le specifiche sezioni.

In particolare:

- le colonne di ghiaia possono essere convenientemente adottate laddove la piattaforma ferroviaria sia caratterizzata da rilevati di altezza limitata (max 3 m circa) o nulla; dove quindi si hanno minori problematiche legate alle lavorazioni in affiancamento rispetto alle colonne di deep-mixing che possono avere macchinari di dimensioni inferiori e quindi

possono essere utilizzate in modo più efficace laddove ci sono aree ristrette di lavoro e stretta prossimità con la linea in esercizio;

- le colonne in deep-mixing con la configurazione a setti hanno una maggiore efficacia in corrispondenza delle fondazioni su pali permettendo di ridurre al minimo l'impronta del trattamento rispetto all'area della fondazione, mentre le colonne di ghiaia, per lo schema stesso di funzionamento del trattamento richiederebbero per essere efficaci un'area di intervento più estesa;
- le colonne in deep-mixing con maglia a quinconce o quadrata, creando colonne piuttosto rigide, risultano particolarmente efficaci nel trattamento di terreni cedevoli con funzione di riduzione del cedimento.

Sulla base di questi criteri è stata effettuata la selezione della tecnica di consolidamento più adatta alla specifica tratta di intervento.

6.5 Strato di ripartizione

Una volta eseguite le colonne di trattamento si provvederà a stendere uno strato di ripartizione, di spessore pari ad 0.8 m nel caso di colonne in Deep-mixing e pari a 1.0 m nel caso di colonne di ghiaia in funzione della diversa dimensione delle colonne stesse, costituito da materiale granulare opportunamente selezionato su cui costruire il rilevato ferroviario. In particolare, con riferimento alla classificazione CNR-UNI 10006, il materiale sarà di tipo A1, A2, A3 se proveniente da cave di prestito o A1, A2, A3, A4 se proveniente dagli scavi. Il materiale dovrà essere messo in opera a strati di spessore non superiore a 50 cm. (materiale sciolto); per il materiale dei gruppi A2 ed A4 gli strati dovranno avere spessore non superiore a 30 cm. (materiale sciolto).

All'interno dello strato di ripartizione verrà posata una geogriglia sempre con funzione di garantire una uniforme ripartizione del carico del rilevato sulle colonne sottostanti.

La geogriglia posizionata all'interno dello strato di ripartizione dovrà essere del tipo a nastri termosaldati sono prodotte con filamenti di poliestere ad alta tenacità allineati ed incapsulati in una guaina protettiva di rivestimento di polietilene. La resistenza minima a breve termine in direzione longitudinale dovrà essere 100 kNm con una elongazione caratteristica in direzione longitudinale pari al 10%.

Laddove si abbiano le colonne in Deep-mixing eseguite intorno a pali di fondazione con funzione di mitigazione della liquefazione, non si prevede di realizzare uno strato di ripartizione in quanto il plinto stesso funge da ripartitore del carico.

6.6 Interventi adottati nelle tratte specifiche

Nei seguenti paragrafi sono illustrati gli interventi che sono stati previsti per le singole tratte o opere di cui una sintesi è riportata nella tabella di seguito riportata.

Si sottolinea che, laddove i cedimenti residui attesi sul rilevato esistente, durante le fasi di costruzione del nuovo binario pari, sono stati ritenuti accettabili si è comunque considerato di mettere in atto opportune misure di sicurezza, quali per esempio i rallentamenti, e di realizzare un adeguato sistema di monitoraggio degli spostamenti del binario che verrà rilevato con opportuna frequenza.

Ovviamente gli interventi di consolidamento proposti sono stati valutati sempre anche in modo da omogeneizzare il comportamento del rilevato e pertanto verrà realizzata una fascia di transizione tra le zone con trattamento e quelle limitrofe senza trattamento

Relazione descrittiva degli interventi di consolidamento Lotti 1 e 2

COMMESSA IA4S LOTTO 00 D29 CODIFICA RG DOCUMENTO GB0006 001 REV. A FOGLIO 37 di 84

WBS-Opere	Hrli media [m]	Tratto		L tratto [m]	Rischio Liquefazione	Profondità strato liq. da base rilev.		Cedimento POST-SISMA [cm]	LPI [-]	Profondità trattamento* [m]	Solidamento mediante COLONNE DI DEEP MIX				Solidamento mediante COLONNE DI			
		da [m]	a [m]			da [m]	a [m]				Cemento [kg/m3]	Maglia Lato in [m]	D Colonne [mm]	A _{col} /A [-]	Maglia Lato in [m]	D Colonne [mm]	Ac/A [-]	
RI01 (solo Fase 2)	4.5-6	-53	0	53	NO	-	-	-	-	10	150	Quinconce L=2.6	600	5%				
RI01	4.5-6	0	85	85	NO	-	-	-	-	10	150	Quinconce L=2.6	600	5%				
VI02 - Rilevato approccio Spalla A	4.5-6	85	95	10	NO	-	-	-	-	15	150	Quinconce L=2.6	600	5%				
VI02 - Rilevato approccio Spalla B	4.5-6	117	127	10	NO	-	-	-	-	15	150	Quinconce L=2.6	600	5%				
RI01	4.5-6	127	435	308	NO	-	-	-	-	10	150	Quinconce L=2.6	600	5%				
VI03 - Rilevato approccio Spalla A	4.5-6	435	445	10	NO	-	-	-	-	15	150	Quinconce L=2.6	600	5%				
VI03 - Rilevato approccio Spalla B	4.5-6	471	481	10	NO	-	-	-	-	15	150	Quinconce L=2.6	600	5%				
RI01	4.5-6	481	600	119	NO	-	-	-	-	10	150	Quinconce L=2.6	600	5%				
RI01	4.5-6	600	709	109	SI	2.50	5.50	3	0.9	10	150	Setti L=4.2	600	20%				
VI04 - Rilevato approccio Spalla A	4.5-6				SI	2.50	5.50	3	2.2	15	150	Setti L=4.2	600	20%				
VI04 - Spalla A	-				SI	2.50	5.50	3	2.2	15	150	Setti L=4.2	600	20%				
VI04 - Pila	-	709	760	51	SI	2.50	5.50	3	2.2	15	150	Setti L=4.2	600	20%				
VI04 - Spalla B	-				SI	2.50	5.50	3	2.2	15	150	Setti L=4.2	600	20%				
VI04 - Rilevato approccio Spalla B	4.5-6				SI	2.50	5.50	3	2.2	15	150	Setti L=4.2	600	20%				
RI01 (lungo linea San Marco)	4.5-6	760	900	140	SI	2.50	5.50	3	0.9	10	150	Setti L=4.2	600	20%				
RI01 (lungo linea San Marco)	2.5-4.5	900	1050	150	NO	-	-	-	-	-								
RI01	2.5-4.5	1050	1250	200	NO	-	-	-	-	10 - 16 (sotto binario dx)	150	Quinconce L=2.6	600	5%				
LINEA A RASO		1480	1900	420	SI	14.80	18.80	10.80	0.8	-								
RI04	1.0-2.0	2650	2710	60	SI	3.50	6.50	11	7.9	7					Quadrata L=2.15	800	11%	
RI04 - Fermata Aeroporto	-	2710	2960	250	SI	3.50	6.50	11	7.9	8	150	Setti L=4.2	600	20%				
FV02 - Fermata Aeroporto (allargamento)	-	2823	2877	54	SI	3.50	6.50	11	7.9	5	150	Setti L=4.2	600	20%				
RI04	-	2960	3100	140	SI	3.50	6.50	11	7.9	7					Quadrata L=2.15	800	11%	
TR04/RI07	a raso	4500	4800	300	SI	4.70	12.70	20.80	5.8	11					Quadrata L=1.9	800	14%	
SL05 - Sottovia e opere di sostegno	-	4656	-	-	SI	4.70	12.70	20.80	5.8	9					Quadrata L=1.9	800	14%	
SL05 - Impianto di sollevamento	-	4656	-	-	SI	4.70	12.70	20.80	5.8	7					Quadrata L=1.9	800	14%	
TR		4800	5100	300	SI	9.00	11.00	5.20	1.5	-								
RI07	a raso	5100	5400	300	SI	2.50	6.50	9.00	2.9	6					Quadrata L=1.7	800	17%	
IV01-Rilevati	6	5639	280	SI	9.10	13.10	12.50	2.6	14						Quadrata L=1.7	800		
IV01-Spalla A	-	5639	-	SI	9.10	13.10	12.50	2.6	13	150	Setti L=6	600	15%					
IV01-Spalla B	-	5639	-	SI	9.10	13.10	12.50	2.6	11	150	Setti L=6	600	15%					
IV01-Pile	-	5639	-	SI	9.10	13.10	12.50	2.6	11	150	Setti L=6	600	15%					
IV01-Scatolari	-	5639	210	SI	9.10	13.10	12.50	2.6	14						Quadrata L=2.15	800	11%	
LINEA A RASO		5400	5850	450	SI	9.10	13.10	2.80	0.0	-								
RI07	1.0-2.0	5850	6500	650	SI	0.00	3.00	5.70	2.0	3					Quadrata L=2.15	800	11%	
TR05	a raso	6500	7250	750	SI	9.00	11.50	11.7	2.1	-								
IV02	-	7891	36	NO	-	-	-	-	-	14-16	150	Quinconce L=2.5	600	5%				
RI11		9300	9950	650	SI	13.00	20.00	6.8	0.0	-								
IV03-Rilevati	4	9535	80	SI	13.00	20.00	30.5	5	18						Quadrata L=1.9	800	14%	
IV03-Spalle attraversamento ferroviario	-	9535	20	SI	13.00	20.00	30.5	5.0	18	150	Setti L=2.4	600	34%					
IV03-Spalle attraversamento stradale	-	9535	20	SI	13.00	20.00	30.5	5.0	20	150	Setti L=2.4	600	34%					
IV03-Scatolari	-	9535	170	SI	13.00	20.00	30.5	5	18						Quadrata L=1.9	800	14%	
TR13		10550	12050	1500	SI	15.00	20.00	2.5	0.0	-								

*La lunghezza massima delle colonne di trattamento riportata è al netto dello strato superiore di ripartizione in materiale granulare. Per la distribuzione delle lunghezze lungo la sezione trasversale si rimanda agli elaborati specifici di

tratti soggetti a consolidamenti per liquefazione

tratti esclusi dai consolidamenti a seguito di opportune verifiche e considerazioni

In merito alle opere minori (tombini e altre strutture scatolari) che puntualmente intersecano la linea ricadendo in zone a rischio liquefazione, si specifica che, ove non già ricomprese nei tratti di linea oggetto degli interventi suddetti, si è valutata comunque la opportunità di consolidare il terreno di fondazione e quello immediatamente circostante ad essi, laddove il valore del cedimento post sisma atteso sia superiore ai 7-8 cm, ancorché associato a valori medio bassi dell'indice di rischio (LPI). Infatti anche se alcuni tombini o sottovia ricadono in tratti di rilevati/trincee per i quali

non sono stati previsti interventi specifici, si è puntato a preservare il più possibile il loro assetto accettando un danneggiamento e un ordine di spostamenti e rotazioni ben più restrittivo rispetto al corpo ferroviario. Quest'ultimo dopo il sisma può essere localmente risistemato, mentre alcune opere puntuali, se non opportunamente preservate, potrebbero trovarsi in uno stato di "fuori servizio" non più recuperabile.

A completamento del quadro suddetto di interventi previsti, a valle del controllo suddetto, si segnala che sono stati previsti in PD due ulteriori interventi in D.M. localizzato per due gruppi di opere:

Lotto 01: tombino IN00 alla pk 1+814

Lotto 02: tombino IN08 alla pk 7+014 e adiacente sottovia stradale SL07 alla pk 7+004.

Per entrambi sono previsti setti in DM con colonne fi 600 di diametro (con lunghezza L compresa tra 10 e 15 m), a formare maglie da L=4.2 m (% di trattamento area circa del 20%, con 1 fascia per lato rispetto all'opera e 1 fascia al di sotto della impronta di fondazione).

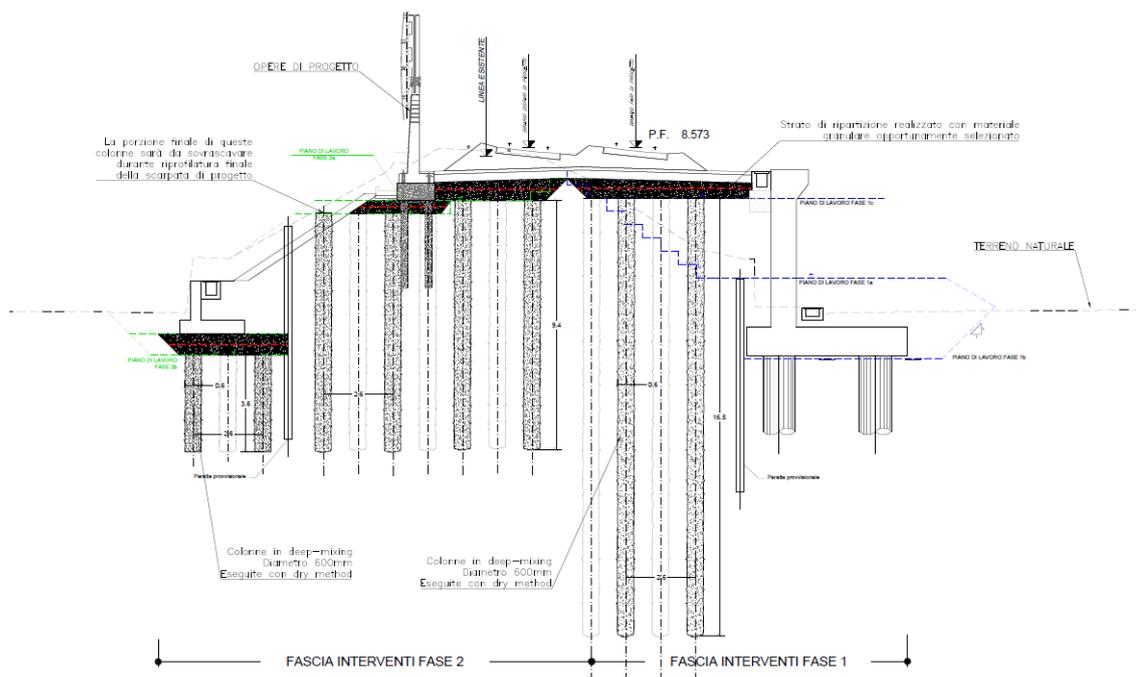
6.6.1 Tratta da 0+000 a 0+600

Come anticipato al precedente paragrafo 5.2, per questa tratta si è in presenza di un rilevato di altezza rilevante con adiacente un muro di sostegno su pali.

Vista la presenza di terreni di fondazione cedevoli, si prevede la realizzazione di un intervento di trattamento finalizzato alla riduzione dei valori assoluti di cedimento attesi, sia prima della messa in esercizio, sia a lungo termine, in modo tale che i cedimenti calcolati risultino talmente bassi da permettere di non considerare effetti di attrito negativo sui pali di fondazione del muro di sostegno lato binario pari.

Vista la finalità del trattamento in questa tratta si prevede la realizzazione di un intervento con colonne in Deep Mixing, di diametro 600 mm, secondo una maglia triangolare (a quinconce) di lato 2.6 m. La sezione rappresentativa dell'intervento in questa tratta è mostrata nella successiva Figura 3, mentre nella Figura 4 è riportato lo stralcio planimetrico. La distribuzione studiata con colonne di lunghezza diversa a seconda delle zone è stata ottimizzata per ottenere gli effetti desiderati e permette non solo di eliminare cedimenti significativi del terreno nella zona prossima

ai pali ma anche di omogeneizzare il comportamento del rilevato RI01 (da 0+000 a 1+250) in continuità anche con il tratto di cui al successivo punto 6.6.2.



Nota:
Gli interventi di consolidamento previsti in Fase 2 al di sotto de binario Dispari di progetto saranno estesi a ritroso anche alla tratta compresa tra le PK 0+0000 e -0+053

Figura 3: Sezione rappresentativa tratte 0+000 – 0+600 e 1+050 – 1+250

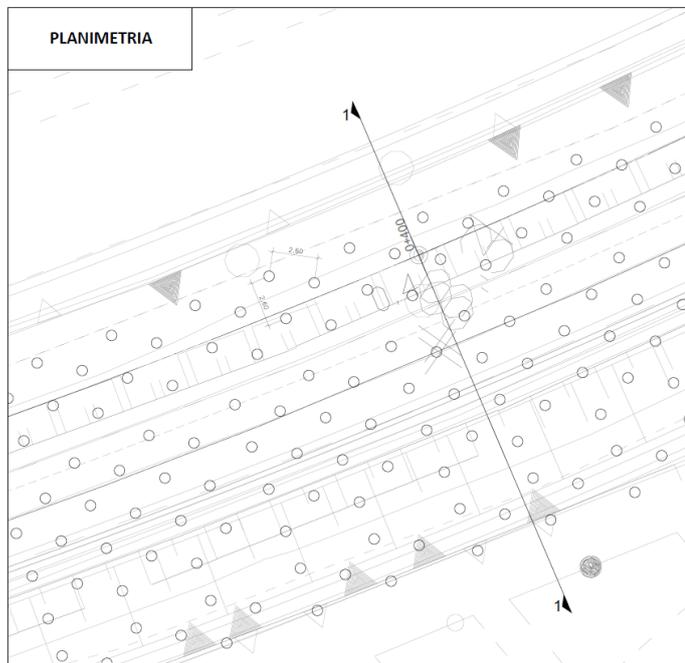


Figura 4: Sezione rappresentativa tratta tratte 0+000 – 0+600 e 1+050 – 1+250 - planimetria

Come si può vedere dalla sezione rappresentativa, l'intervento verrà realizzato per fasi. Nella Fase 1 si prevede di realizzare la nuova sede ferroviaria lato binario pari comprensiva del muro di sostegno su pali, mentre la sede ferroviaria esistente rimane in esercizio. Gli interventi di consolidamento previsti in questa fase vengono realizzati a partire dal piano di lavoro che verrà realizzato tra il rilevato esistente e il muro di sostegno. Le colonne avranno lunghezza pari a 16.5 m e saranno realizzate nella fascia disponibile tra la sede ferroviaria esistente ancora in esercizio e il plinto del muro di sostegno. La lunghezza delle colonne è stata determinata in modo da eliminare effetti di attrito negativo sui pali di fondazione del muro. Durante la Fase 2 l'esercizio ferroviario viene spostato sul nuovo binario pari e si effettuano le lavorazioni lato binario dispari. In questo caso gli interventi di trattamento vengono realizzati a partire da diversi piani di lavoro. Per la parte di trattamento direttamente al di sotto del nuovo binario dispari si realizzeranno all'interno del rilevato esistente colonne di lunghezze rispettivamente 8.6 m e 9.4 m a partire da due piani di lavoro operativi. Per la parte di trattamento al di sotto del muretto su fondazione diretta al piede del rilevato, le colonne saranno invece realizzate con una lunghezza pari a 3.5 m a partire dal piano di

scavo a valle del palancolato provvisorio che verrà installato proprio per la realizzazione del muretto.

6.6.2 Tratta da 0+600 a 0+793

In continuità con la tratta precedente anche tra il km 0+600 ed il km 0+793 si è in presenza di un rilevato di altezza rilevante con adiacente un muro di sostegno su pali.

A differenza del tratto precedente però, oltre alla presenza di terreni di fondazione cedevoli, si ha anche la presenza di uno strato di terreno liquefacibile relativamente superficiale. Si prevede quindi la realizzazione di un intervento di trattamento finalizzato sia alla mitigazione del rischio liquefazione, sia alla riduzione dei valori assoluti di cedimento attesi con le medesime finalità di cui al punto precedente, inclusa l'eliminazione degli effetti di attrito negativo sui pali di fondazione del muro di sostegno lato binario pari.

Vista la doppia finalità del trattamento e la presenza dei pali di fondazione del muro di sostegno per i quali si richiede che il trattamento assicuri la possibilità di non considerare alcun effetto di attrito negativo, sia durante la vita dell'opera sia in condizioni post-sismiche con terreno temporaneamente liquefatto, si è optato, in continuità anche con la tratta precedente, di realizzare setti di colonne affiancate in Deep Mixing, di diametro 600 mm, secondo una struttura a celle quadrate di lato 4.2 m. La maglia di trattamento è stata adattata in corrispondenza dei pali di fondazione del muro in modo da eliminare interferenze e garantire l'efficacia del trattamento nei confronti della liquefazione.

La sezione rappresentativa dell'intervento in questa tratta è mostrata nella successiva Figura 5, mentre nella Figura 6 è riportato lo stralcio planimetrico. La distribuzione studiata con colonne di lunghezza diversa a seconda delle zone è stata ottimizzata in modo analogo alla tratta precedente in modo da ottenere gli effetti desiderati ed omogeneizzare il comportamento del rilevato RI01 (da 0+000 a 1+250) in continuità con i tratti precedente e successivo.

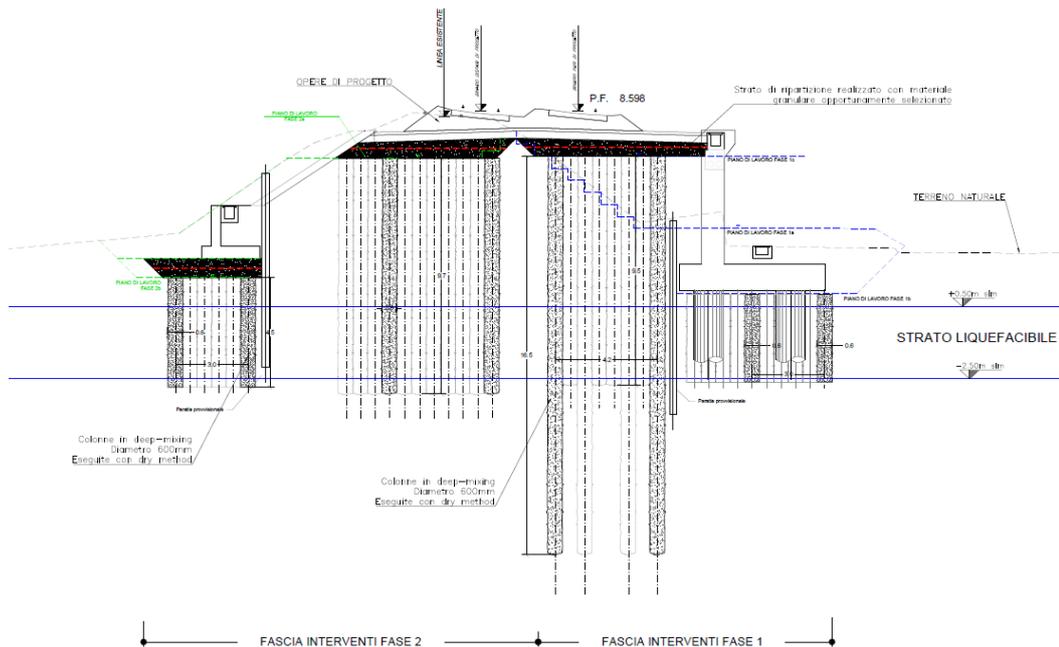


Figura 5: Sezione rappresentativa tratta 0+600 – 0+793

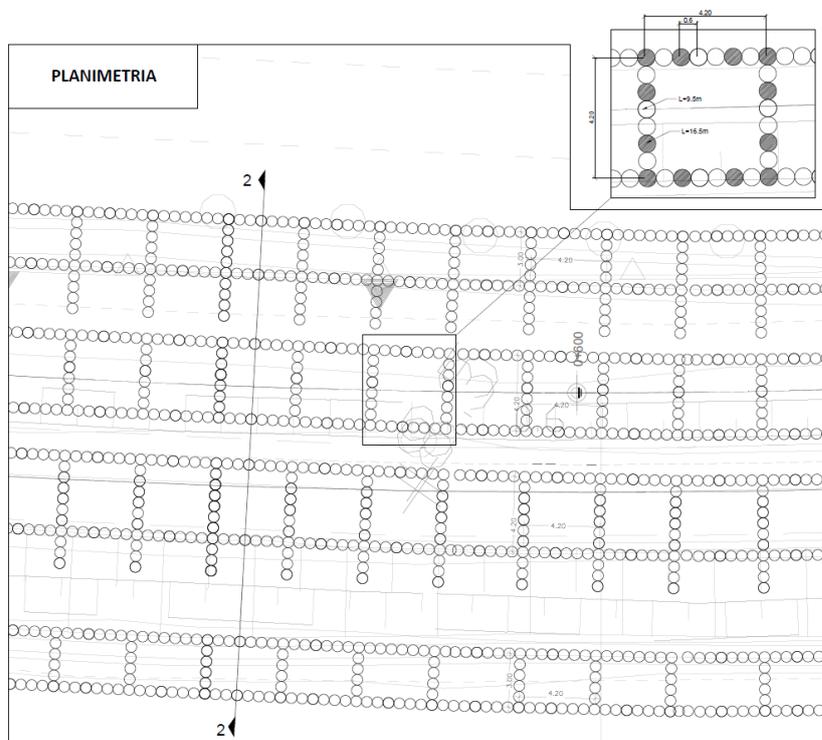


Figura 6: Sezione rappresentativa tratta 0+600 – 0+793 - planimetria



VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA.
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA
– CHIETI. TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

Relazione descrittiva degli interventi di
consolidamento Lotti 1 e 2

COMMESSA IA4S	LOTTO 00 D29	CODIFICA RG	DOCUMENTO GB0006 001	REV. A	FOGLIO 43 di 84
------------------	-----------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

Come si può vedere dalla sezione rappresentativa e dalla planimetria, l'intervento verrà realizzato per fasi. Nella Fase 1 si prevede di realizzare la nuova sede ferroviaria lato binario pari comprensiva del muro di sostegno su pali, mentre la sede ferroviaria esistente rimane in esercizio. Gli interventi di consolidamento previsti in questa fase vengono realizzati inizialmente a partire dal piano di scavo a valle del palancolato provvisorio che verrà installato per la realizzazione del muro di sostegno lato binario pari (colonne di lunghezza pari a 4.0 m mirate a evitare in caso di sisma l'annullamento delle resistenze nello strato che liquefa ed evitare effetti di attrito negativo sui pali dati dal terreno che cederebbe rispetto ai pali) e successivamente a partire dal piano di lavoro che verrà realizzato tra il rilevato esistente e il muro di sostegno. In questa zona le colonne avranno lunghezze variabili: si è infatti previsto di realizzare tutte le colonne di lunghezza minima pari a 9.5 m in modo da attraversare lo strato potenzialmente liquefacibile, e mitigare il rischio da questo punto di vista, con uno schema di trattamento a setti di colonne accostate e di realizzarne alcune con lunghezza maggiore, pari a 16.5 m, in modo da avere una serie di colonne non accostate che permettano, in linea con gli interventi della tratta precedente, di ridurre i cedimenti attesi ed eliminare effetti di attrito negativo sui pali di fondazione del muro. Lo schema planimetrico di Figura 6 mostra la distribuzione in pianta delle colonne con le diverse lunghezze.

Durante la Fase 2 l'esercizio ferroviario viene spostato sul nuovo binario pari e si effettuano le lavorazioni lato binario dispari. In questo caso gli interventi di trattamento vengono realizzati a partire da diversi piani di lavoro. Per la parte di trattamento direttamente al di sotto del nuovo binario dispari si realizzeranno all'interno del rilevato esistente colonne di lunghezza 8.7 m a partire da un piano di lavoro poco al di sotto della nuova sede ferroviaria. Per la parte di trattamento al di sotto del muretto su fondazione diretta al piede del rilevato, le colonne saranno invece realizzate con una lunghezza pari a 4.5 m a partire dal piano di scavo a valle del palancolato provvisorio che verrà installato proprio per la realizzazione del muretto.

6.6.3 Tratta da 0+793 a 0+900

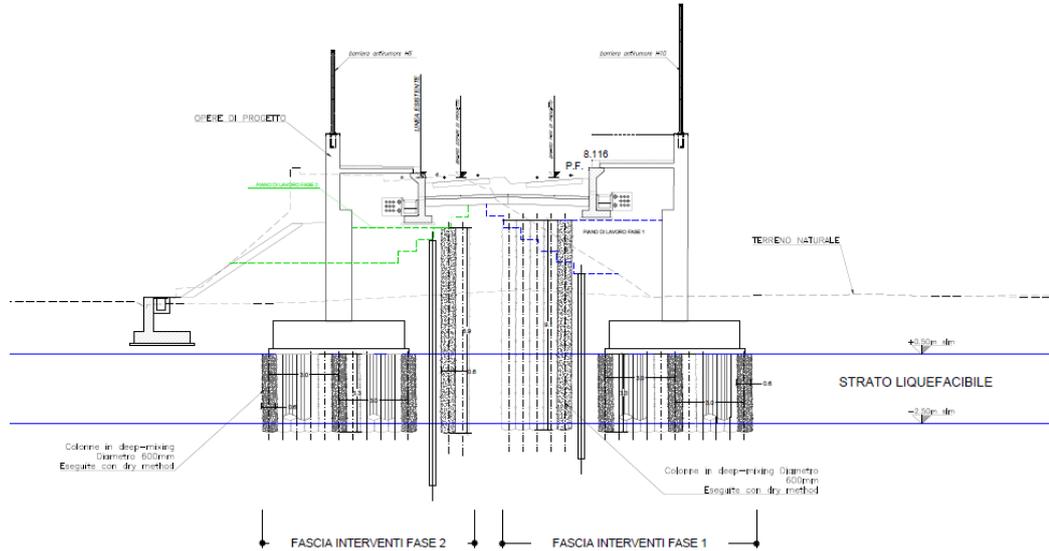
Nella tratta tra il km 0+793 ed il km 0+900 del tracciato è localizzata la prima parte dei marciapiedi della nuova Fermata San Marco e la sezione caratteristica presenta il rilevato

ferroviario coi marciapiedi laterali sostenuto da entrambi i lati da muri su pali; in continuità con la sezione precedente il rilevato ha altezza rilevante.

Come per il tratto precedente, oltre alla presenza di terreni di fondazione cedevoli, si ha anche la presenza di uno strato di terreno liquefacibile relativamente superficiale. Si prevede quindi la realizzazione di un intervento di trattamento finalizzato sia alla mitigazione del rischio liquefazione, sia alla riduzione dei valori assoluti di cedimento attesi, inclusa l'eliminazione degli effetti di attrito negativo sui pali di fondazione dei muri di sostegno della sede ferroviaria, con le medesime finalità di cui al punto precedente

Vista la doppia finalità del trattamento e la presenza dei pali di fondazione dei muri di sostegno per i quali si richiede che il trattamento assicuri la possibilità di non considerare alcun effetto di attrito negativo, sia durante la vita dell'opera sia in condizioni post-sismiche con terreno temporaneamente liquefatto, si è optato, come già fatto nella tratta precedente, di realizzare setti di colonne affiancate in Deep Mixing, di diametro 600 mm, secondo una struttura a celle quadrate di lato 4.2 m. La maglia di trattamento è stata adattata in corrispondenza dei pali di fondazione dei muri in modo da eliminare interferenze e garantire l'efficacia del trattamento nei confronti della liquefazione.

La sezione rappresentativa dell'intervento in questa tratta è mostrata nella successiva Figura 7, mentre nella Figura 8 è riportato lo stralcio planimetrico. La distribuzione studiata con colonne di lunghezza diversa a seconda delle zone è stata ottimizzata in modo analogo alla tratta precedente in modo da ottenere gli effetti desiderati ed omogeneizzare il comportamento del rilevato RI01 (da 0+000 a 1+250) in continuità con i tratti precedente e successivo.



Nota:
Nella tratta da pk 0+793 a 0+900 in corrispondenza della Fermata San Marco, il riempimento sopra la testa delle colonne di trattamento fino alla base del pacchetto di pavimentazione ferroviaria sarà realizzato in Supercompattato.

Figura 7: Sezione rappresentativa Fermata San Marco tratta 0+793 – 0+900

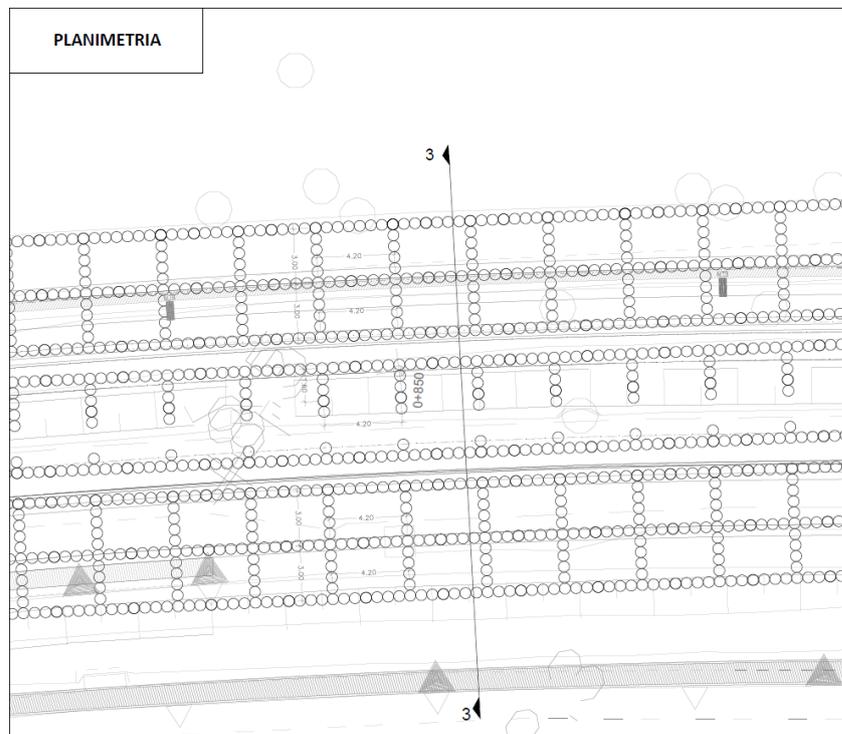


Figura 8: Sezione rappresentativa Fermata San Marco tratta 0+793 – 0+900 - planimetria

Come si può vedere dalla sezione rappresentativa e dalla planimetria, l'intervento verrà realizzato per fasi. Nella Fase 1 si prevede di realizzare la nuova sede ferroviaria lato binario pari comprensiva del muro di sostegno su pali su quel lato, mentre la sede ferroviaria esistente rimane in esercizio. Gli interventi di consolidamento previsti in questa fase vengono realizzati inizialmente a partire dal piano di scavo a valle del palancoato provvisorio che verrà installato per la realizzazione del muro di sostegno lato binario pari (colonne di lunghezza pari a 3.5 m) e successivamente a partire dal piano di lavoro che verrà realizzato tra il rilevato esistente e il muro di sostegno. In questa zona le colonne avranno lunghezza pari a 9.0 m in modo da attraversare lo strato potenzialmente liquefacibile, e mitigare il rischio da questo punto di vista, con uno schema di trattamento a setti di colonne accostate.

Durante la Fase 2 l'esercizio ferroviario viene spostato sul nuovo binario pari e si effettuano le lavorazioni lato binario dispari in modo del tutto simmetrico a quanto visto per la Fase 1. Per la parte di trattamento al di sotto del muro di sostegno le colonne avranno una lunghezza pari a 3.5 m a partire dal piano di scavo a valle del palancoato provvisorio, mentre per la parte di trattamento direttamente al di sotto del nuovo binario dispari si realizzeranno all'interno del rilevato esistente colonne di lunghezza 8.5 m a partire da un piano di lavoro poco al di sotto della nuova sede ferroviaria.

6.6.4 Tratta da 0+900 a 1+050

Nella tratta tra il km 0+900 ed il km 1+050 del tracciato è localizzata la seconda parte della nuova Fermata San Marco e la sezione caratteristica presenta il rilevato ferroviario coi marciapiedi laterali sostenuto da entrambi i lati da muri su pali; in continuità con la sezione precedente il rilevato ha altezza rilevante.

In questo tratto si ha presenza di terreni di fondazione cedevoli, ma al contrario del tratto precedente, non si ha la presenza di terreno liquefacibile. Si sono pertanto svolte delle valutazioni sui cedimenti attesi che hanno mostrato valori estremamente contenuti e nessun impatto in termini di attrito negativo per i pali di fondazione dei muri di sostegno. Questo risultato è dovuto proprio alla presenza dei muri di sostegno che convogliano tutto il carico della nuova sede ferroviaria sui



VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA.
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA
- CHIETI. TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

Relazione descrittiva degli interventi di
consolidamento Lotti 1 e 2

COMMESSA IA4S	LOTTO 00 D29	CODIFICA RG	DOCUMENTO GB0006 001	REV. A	FOGLIO 47 di 84
------------------	-----------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

pali di fondazione andando sostanzialmente a scaricare la zona centrale (effetto arco). Si è concluso quindi che non fosse necessario prevedere alcun tipo di trattamento al di sotto del rilevato ferroviario.

6.6.5 Tratta da 1+050 a 1+250

Nella tratta tra il km 1+050 ed il km 1+250 il tracciato è del tutto analogo a quello della tratta tra il km 0+000 e il km 0+600 con presenza di un rilevato di altezza rilevante con adiacente un muro di sostegno su pali.

Le problematiche sono del tutto analoghe a quella della tratta di cui al paragrafo 6.6.1 e pertanto si prevede di realizzare analoghi interventi per la cui descrizione si rimanda al medesimo paragrafo.

6.6.6 Tratta da 1+250 a 2+650

Nella tratta tra il km 1+250 ed il km 2+650 il tracciato è caratterizzato da rilevati bassi o dalla linea a raso e, laddove si ha la presenza di materiali potenzialmente liquefacibili, come tra il km 1+480 e il km 1+900, si tratta di strati di terreno molto profondi. Non si prevede pertanto la necessità interventi di consolidamento in questa tratta.

6.6.7 Tratta da 2+650 a 2+710

Nella tratta tra il km 2+650 ed il km 2+710 il tracciato è caratterizzato da rilevati di media altezza (circa 3 m) e il terreno di fondazione è costituito da materiale potenzialmente liquefacibile tale da compromettere le condizioni di stabilità del rilevato. In questo tratto, lato binario pari è prevista anche la presenza della barriera antirumore fondata su micropali.

Dai risultati ottenuti dalle analisi effettuate si evince che l'esecuzione degli interventi di consolidamento del terreno di fondazione sia necessaria per la sola esigenza di mitigare il rischio di liquefazione e ridurre i possibili effetti post-sisma stimati che potrebbero compromettere la funzionalità dell'opera.

Vista l'esigenza di trattare il terreno solo ai fini mitigare il rischio liquefazione si è scelto di realizzare colonne di ghiaia di diametro 800 mm, disposte secondo maglia quadrata di lato pari ad

2.15 m. L'effetto del trattamento colonnare modifica le caratteristiche di resistenza al taglio del materiale potenzialmente liquefacibile, irrigidendolo e abbassando di conseguenza i valori dei cedimenti attesi post-costruzione.

La sezione rappresentativa dell'intervento in questa tratta è mostrata nella successiva Figura 9, mentre nella Figura 10 è riportato lo stralcio planimetrico.

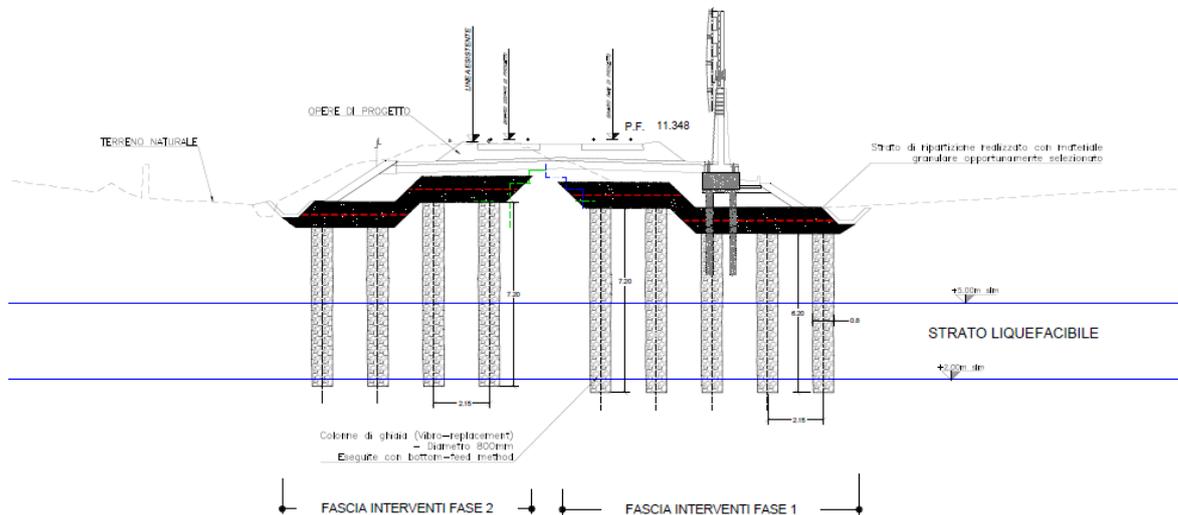


Figura 9: Sezione rappresentativa tratte 2+650 – 2+710 e 2+960 – 3+100

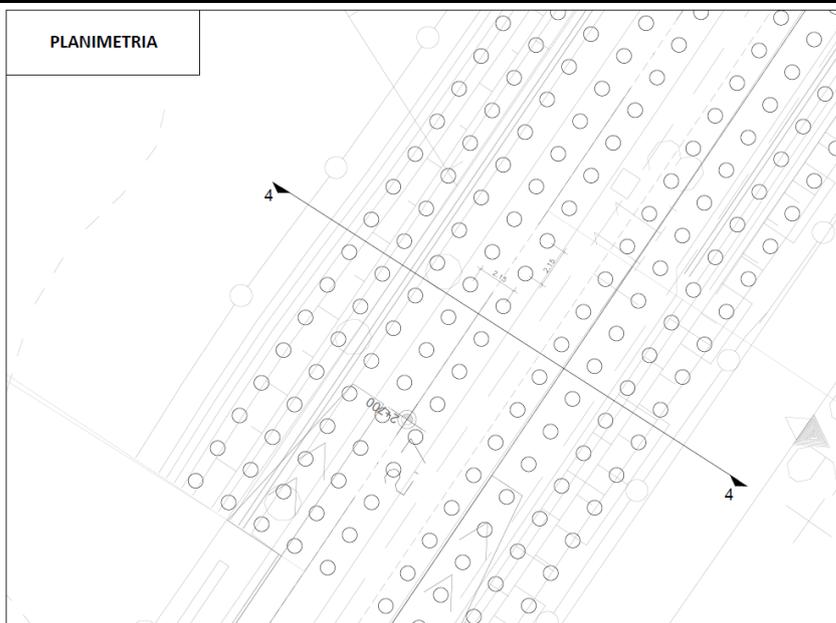


Figura 10: Sezione rappresentativa tratte 2+650 – 2+710 e 2+960 – 3+100 - planimetria

Come si può vedere dalla sezione rappresentativa e dalla planimetria, anche in questo caso l'intervento verrà realizzato per fasi. Nella Fase 1 si prevede di realizzare la nuova sede ferroviaria lato binario pari, mentre la sede ferroviaria esistente rimane in esercizio. Gli interventi di consolidamento previsti in questa fase vengono realizzati inizialmente a partire due piani di lavoro che permettono di realizzare le colonne sotto quasi tutta l'impronta delle sede ferroviaria di progetto. Le colonne avranno lunghezza pari a 7.2 m e 6.2 m in modo da attraversare lo strato potenzialmente liquefacibile, e mitigare il rischio da questo punto di vista. La geometria della maglia sarà opportunamente adattata per la presenza della fondazione su micropali della barriera antirumore.

Durante la Fase 2 l'esercizio ferroviario viene spostato sul nuovo binario pari e si effettuano le lavorazioni lato binario dispari in modo del tutto simmetrico a quanto visto per la Fase 1 e con colonne di lunghezze analoghe.



VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA.
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA
- CHIETI. TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

Relazione descrittiva degli interventi di
consolidamento Lotti 1 e 2

COMMESSA IA4S	LOTTO 00 D29	CODIFICA RG	DOCUMENTO GB0006 001	REV. A	FOGLIO 50 di 84
------------------	-----------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

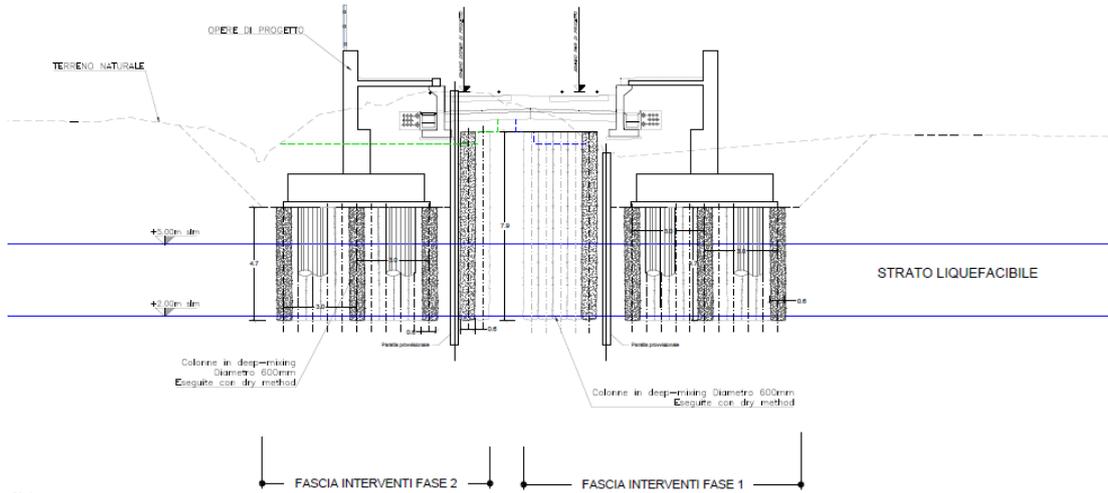
6.6.8 Tratta da 2+710 a 2+960

Nella tratta tra il km 2+710 ed il km 2+960 del tracciato è localizzata la nuova Fermata Aeroporto e la sezione caratteristica presenta il rilevato ferroviario coi marciapiedi laterali sostenuto da entrambi i lati da muri su pali.

Come per il tratto precedente si ha la presenza di uno strato di terreno liquefacibile relativamente superficiale. Si prevede quindi la realizzazione di un intervento di trattamento finalizzato alla mitigazione del rischio liquefazione, inclusa l'eliminazione degli effetti di attrito negativo sui pali di fondazione dei muri di sostegno della sede ferroviaria dovuti ad eventuali cedimenti post-sisma.

Vista la finalità del trattamento e la presenza dei pali di fondazione dei muri di sostegno per i quali si richiede che il trattamento assicuri la possibilità di non considerare alcun effetto di attrito negativo, specialmente in condizioni post-sismiche con terreno temporaneamente liquefatto, si è optato, come già fatto per la fermata San Marco, di realizzare setti di colonne affiancate in Deep Mixing, di diametro 600 mm, secondo una struttura a celle quadrate di lato 4.2 m. La maglia di trattamento è stata adattata in corrispondenza dei pali di fondazione dei muri in modo da eliminare interferenze e garantire l'efficacia del trattamento nei confronti della liquefazione.

La sezione rappresentativa dell'intervento in questa tratta è mostrata nella successiva Figura 11, mentre nella Figura 12 è riportato lo stralcio planimetrico.



Nota:
Nella tratta da pk 2+710 a 2+960 in corrispondenza della Fermata Aeroporto, il riempimento sopra la testa delle colonne di trattamento fino alla base del pacchetto di pavimentazione ferroviaria sarà realizzato in Supercompattato.

Figura 11: Sezione rappresentativa Fermata Aeroporto tratta 2+710 – 2+960

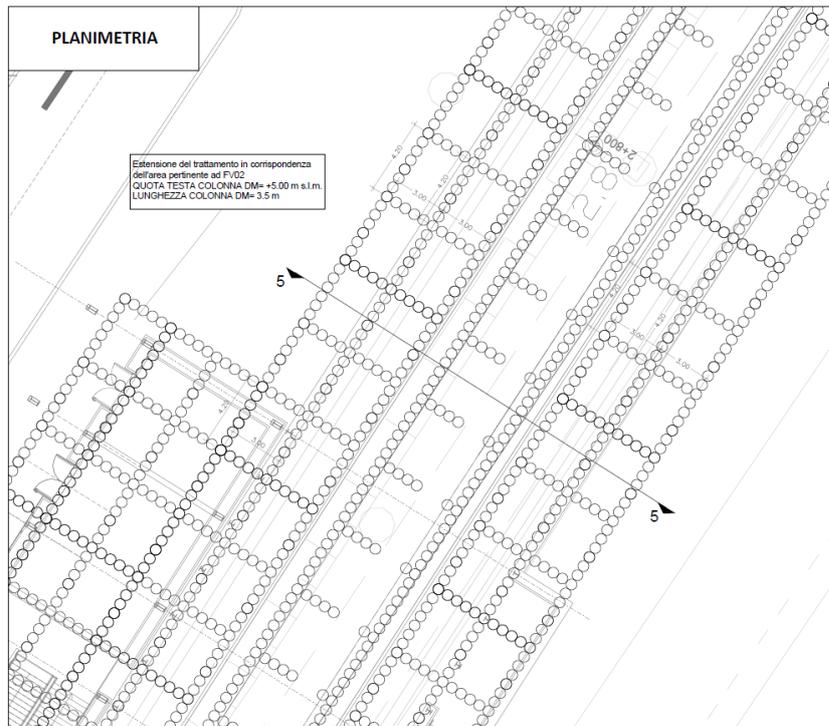


Figura 12: Sezione rappresentativa Fermata Aeroporto tratta 2+710 – 2+960 – planimetria

Come si può vedere dalla sezione rappresentativa e dalla planimetria, l'intervento verrà realizzato per fasi. Nella Fase 1 si prevede di realizzare la nuova sede ferroviaria lato binario pari comprensiva del muro di sostegno su pali su quel lato, mentre la sede ferroviaria esistente rimane in esercizio. Gli interventi di consolidamento previsti in questa fase vengono realizzati inizialmente a partire dal piano di scavo a valle del palancoato provvisorio che verrà installato per la realizzazione del muro di sostegno lato binario pari (colonne di lunghezza pari a 4.7 m) e successivamente a partire dal piano di lavoro che verrà realizzato tra il rilevato esistente e il muro di sostegno. In questa zona le colonne avranno lunghezza pari a 7.9 m in modo da attraversare lo strato potenzialmente liquefacibile, e mitigare il rischio da questo punto di vista, con uno schema di trattamento a setti di colonne accostate.

Durante la Fase 2 l'esercizio ferroviario viene spostato sul nuovo binario pari e si effettuano le lavorazioni lato binario dispari in modo del tutto simmetrico a quanto visto per la Fase 1 e con lunghezze delle colonne analoghe.

6.6.9 Tratta da 2+960 a 3+100

Nella tratta tra il km 2+960 ed il km 3+100 il tracciato è del tutto analogo a quello della tratta tra il km 2+650 e il km 2+710 con presenza di un rilevato di media altezza.

Le problematiche sono del tutto analoghe a quella della tratta di cui al paragrafo 6.6.8 e pertanto si prevede di realizzare analoghi interventi per la cui descrizione si rimanda al medesimo paragrafo.

6.6.10 Tratta da 3+100 a 4+500

Nella tratta tra il km 3+100 ed il km 4+500 il tracciato è caratterizzato da rilevati bassi o dalla linea a raso e non si ha presenza di materiali potenzialmente liquefacibili. Non si prevedono pertanto interventi di consolidamento in questa tratta.

6.6.11 Tratta da 4+500 a 4+800

Nella tratta tra il km 4+500 ed il km 4+800 il tracciato è quasi totalmente a raso e, in tratte di lunghezza limitata, caratterizzato da rilevati di altezza massima di progetto pari a circa 1-2 m, tuttavia il terreno di fondazione è costituito da materiale potenzialmente liquefacibile tale da compromettere le condizioni di stabilità del rilevato. La sezione rappresentativa di questa tratta specifica mostra anche la presenza del muro antisvio lato binario pari e della barriera antirumore lato binario dispari.

Dai risultati ottenuti dalle analisi effettuate si evince che l'esecuzione degli interventi di consolidamento del terreno di fondazione sia necessaria per la sola esigenza di mitigare il rischio di liquefazione e ridurre i possibili effetti post-sisma stimati che potrebbero compromettere la funzionalità dell'opera.

Vista l'esigenza di trattare il terreno solo ai fini mitigare il rischio liquefazione si è scelto di realizzare colonne di ghiaia di diametro 800 mm, disposte secondo maglia quadrata di lato pari ad 1.9 m. L'effetto del trattamento colonnare modifica le caratteristiche di resistenza al taglio del materiale potenzialmente liquefacibile, irrigidendolo e abbassando di conseguenza i valori dei cedimenti attesi post-costruzione.

La sezione rappresentativa dell'intervento in questa tratta è mostrata nella successiva Figura 13, mentre nella Figura 14 è riportato lo stralcio planimetrico.

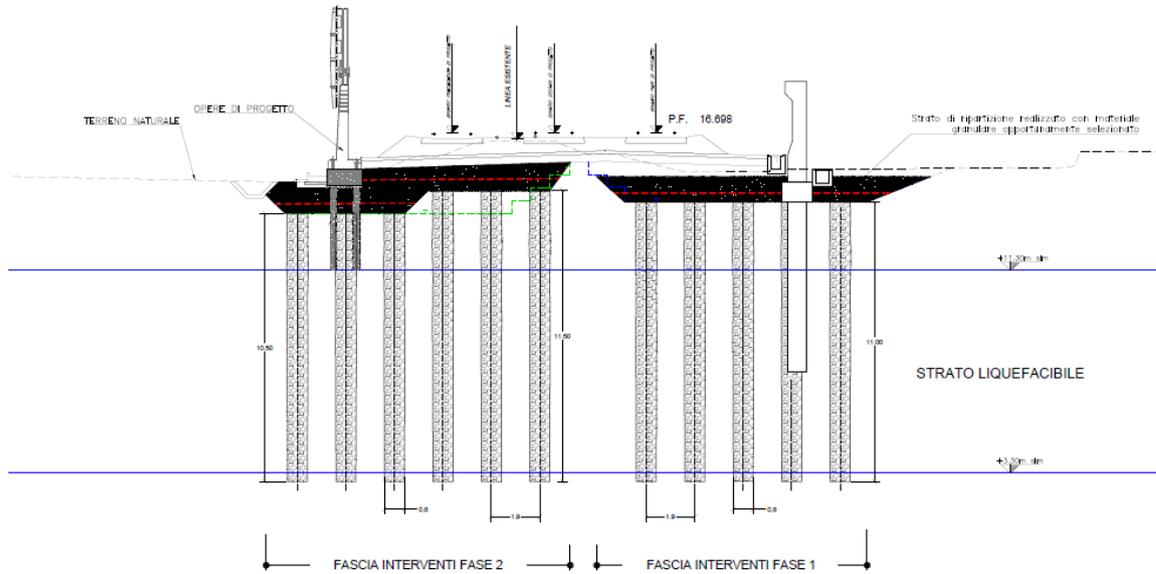


Figura 13: Sezione rappresentativa tratta 4+500 - 4+800

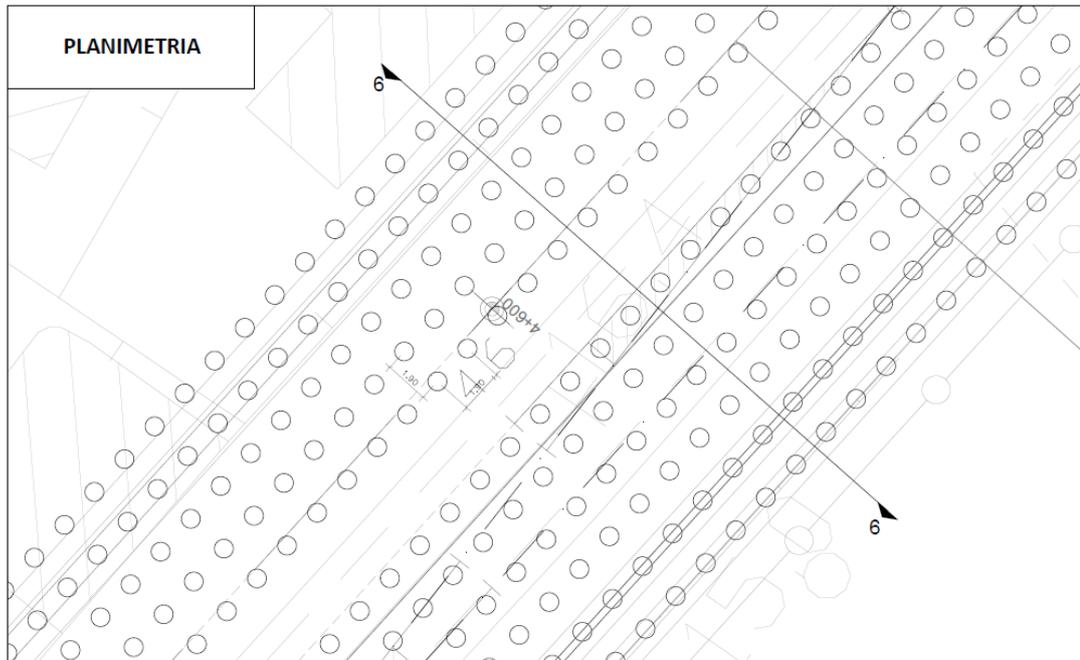


Figura 14: Sezione rappresentativa tratta 4+500 - 4+800 - planimetria



VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA.
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA
- CHIETI. TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

Relazione descrittiva degli interventi di
consolidamento Lotti 1 e 2

COMMESSA IA4S	LOTTO 00 D29	CODIFICA RG	DOCUMENTO GB0006 001	REV. A	FOGLIO 55 di 84
------------------	-----------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

Come si può vedere dalla sezione rappresentativa e dalla planimetria, anche in questo caso l'intervento verrà realizzato per fasi. Nella Fase 1 si prevede di realizzare la nuova sede ferroviaria lato binario pari, mentre la sede ferroviaria esistente rimane in esercizio. Gli interventi di consolidamento previsti in questa fase vengono realizzati a partire dal piano di scavo per la realizzazione della fondazione del muro antisvio e che permette di realizzare le colonne sotto quasi tutta l'impronta delle sede ferroviaria di progetto. Le colonne avranno lunghezza pari a 11 m in modo da attraversare lo strato potenzialmente liquefacibile, e mitigare il rischio da questo punto di vista. La geometria della maglia sarà opportunamente adattata per la presenza della fondazione su pali del muro antisvio.

Durante la Fase 2 l'esercizio ferroviario viene spostato sul nuovo binario pari e si effettuano le lavorazioni lato binario dispari in modo del tutto simmetrico a quanto visto per la Fase 1, realizzando le colonne a partire due piani di lavoro realizzati in scavo per la realizzazione della fondazione della barriera antirumore. Le colonne avranno lunghezza pari a 10.5 m e 11.5 m in modo da attraversare lo strato potenzialmente liquefacibile e completare il trattamento sotto la sede ferroviaria. In modo analogo a quanto fatto lato binario pari, anche su questo lato la geometria della maglia sarà opportunamente adattata per la presenza della fondazione su micropali della barriera antirumore.

6.6.12 Tratta da 4+800 a 5+100

Nella tratta tra il km 4+800 ed il km 5+100 il tracciato è caratterizzato da rilevati bassi o dalla linea a raso e, laddove si ha la presenza di materiali potenzialmente liquefacibili, come tra il km 1+480 e il km 1+900, si tratta di strati di terreno molto profondi. Non si prevede pertanto la necessità interventi di consolidamento in questa tratta.

6.6.13 Tratta da 5+100 a 5+400

Nella tratta tra il km 5+100 ed il km 5+400 il tracciato è quasi totalmente a raso e, in tratte di lunghezza limitata, caratterizzato da rilevati di altezza massima di progetto pari a circa 1-2 m, tuttavia il terreno di fondazione è costituito da materiale potenzialmente liquefacibile tale da compromettere le condizioni di stabilità del rilevato. In questa tratta specifica la sezione

representativa mostra anche la presenza di un muro su fondazione diretta lato binario pari e del muro antisvio lato binario dispari.

Dai risultati ottenuti dalle analisi effettuate si evince che l'esecuzione degli interventi di consolidamento del terreno di fondazione sia necessaria per la sola esigenza di mitigare il rischio di liquefazione e ridurre i possibili effetti post-sisma stimati che potrebbero compromettere la funzionalità dell'opera.

Vista l'esigenza di trattare il terreno solo ai fini mitigare il rischio liquefazione si è scelto di realizzare colonne di ghiaia di diametro 800 mm, disposte secondo maglia quadrata di lato pari ad 1.7 m. L'effetto del trattamento colonnare modifica le caratteristiche di resistenza al taglio del materiale potenzialmente liquefacibile, irrigidendolo e abbassando di conseguenza i valori dei cedimenti attesi post-costruzione.

La sezione rappresentativa dell'intervento in questa tratta è mostrata nella successiva Figura 15, mentre nella Figura 16 è riportato lo stralcio planimetrico.

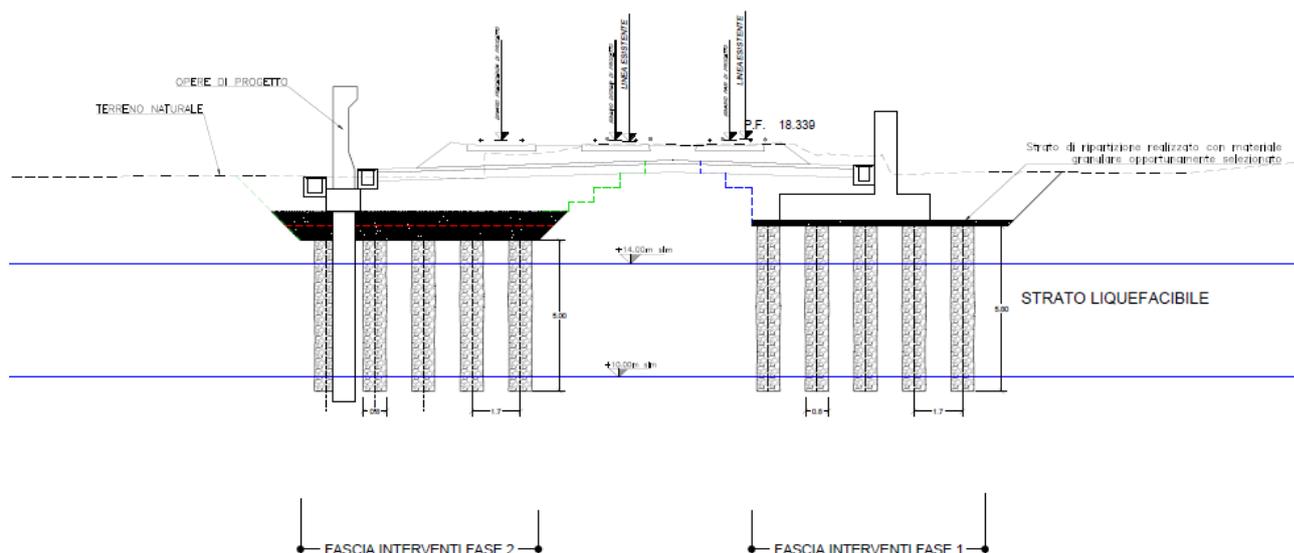


Figura 15: Sezione rappresentativa tratta 5+100 – 5+400

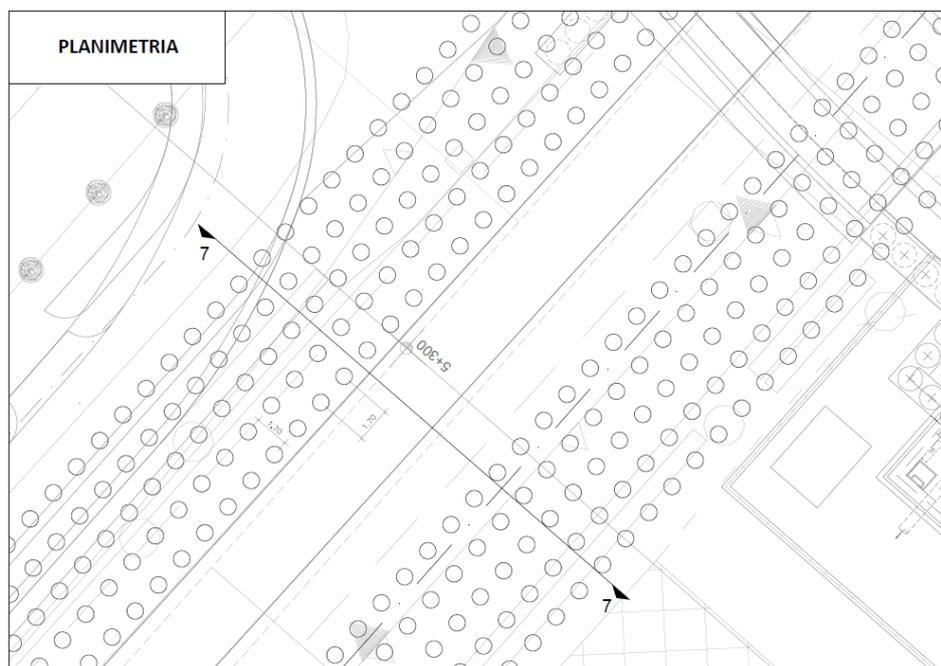


Figura 16: Sezione rappresentativa tratta 5+100 – 5+400 - planimetria

Come si può vedere dalla sezione rappresentativa e dalla planimetria, anche in questo caso l'intervento verrà realizzato per fasi. Nella Fase 1 si prevede di realizzare la nuova sede ferroviaria lato binario pari, mentre la sede ferroviaria esistente rimane in esercizio. Gli interventi di consolidamento previsti in questa fase vengono realizzati a partire dal piano di scavo realizzato per costruire la fondazione del muro e che permette di realizzare le colonne sotto quasi tutta l'impronta delle sede ferroviaria di progetto. Le colonne avranno lunghezza pari a 5.5 m in modo da attraversare lo strato potenzialmente liquefacibile, e mitigare il rischio da questo punto di vista. Vista la presenza della fondazione diretta del muro lato binario pari è stato valutato di ridurre lo spessore dello strato di ripartizione al di sopra delle colonne in questa zona contando sulla funzione di ripartitore che sarà fornita dalla ciabatta di fondazione del muro.

Durante la Fase 2 l'esercizio ferroviario viene spostato sul nuovo binario pari e si effettuano le lavorazioni lato binario dispari in modo del tutto simmetrico a quanto visto per la Fase 1, realizzando le colonne a partire dal piano di scavo realizzato per la fondazione del muro antisivio.

Le colonne avranno lunghezza pari a 5 m in modo da attraversare lo strato potenzialmente liquefacibile e completare il trattamento sotto la sede ferroviaria. Come già previsto lato binario pari, anche lato binario dispari la geometria della maglia sarà opportunamente adattata per la presenza della fondazione su pali del muro antisvio.

6.6.14 Tratta da 5+400 a 5+850

Nella tratta tra il km 5+400 ed il km 5+850 il tracciato è caratterizzato da rilevati bassi o dalla linea a raso e, pur essendoci la presenza di materiali potenzialmente liquefacibili, si tratta di strati di terreno molto profondi. Non si prevede pertanto la necessità interventi di consolidamento in questa tratta.

6.6.15 Tratta da 5+850 a 6+500

Nella tratta tra il km 5+850 ed il km 6+500 il tracciato è caratterizzato da rilevati di altezza massima di progetto pari a circa 1-2 m, tuttavia il terreno di fondazione è costituito da materiale potenzialmente liquefacibile a partire direttamente dal piano campagna, tale da compromettere le condizioni di stabilità del rilevato. In questa tratta specifica la sezione rappresentativa mostra anche la presenza di un muro su fondazione diretta lato binario pari e della barriera antirumore lato binario dispari.

Dai risultati ottenuti dalle analisi effettuate si evince che l'esecuzione degli interventi di consolidamento del terreno di fondazione sia necessaria per la sola esigenza di mitigare il rischio di liquefazione e ridurre i possibili effetti post-sisma stimati che potrebbero compromettere la funzionalità dell'opera.

Vista l'esigenza di trattare il terreno solo ai fini mitigare il rischio liquefazione si è scelto di realizzare colonne di ghiaia di diametro 800 mm, disposte secondo maglia quadrata di lato pari ad 2.15 m. L'effetto del trattamento colonnare modifica le caratteristiche di resistenza al taglio del materiale potenzialmente liquefacibile, irrigidendolo e abbassando di conseguenza i valori dei cedimenti attesi post-costruzione.

La sezione rappresentativa dell'intervento in questa tratta è mostrata nella successiva Figura 17, mentre nella Figura 18 è riportato lo stralcio planimetrico.

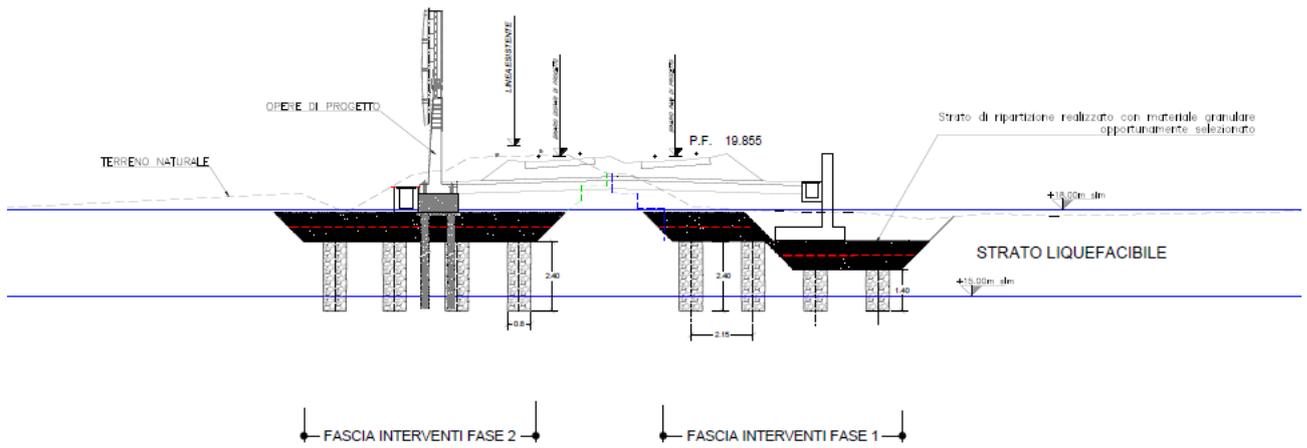


Figura 17: Sezione rappresentativa tratta 5+850 – 6+500



	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
	Relazione descrittiva degli interventi di consolidamento Lotti 1 e 2	COMMESSA IA4S	LOTTO 00 D29	CODIFICA RG	DOCUMENTO GB0006 001	REV. A

Figura 18: Sezione rappresentativa tratta 5+850 – 6+500 - planimetria

Come si può vedere dalla sezione rappresentativa e dalla planimetria, anche in questo caso l'intervento verrà realizzato per fasi. Nella Fase 1 si prevede di realizzare la nuova sede ferroviaria lato binario pari, mentre la sede ferroviaria esistente rimane in esercizio. Gli interventi di consolidamento previsti in questa fase vengono realizzati a partire da due piani di scavo realizzati per costruire la fondazione del muro e che permette di realizzare le colonne sotto quasi tutta l'impronta delle sede ferroviaria di progetto. Le colonne avranno lunghezza pari a 1.4 m e 2.4 m in modo da attraversare lo strato potenzialmente liquefacibile, e mitigare il rischio da questo punto di vista. La limitata estensione della ciabatta di fondazione del muro lato binario pari non ha permesso in questo caso di ridurre lo spessore dello strato di ripartizione al di sopra delle colonne in questa zona.

Durante la Fase 2 l'esercizio ferroviario viene spostato sul nuovo binario pari e si effettuano le lavorazioni lato binario dispari in modo del tutto simmetrico a quanto visto per la Fase 1, realizzando le colonne a partire dal piano di scavo realizzato per la fondazione della barriera antirumore. Le colonne avranno lunghezza pari a 2.4 m in modo da attraversare lo strato potenzialmente liquefacibile e completare il trattamento sotto la sede ferroviaria. Come già previsto lato binario pari, anche lato binario dispari la geometria della maglia sarà opportunamente adattata per la presenza della fondazione su micropali della barriera antirumore.

6.6.16 Tratta da 6+500 a 12+050

Nella tratta tra il km 6+500 ed il km 12+050 il tracciato è caratterizzato da rilevati mediamente bassi o dalla linea a raso e, pur essendoci sporadicamente la presenza di materiali potenzialmente liquefacibili, si tratta di sempre di strati di terreno molto profondi. Non si prevede pertanto la necessità interventi di consolidamento in questa tratta di sede ferroviaria.

6.6.17 Opera IV01 cavalcaferrovia di via Tiburtina SS5 al km 5+639

La sede stradale del Cavalcaferrovia IV01 si sviluppa in parte in rilevato, in parte su scatolari e in parte in viadotto (nella porzione di attraversamento della linea ferroviaria). Per quanto riguarda i

rilevati, trattandosi di rilevati di approccio alle tratte su scatolare, le altezze sono variabili da zero a circa 6 m.

Vista l'altezza significativa del rilevato si è deciso di verificare se la stima di cedimenti attesi fosse compatibile con la funzionalità dell'opera durante la vita utile. Parallelamente si sono verificate anche le condizioni di stabilità del rilevato medesimo tenendo anche conto della presenza di materiale potenzialmente liquefacibile in questa zona.

In aggiunta, visti i risultati delle verifiche a liquefazione si è valutata anche la necessità di interventi di trattamento non solo al di sotto delle porzioni in rilevato ma anche per i tratti su scatolari ed in viadotto.

I risultati ottenuti dai calcoli effettuati hanno mostrato la necessità di prevedere degli interventi di consolidamento per diverse porzioni di tracciato e con diverse finalità.

Tratti in rilevato: su terreno trattato con la finalità sia di ridurre i cedimenti residui post-costruzione sia di mitigare il rischio liquefazione ed azzerare i potenziali cedimenti post-sisma. L'intervento prevede la realizzazione di colonne di ghiaia, di diametro 800 mm, disposte secondo maglia quadrata di lato pari ad 2.15 m, con una lunghezza delle colonne pari a circa 13.5÷14 m. L'effetto del trattamento colonnare modifica le caratteristiche di resistenza al taglio del materiale potenzialmente liquefacibile che in questo modo non lo è più, garantendo la stabilità del rilevato anche in condizioni sismiche. Evidentemente tale intervento consente anche di ridurre i cedimenti residui post-costruzione. La sezione rappresentativa dell'intervento per questo tratto di opera è mostrata nella successiva Figura 19, mentre nella Figura 20 è riportato lo stralcio planimetrico.

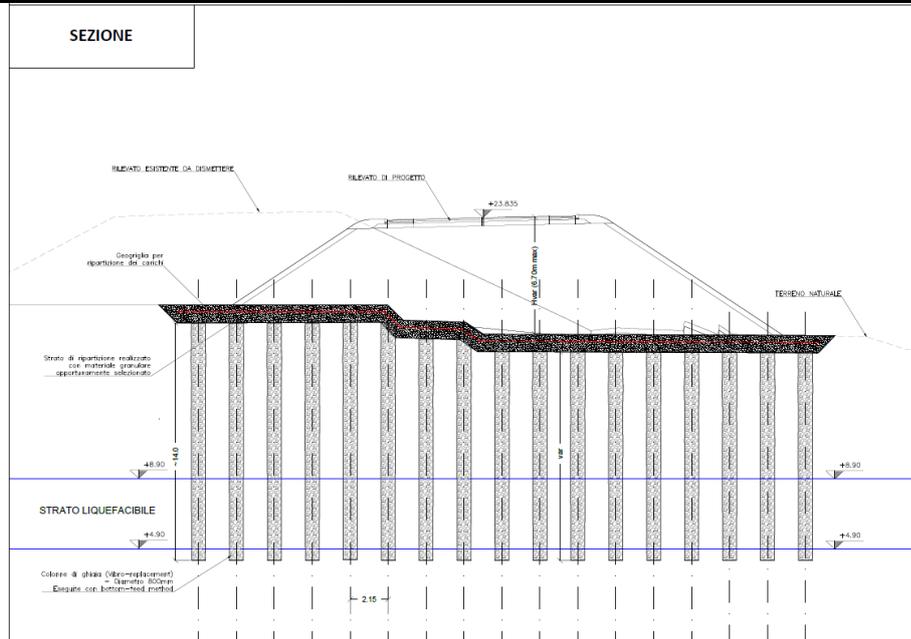


Figura 19: Sezione rappresentativa IV01 - rilevato

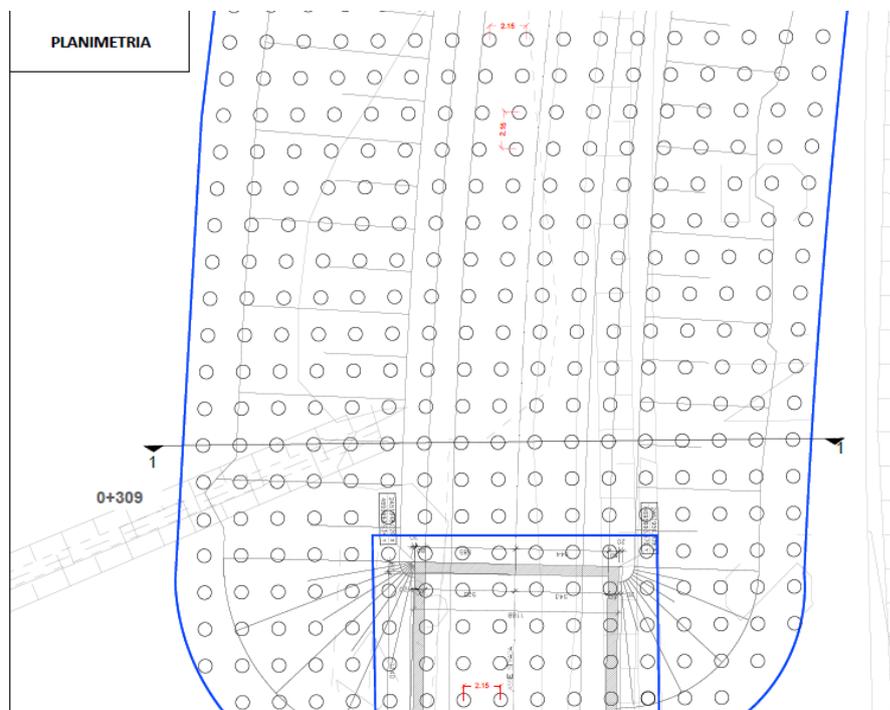


Figura 20: Sezione rappresentativa tratta IV01 - rilevato - planimetria

Tratti su scatolari: su terreno trattato con la finalità sia di ridurre i cedimenti residui post-costruzione sia di mitigare il rischio liquefazione ed azzerare i potenziali cedimenti post-sisma. L'intervento prevede la realizzazione di colonne di ghiaia (vibro-replacement) di diametro di 800 mm disposte secondo maglia quadrata di lato pari ad 2.15 m, con una lunghezza delle colonne pari a circa 11÷13 m. L'effetto del trattamento colonnare modifica le caratteristiche di resistenza al taglio del materiale potenzialmente liquefacibile che in questo modo non lo è più, garantendo la stabilità del rilevato anche in condizioni sismiche. Evidentemente tale intervento consente anche di ridurre i cedimenti residui post-costruzione. La sezione rappresentativa dell'intervento per questo tratto di opera è mostrata nella successiva Figura 21, mentre nella Figura 22 è riportato lo stralcio planimetrico.

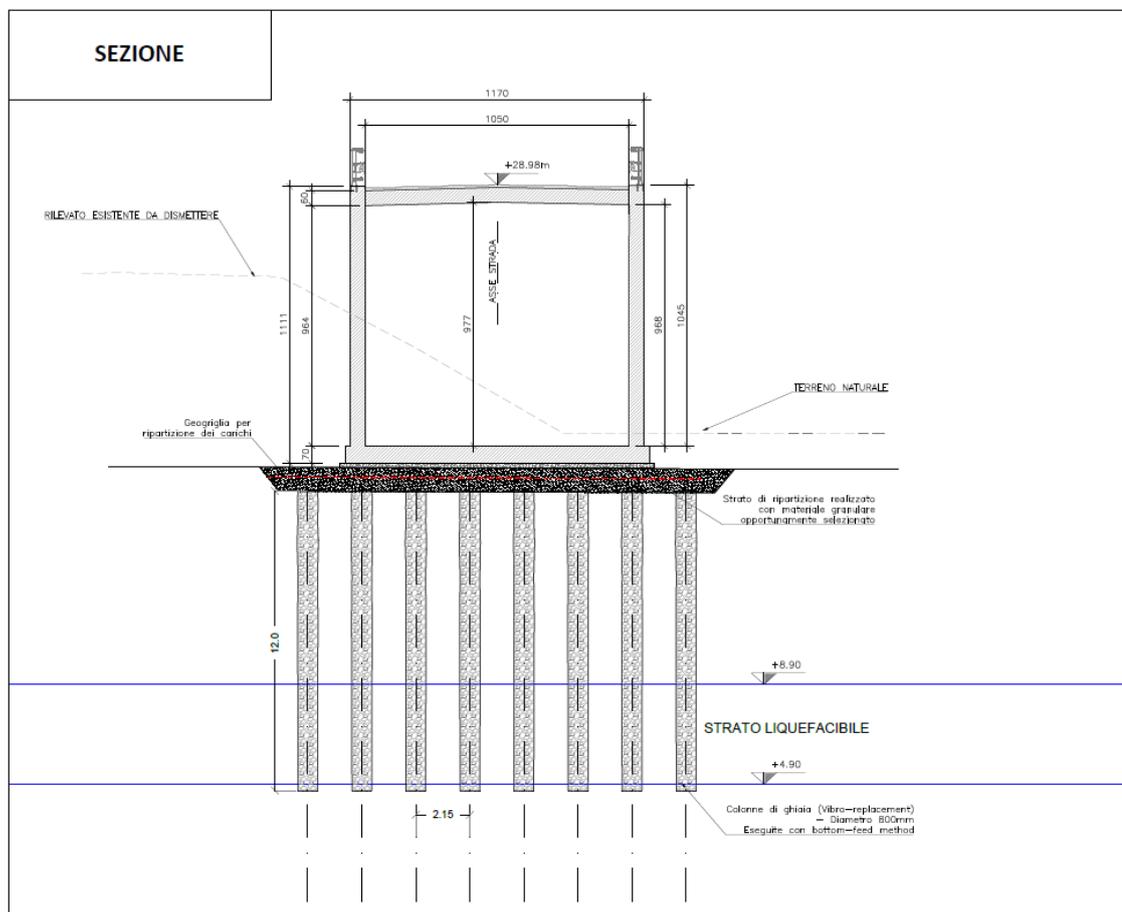


Figura 21: Sezione rappresentativa IV01 - scatolare

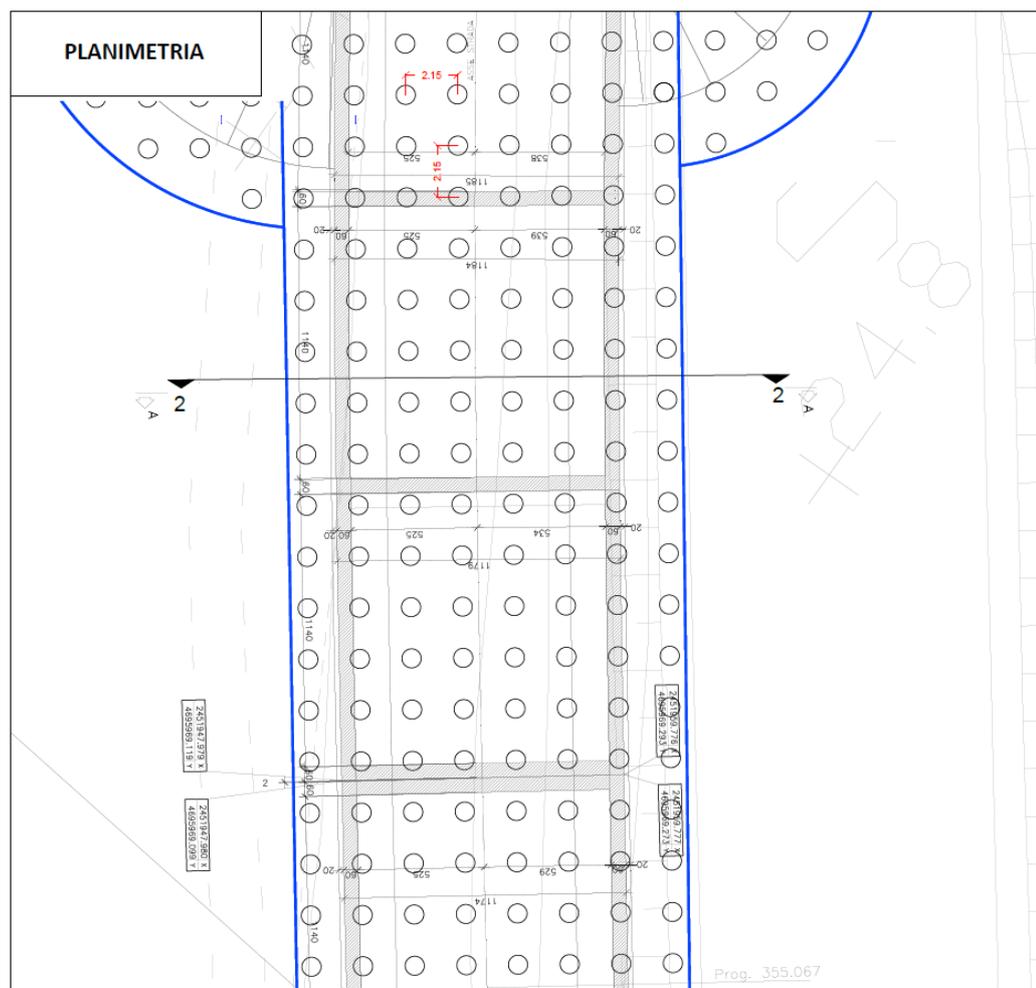


Figura 22: Sezione rappresentativa tratta IV01 - scatolare - planimetria

Porzione in viadotto: come per i tratti su rilevato, su terreno trattato con la finalità di mitigare il rischio liquefazione ed azzerare i potenziali cedimenti post-sisma. L'intervento prevede la realizzazione di colonne in Deep Mixing di diametro di 600 mm disposte a setti secondo una cella quadrata di lato pari a 6 m, con lunghezze delle colonne che, a seconda delle fondazioni (spalle o pile) e della presenza delle paratie provvisionali di micropali, risultano variabili tra i 10 m e i 13 m circa. L'effetto del trattamento colonnare d'altra parte modifica le caratteristiche di resistenza al

taglio del materiale potenzialmente liquefacibile che in questo modo non lo è più, garantendo la mitigazione del rischio liquefazione, evitando l'annullamento delle resistenze nello strato che liquefa, e permettendo un dimensionamento più contenuto dei pali evitando effetti di attrito negativo.

Vista la presenza di alcune paratie provvisionali di micropali, la realizzazione delle colonne in deep-mixing di trattamento in corrispondenza di queste fondazioni dovrà necessariamente essere svolta per fase a partire da diversi piani di lavoro.

In particolare la Fase 1 per quanto riguarda i consolidamenti prevedrà le attività di seguito elencate e rappresentate nella successiva Figura 23.

FASE 1

Esecuzione delle colonne in Deep-mixing a formare la prima parte della configurazione a setti previsti per mitigare il rischio liquefazione per le fondazioni su pali.

In particolare verranno realizzate le colonne che possono essere eseguite direttamente da un piano di lavoro coincidente con il piano campagna esistente.

- Per la Spalla SA si eseguono le colonne relative ai lati esterni del trattamento non interferenti con la paratia di micropali - Quota di esecuzione variabile +25m s.l.m. - +18m s.l.m.
- Per la Pila P1 si eseguono tutte le colonne (sia lati esterni, sia setti interni) - Quota di esecuzione variabile: +23m s.l.m. - +18m s.l.m.
- Per la Pila P2 si eseguono le colonne relative ai lati esterni del trattamento non interferenti con la paratia di micropali - Quota di esecuzione variabile: +25m s.l.m. - +19m s.l.m.
- Per la Spalla SB si eseguono le colonne relative ai lati esterni del trattamento non interferenti con la paratia di micropali - Quota di esecuzione variabile: +24m s.l.m. - +19m s.l.m.

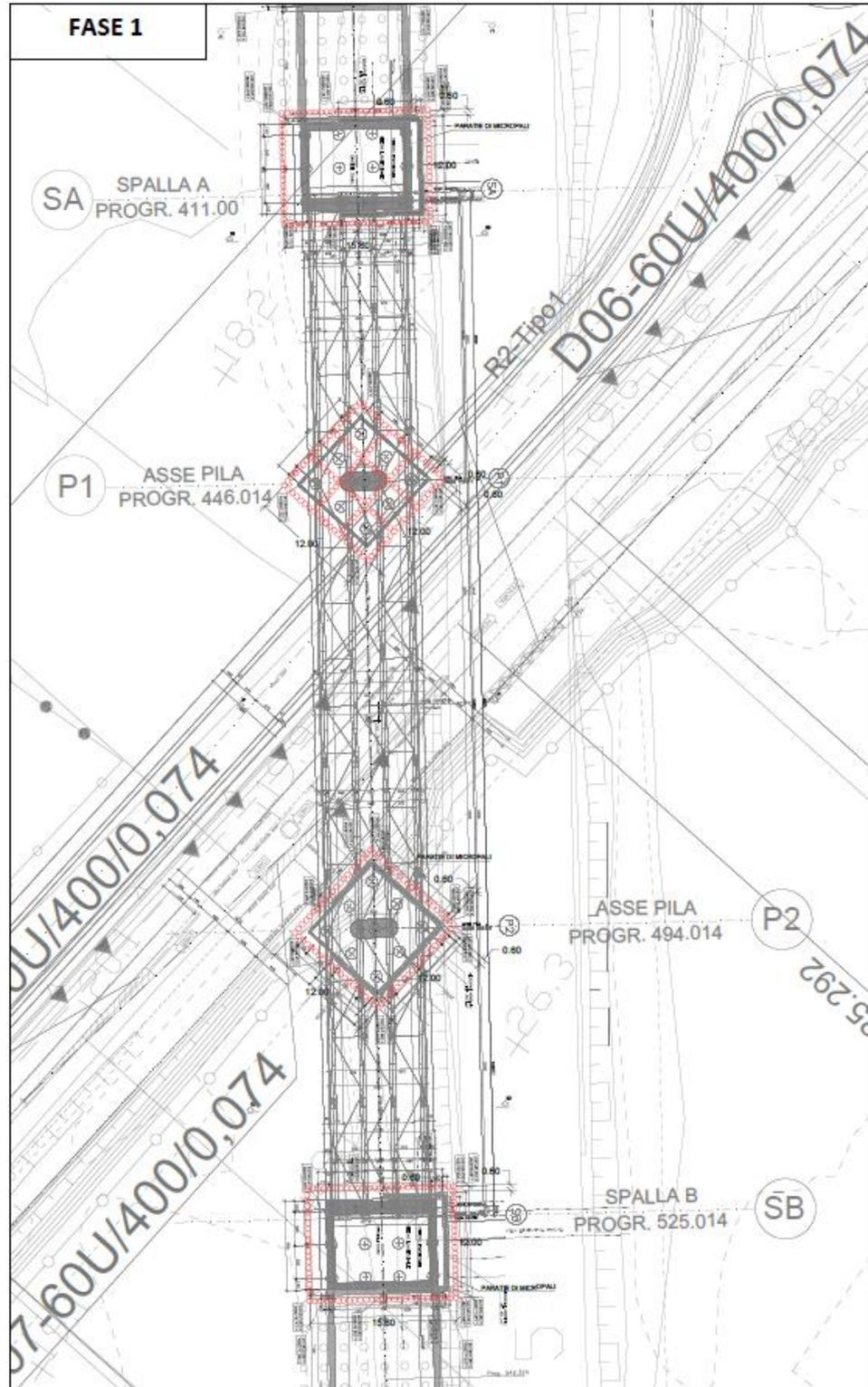


Figura 23: Sezione rappresentativa IV01 – fondazioni su pali – Fase 1

La Fase 2 dei lavori di realizzazione dei consolidamenti prevedrà invece le attività di seguito elencate e rappresentate nella successiva Figura 24.

FASE 2

Esecuzione delle colonne in Deep-mixing per completare la configurazione a setti iniziate in Fase 1.

In particolare verranno realizzate le ultime colonne che saranno eseguite dal piano di lavoro realizzato all'interno delle paratia di micropali eseguite per realizzare le fondazioni.

- Per la Spalla SA si eseguono le colonne relative ai setti interni del trattamento - Quota di esecuzione +17.25m s.l.m.
- Per la Pila P2 si eseguono le colonne relative ai setti interni del trattamento - Quota di esecuzione +14.77m s.l.m.
- Per la Spalla SB si eseguono le colonne relative ai setti interni del trattamento - Quota di esecuzione +16.79m s.l.m.

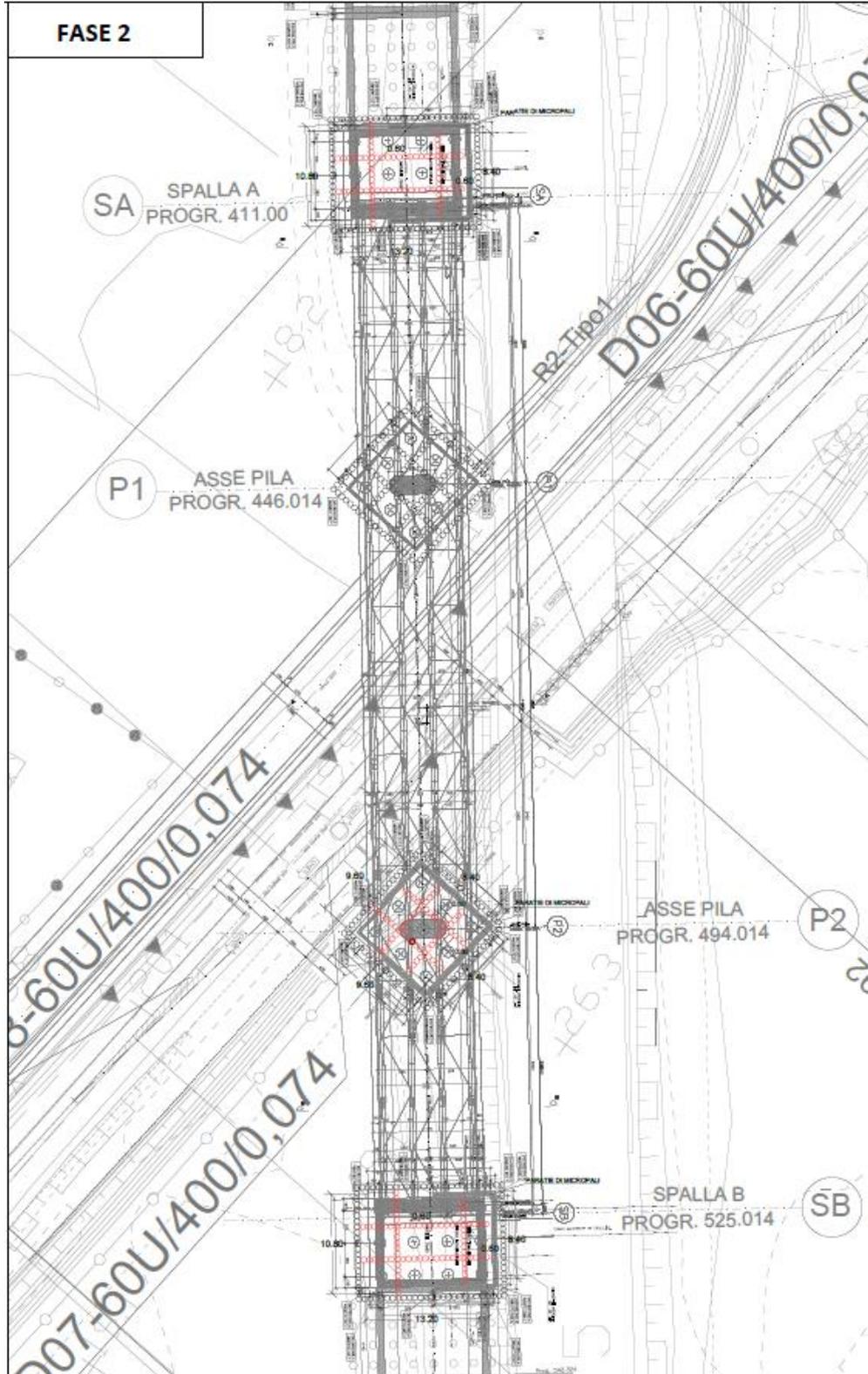


Figura 24: Sezione rappresentativa tratta IV01 - fondazioni su pali – Fase 2

6.6.18 Opera IV02 cavalcaferrovia di Via del Fiume al km 7+891

Relativamente all'opera di viabilità stradale IV02 alla progressiva 7+891 del tracciato ferroviario non si ha presenza di materiale potenzialmente liquefacibile tuttavia, vista la presenza di materiale potenzialmente cedevole nel tempo, sono state svolte sia verifiche di stabilità globale sia verifiche di cedimenti attesi del rilevato in corrispondenza di diverse sezioni ritenute significative per l'opera.

Nonostante la stima di cedimenti attesi abbia mostrato valori di cedimenti residui accettabili, trattandosi di rilevati in terra che vanno ad approcciare l'opera di attraversamento che poggia sulle paratie di pali, si è ritenuto opportuno nella zona in cui si hanno gli spessori di riempimento maggiori, prevedere degli interventi di consolidamento, a prescindere dai risultati delle verifiche di stabilità globale, allo scopo di ridurre in modo significativo i valori assoluti di cedimento atteso e garantire il contenimento del cedimento residuo all'interfaccia dell'opera di attraversamento su pali così da limitare il più possibile gli effetti di attrito negativo sui pali.

Si prevede quindi di realizzare in una fascia limitata a tergo della paratia di pali lato binario dispari, un intervento di colonne in Deep Mixing, di diametro 600 mm, secondo una maglia a quinconce ad interasse 2.5 m, con lunghezza delle colonne variabile a seconda delle diverse opere/fondazioni da 14 a 15 m. La sezione rappresentativa dell'intervento per questo tratto di opera è mostrata nella successiva Figura 25, mentre nella Figura 26 è riportato lo stralcio planimetrico.

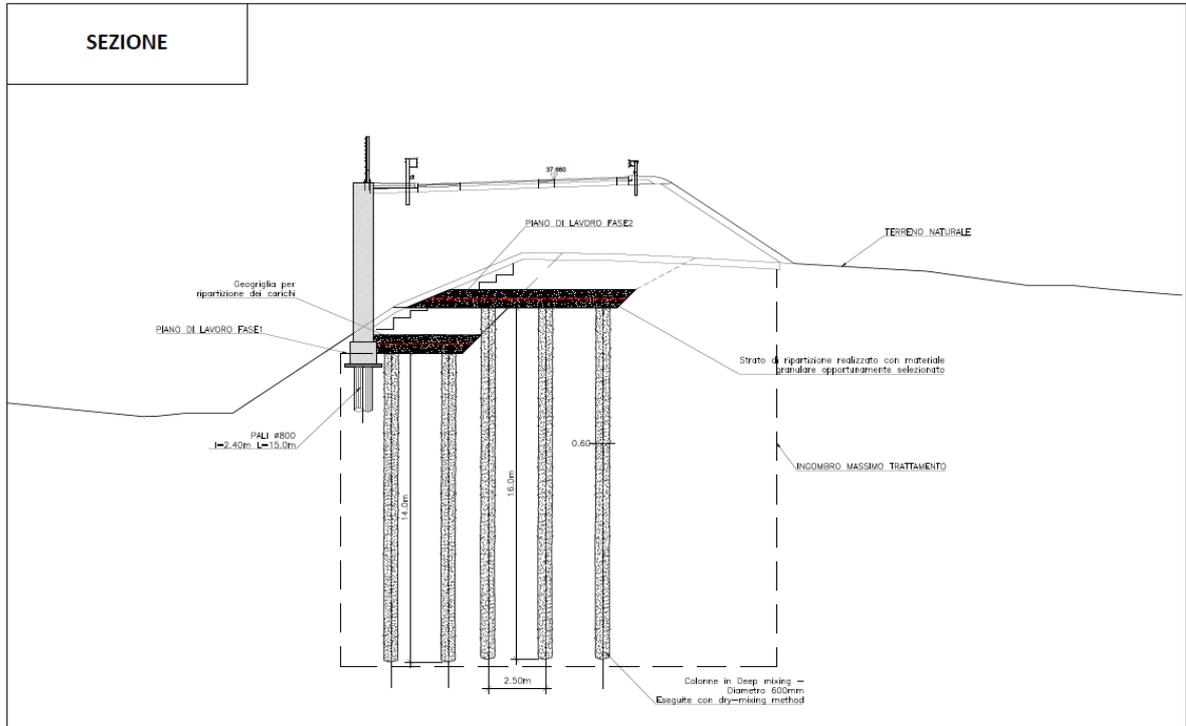


Figura 25: Sezione rappresentativa IV02 - rilevato

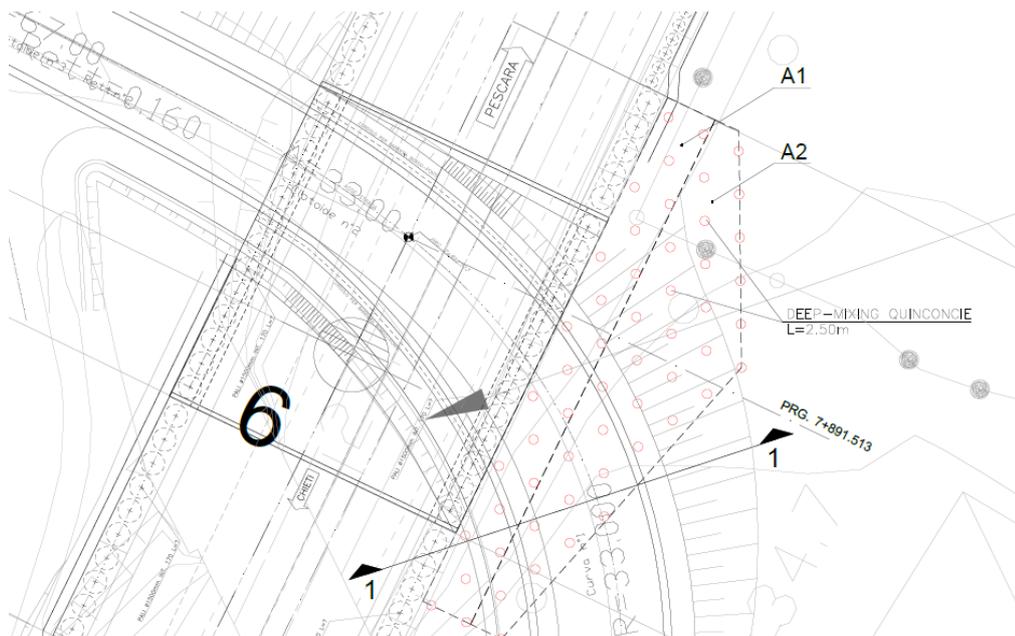


Figura 26: Sezione rappresentativa tratta IV02 - rilevato - planimetria

Per quanto riguarda il dimensionamento specifico dei pali previsti per il cavalcaferrovia IV02 si riporta che l'opera prevede due paratie di pali accostati che fungono da spalle per l'attraversamento e che si prevede anche di realizzare un muro su pali di sostegno per la sede stradale in approccio all'attraversamento sul lato del binario dispari.

Come già detto per limitare i cedimenti del riempimento viene realizzato un trattamento con funzione di controllo e riduzione dei cedimenti a tergo dei pali. I suddetti pali, lato binario dispari, vengono infatti realizzati a partire da un piano di lavoro alla +30m s.l.m. con la parte a sbalzo eseguita con tubo-forma. Il nuovo rilevato in questa zona viene realizzato successivamente e con il proprio peso genera un cedimento nel terreno di fondazione che a sua volta sarebbe causa di attrito negativo sui pali della paratia-spalla. Nonostante la presenza del trattamento non è possibile eliminare ma solo limitare i cedimenti a tergo della paratia di pali nella zona centrale lato binario dispari. La presenza del tubo-forma, che di fatto consente il distacco del terreno di riempimento dalla superficie laterale del palo, è stata tenuta in conto nelle valutazioni di attrito negativo permettendo di scontare la quota parte di attrito che in sua assenza si sarebbe generato nella porzione di palo realizzata a sbalzo.

Analoghe considerazioni valgono per i pali di fondazione del muro su pali a sostegno della sede stradale ubicato nella medesima zona.

Per quanto riguarda invece gli altri pali facenti parte dell'opera e che costituiscono le ali laterali sui due lati delle paratie centrali di pali, questi vengono in tutti i casi realizzati a partire dal piano campagna e non presentano riempimenti significativi a tergo.

6.6.19 Opera IV03 cavalcaferrovia di via Carboni al km 9+535

La sede stradale del Cavalcaferrovia IV03 si sviluppa in parte in rilevato, in parte su scatolari mentre i due attraversamenti, ferroviario e stradale, si sviluppano in viadotto spalla – spalla, costituite da muri fondati su pali. Per quanto riguarda i rilevati, trattandosi di rilevati di approccio alle tratte su scatolare, le altezze sono variabili da zero a circa 4.5 m.

Vista l'altezza significativa del rilevato si è deciso di verificare se la stima di cedimenti attesi fosse compatibile con la funzionalità dell'opera durante la vita utile. Parallelamente si sono

verificate anche le condizioni di stabilità del rilevato medesimo tenendo anche conto della presenza di materiale potenzialmente liquefacibile in questa zona.

In aggiunta, visti i risultati delle verifiche a liquefazione si è valutata anche la necessità di interventi di trattamento non solo al di sotto delle porzioni in rilevato ma anche per i tratti su scatolari e su spalle.

La stima di cedimenti attesi post-sisma in condizioni di liquefazione ha condotto all'esigenza di prevedere degli interventi di consolidamento, a prescindere dai risultati delle verifiche di stabilità globale, allo scopo di mitigare il rischio di liquefazione nella tratta di interesse e gli effetti post-sisma che potrebbero compromettere la funzionalità dell'opera.

Gli interventi che si prevede di realizzare sono i medesimi per i tratti in rilevato e per gli scatolari e si tratta di colonne di ghiaia, di diametro pari a 800 mm, disposte secondo una maglia quadrata di lato pari a 1.9 m, con lunghezza delle colonne variabile tra i 15 e i 25 m in funzione della quota del piano d'imposta degli scatolari. Alla base del rilevato si prevede, inoltre, uno strato di imbasamento in misto cementato (cemento al 10%) di spessore di circa 1 m caratterizzato da una $c_u=250$ kPa e un Modulo elastico operativo pari a 50 Mpa, per assicurare la stabilità globale del sistema in condizioni co-sismiche. Le sezioni rappresentative degli interventi per questo tratto di opera sono mostrate per il rilevato con scarpata e muro nella successiva Figura 27, mentre nella Figura 28 ne è riportato lo stralcio planimetrico, per il rilevato tra muri nella successiva Figura 29, mentre nella Figura 30 ne è riportato lo stralcio planimetrico, e per il tratto su scatolari nella successiva Figura 31, mentre nella Figura 32 ne è riportato lo stralcio planimetrico.

Si segnala che a fianco dei rilevati tra muri del Cavalcaferrovia IV03 di via Carboni si ha la presenza di alcuni edifici, tra cui una palazzina residenziale di 4 piani di altezza, sui quali la soluzione di consolidamento proposta con pali in ghiaia potrebbe determinare cedimenti indotti. Anche se ragionevolmente i cedimenti indotti attesi dovrebbero essere contenuti, tuttavia si prevede di installare opportuna strumentazione (piezometri, inclinometri e mire topografiche) in corrispondenza degli edifici e delle opere principali prossimi al tracciato del cavalcaferrovia, dedicata al controllo degli eventuali spostamenti e dei livelli di falda nell'area.

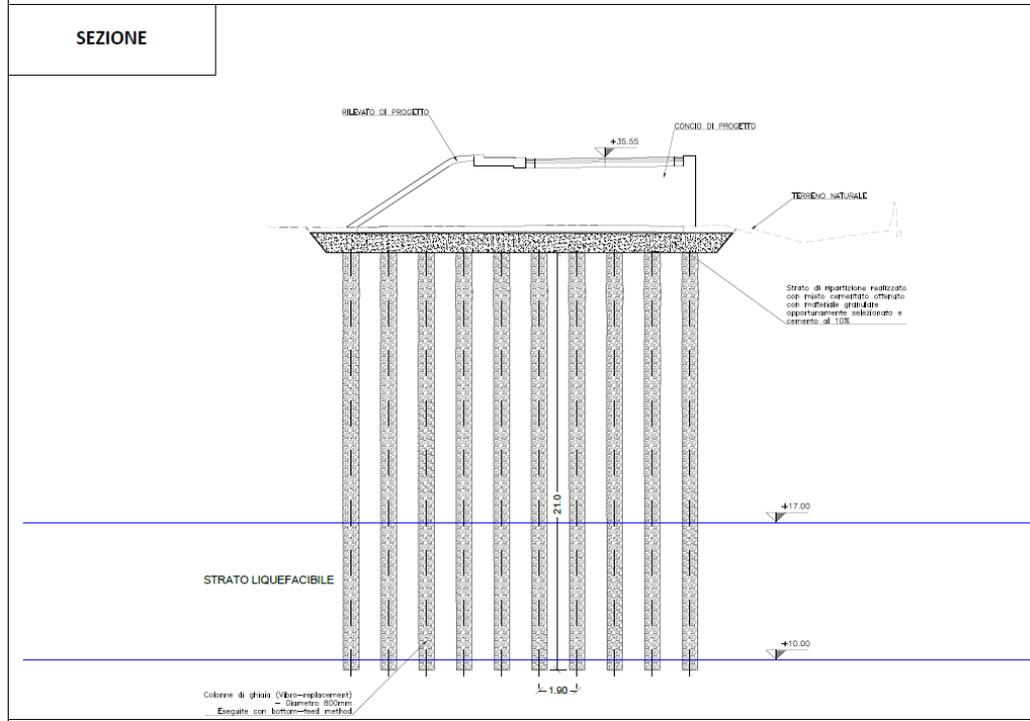


Figura 27: Sezione rappresentativa IV03 – rilevato 1

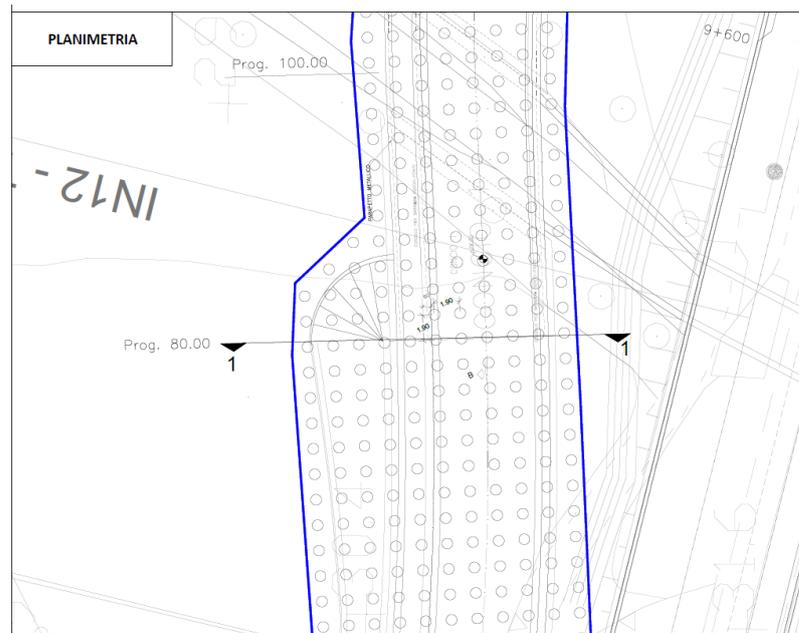


Figura 28: Sezione rappresentativa tratta IV03 – rilevato 1 - planimetria

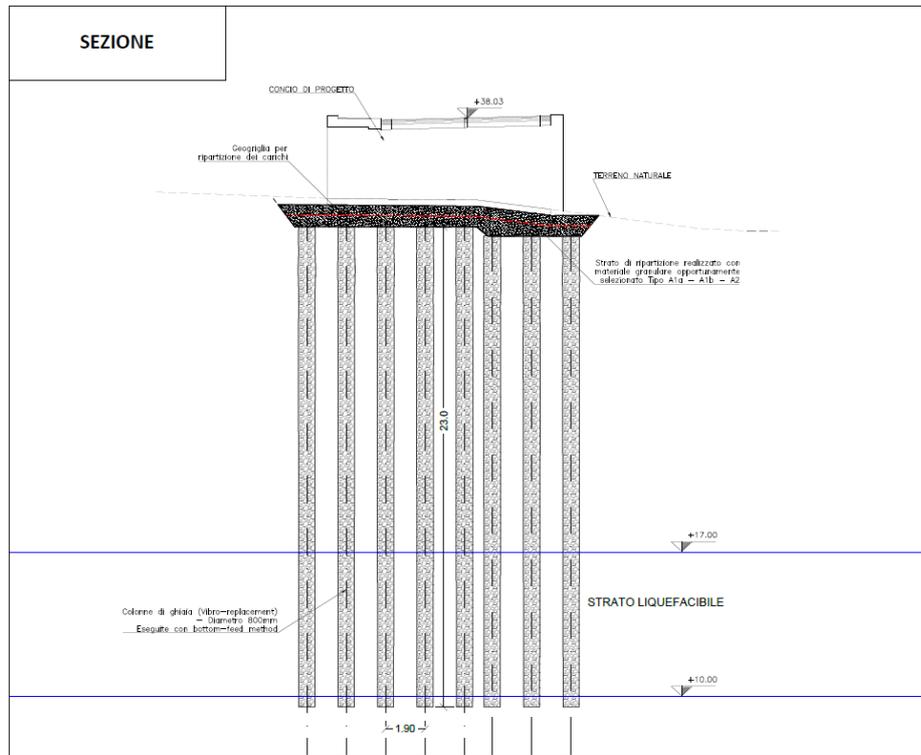


Figura 29: Sezione rappresentativa IV03 - rilevato 2

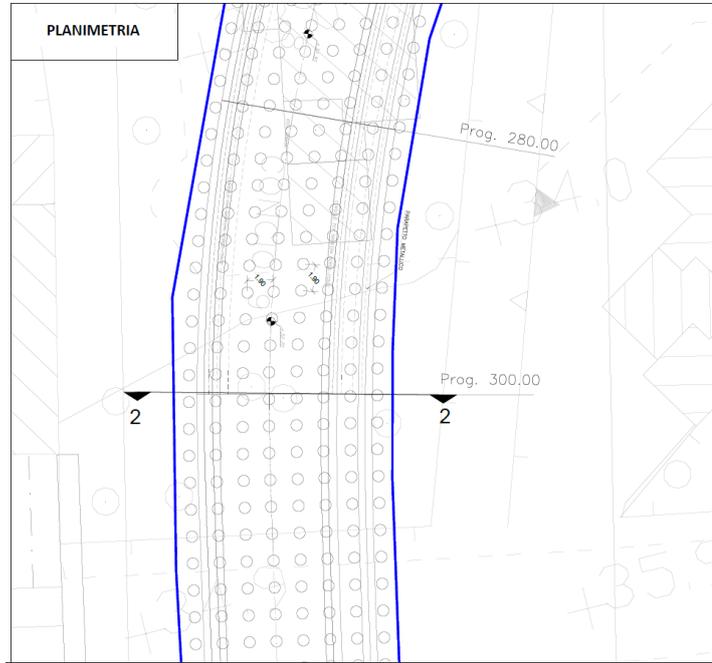


Figura 30: Sezione rappresentativa tratta IV03 – rilevato 2 - planimetria

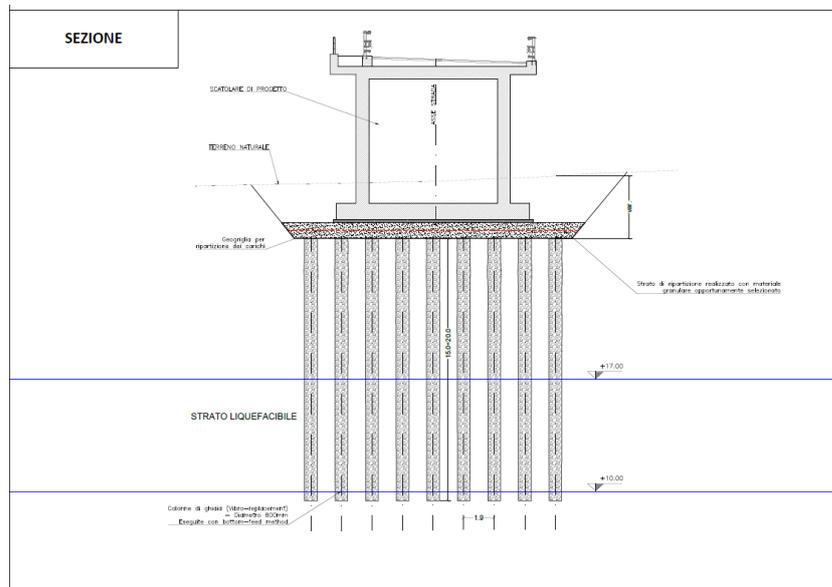


Figura 31: Sezione rappresentativa IV03 – scatolare

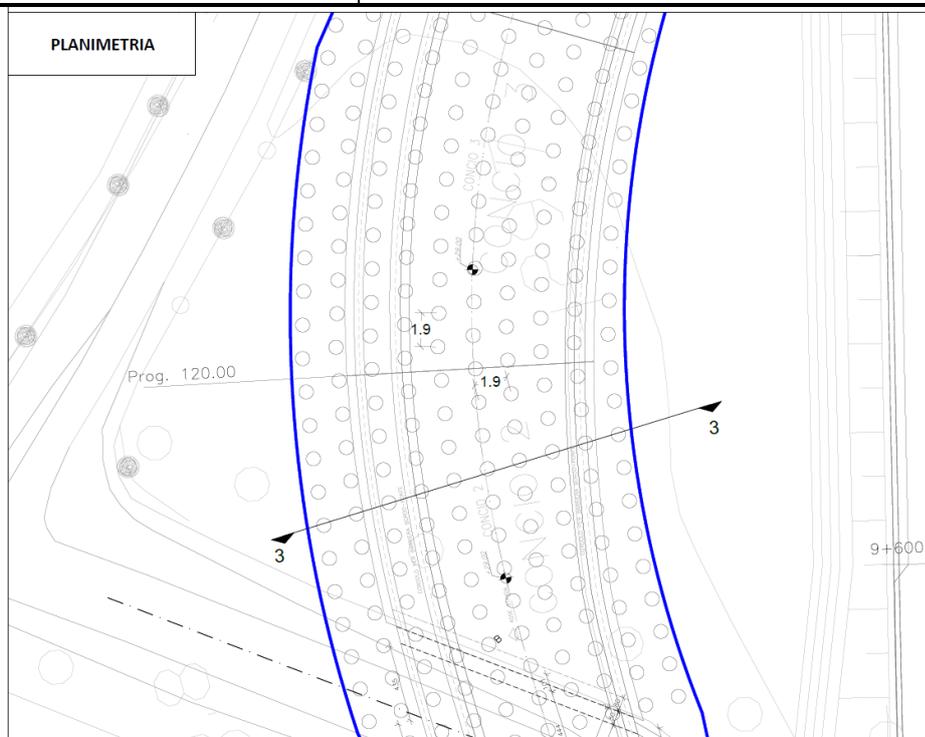


Figura 32: Sezione rappresentativa tratta IV03 – scatolare - planimetria

Per quanto riguarda invece i tratti di attraversamento ferroviario e stradale, che hanno spalle su pali, si prevede di realizzare un intervento di colonne accostate in Deep Mixing, di diametro 600 mm, secondo una struttura a setti di forma quadrata di lato 2.4 m, con lunghezza delle colonne variabile a seconda delle diverse opere/fondazioni da 18 a 20 m. L'effetto del trattamento colonnare d'altra parte modifica le caratteristiche di resistenza al taglio del materiale potenzialmente liquefacibile che in questo modo non lo è più, garantendo la mitigazione del rischio liquefazione, evitando l'annullamento delle resistenze nello strato che liquefa, e permettendo un dimensionamento più contenuto dei pali evitando effetti di attrito negativo

La rappresentazione planimetrica di tali interventi è mostrata nella successiva Figura 33.

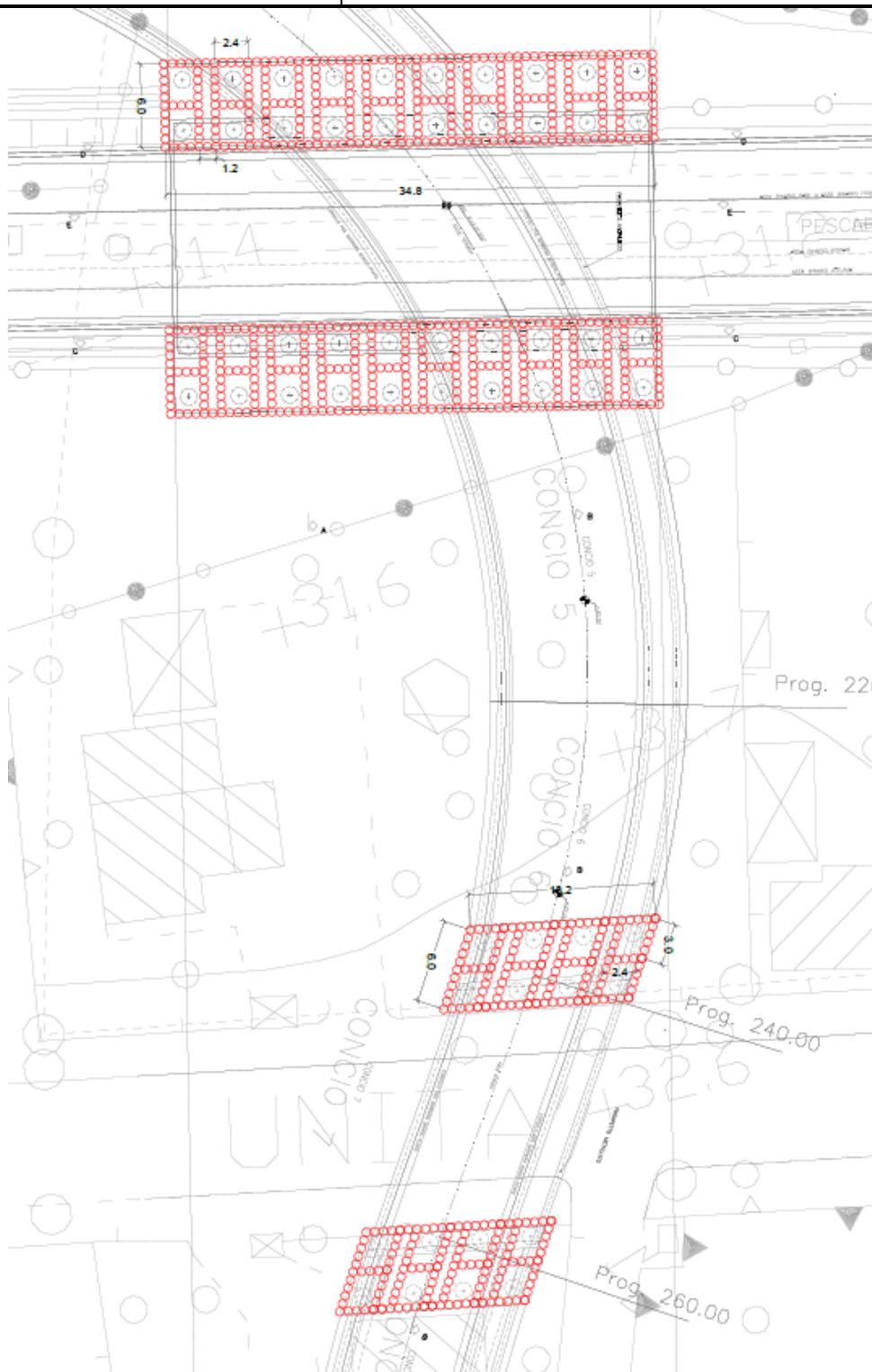


Figura 33: Sezione rappresentativa tratta IV03 – fondazioni su pali - planimetria

7. MONITORAGGIO

7.1 Finalità del monitoraggio

Il monitoraggio geotecnico è finalizzato al controllo delle condizioni di sicurezza di alcune opere o tratti di linea ed alla verifica delle stime effettuate in fase di progettazione in termini di cedimenti attesi (residui e totali) e riguarda:

- i tratti del tracciato in rilevato, per i quali risulta importante tenere sotto controllo i cedimenti del terreno indotti dalla realizzazione dell'opera. Per questi tratti si prevede di verificare il comportamento deformativo sia in senso trasversale che in senso longitudinale predisponendo opportuna strumentazione che permetta di monitorare i cedimenti del rilevato e gli spostamenti indotti sulla piattaforma ferroviaria per il periodo realizzativo del raddoppio di linea. In particolare è previsto di monitorare:
 - spostamenti del binario esistente (durante la Fase 1);
 - spostamenti del nuovo binario in affiancamento (una volta entrato in esercizio);
 - spostamenti del nuovo doppio binario (durante il primo anno di esercizio).
- i tratti in rilevato delle opere interferenti con la linea ferroviaria (cavalcaferrovia). In particolare per il Cavalcaferrovia IV03 di via Carboni, previsto alla progressiva 9+535 del tracciato ferroviario, la soluzione di consolidamento proposta con pali in ghiaia potrebbe determinare cedimenti indotti nelle aree adiacenti al cavalcaferrovia. Anche se ragionevolmente i cedimenti indotti attesi dovrebbero essere contenuti, tuttavia si prevede di installare opportuna strumentazione (piezometri, inclinometri e mire topografiche) in corrispondenza degli edifici e delle opere principali prossimi al tracciato del cavalcaferrovia, dedicata al controllo degli eventuali spostamenti e dei livelli di falda nell'area.

7.2 Tipologia delle misure e controlli

Il monitoraggio viene eseguito in alcune sezioni di riferimento, collocate nelle aree più critiche, in termini di altezza dei rilevati, o in termini di caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, ed in punti fisicamente accessibili.

In relazione alla singola sezione trasversale strumentata, sarà possibile monitorare modifiche del livello trasversale e verificare il rispetto dei valori limite (qualità geometrica del binario). La misura associata a tale monitoraggio in senso longitudinale rispetto alla sezione di riferimento consentiranno invece una verifica geometrica rispetto ai limiti consentiti per lo sghebo.

La strumentazione di monitoraggio che verrà impiegata comprende:

- assestimetri a piastra e multipunto;
- capisaldi topografici;
- piezometri.

Tutti gli strumenti saranno installati e resi efficienti durante la fase di costruzione dell'opera ferroviaria.

Le misure verranno conseguentemente impiegate dalla Direzione Lavori per le necessarie valutazioni.

7.3 Sezioni di monitoraggio

In funzione delle caratteristiche del tracciato sono state previste 4 sezioni di monitoraggio.

La sezione di monitoraggio tipo 1 è finalizzata alla misura dei cedimenti dei rilevati nelle aree dove si ha un rilevato alto, realizzato in affiancamento, e sono stati progettati interventi di consolidamento del terreno di fondazione.

Per questa sezione si prevede l'installazione di strumentazione dedicata a seconda delle fasi di lavoro, tenendo conto del fatto che trattandosi di un rilevato realizzato in affiancamento sarà necessario anche monitorare la sede ferroviaria esistente (durante la Fase 1) che poi verrà smantellata (nella Fase 2). La sezione è mostrata nelle successive Figura 34 e Figura 35.

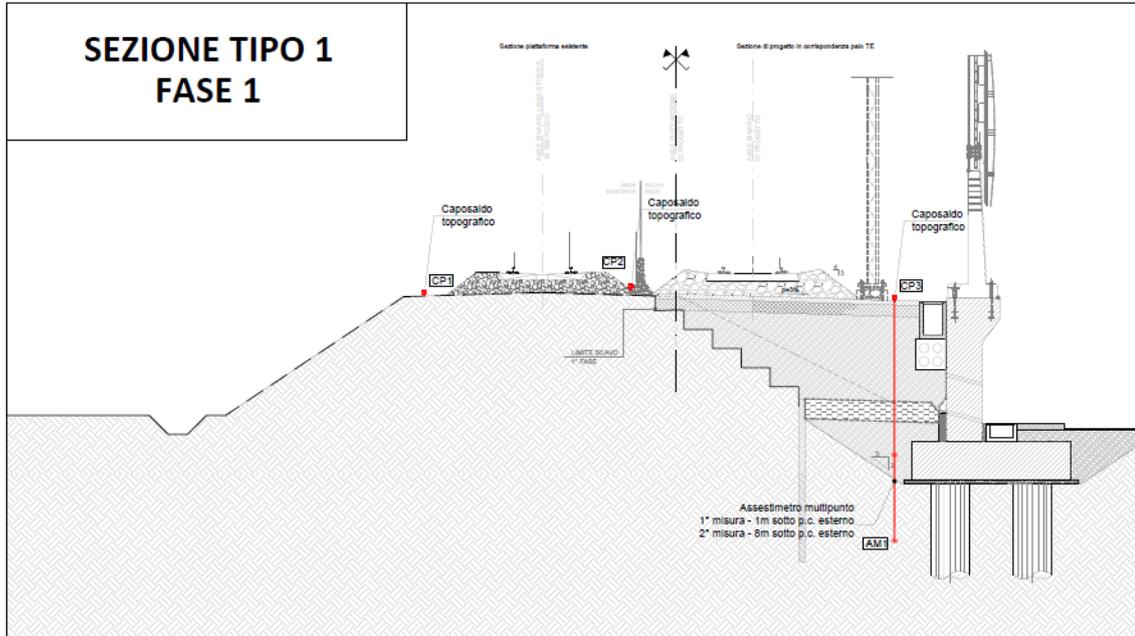


Figura 34: Sezione di monitoraggio Tipo 1 – Fase 1

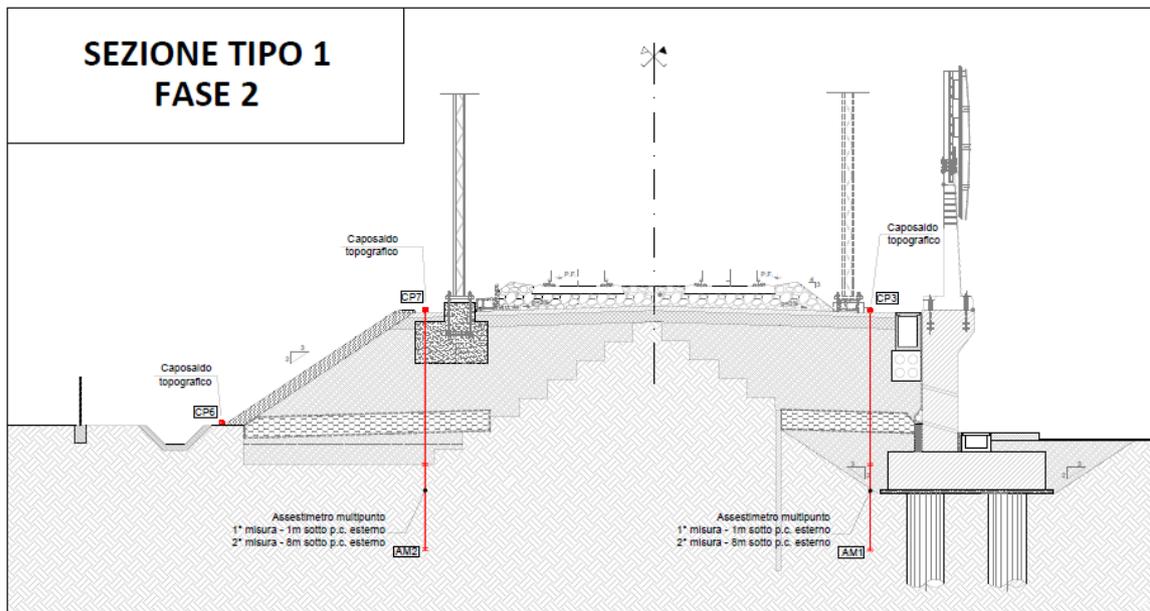


Figura 35: Sezione di monitoraggio Tipo 1 – Fase 2

La sezione di monitoraggio tipo 2 è finalizzata alla misura dei cedimenti dei rilevati più alti ed è mostrata nella successiva Figura 36.

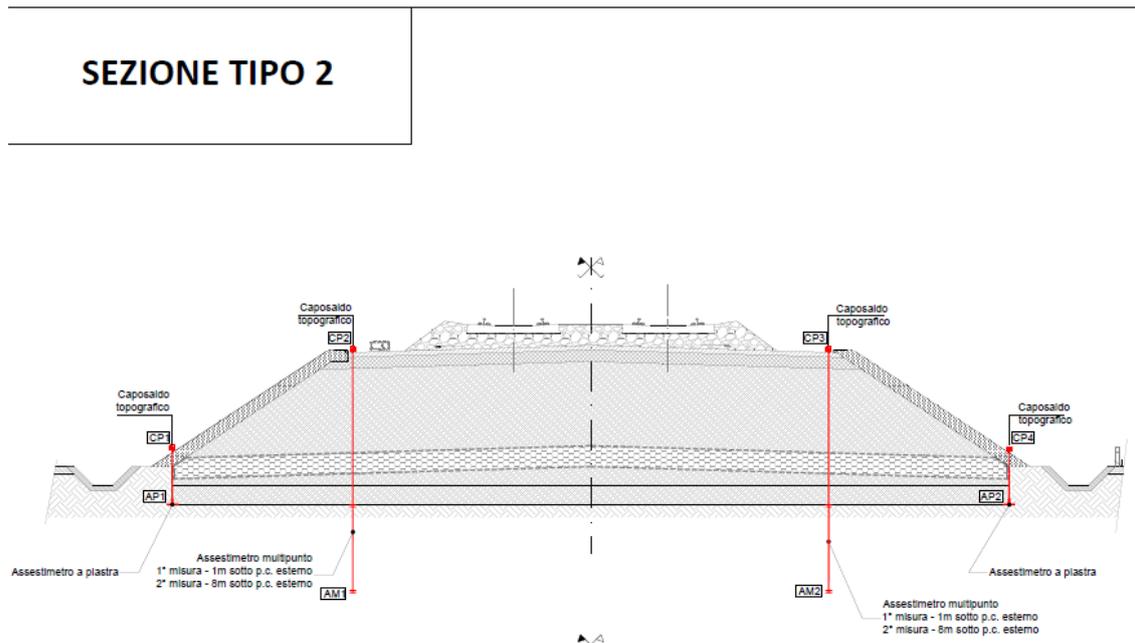


Figura 36: Sezione di monitoraggio Tipo 2

La sezione di monitoraggio tipo 3 è finalizzata alla misura dei cedimenti dei rilevati più bassi ed è mostrata nella successiva Figura 37.

SEZIONE TIPO 3

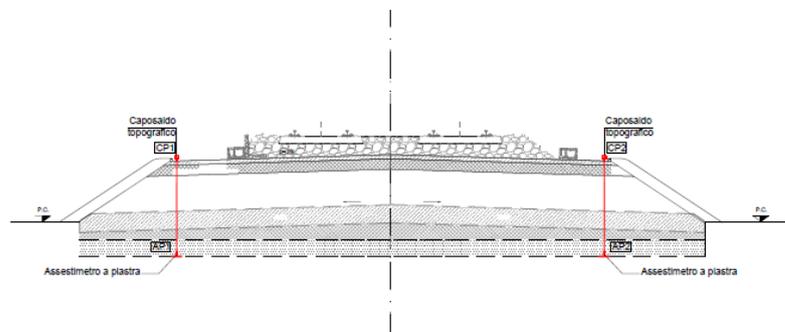


Figura 37: Sezione di monitoraggio Tipo 3

La sezione di monitoraggio tipo 4 è finalizzata alla misura dei cedimenti dei rilevati relativi all'opera stradale di attraversamento ferroviario IV01 ed è mostrata nella successiva Figura 38.

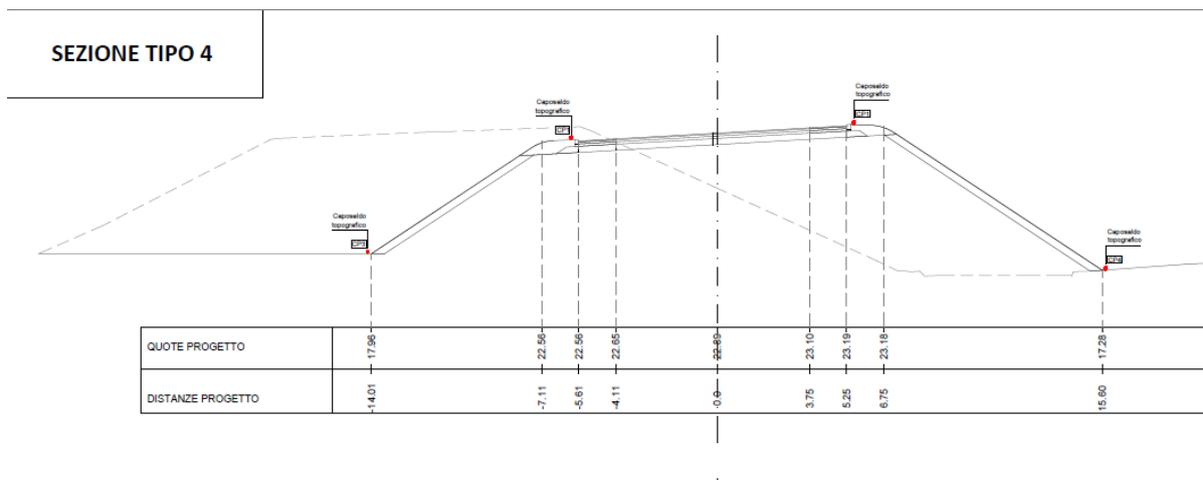


Figura 38: Sezione di monitoraggio Tipo 4

La sezione di monitoraggio tipo 5 è finalizzata alla misura dei cedimenti indotti dagli scatolari e dai rilevati relativi all'opera stradale di attraversamento ferroviario IV03 e l'ubicazione in pianta della strumentazione è riportata alla successiva Figura 39.



Figura 39: Schema monitoraggio IV03 – Concio scatolare N°9



VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA.
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA
- CHIETI. TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

Relazione descrittiva degli interventi di
consolidamento Lotti 1 e 2

COMMESSA IA4S	LOTTO 00 D29	CODIFICA RG	DOCUMENTO GB0006 001	REV. A	FOGLIO 84 di 84
------------------	-----------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

ALLEGATO RELATIVO A SPECIFICA FERROVIARIA:

RFI DPR PSE 02 1 0 del 01.08.2018- Gestione dell'emergenza in presenza di eventi sismici.