



FERROVIE EMILIA ROMAGNA

**Linea SFM2 Bologna-Portomaggiore: adeguamento della progettazione definitiva e coordinamento per sicurezza in fase di progettazione per la realizzazione del completamento dell'interramento della tratta urbana di Bologna della Linea SFM2 Bologna-Portomaggiore e Redazione del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica relativo al raddoppio del binario tra la fermata di Bologna-Via Larga e la stazione di Budrio (CIG 754332765C).**

## PROGETTO DEFINITIVO



### STUDI E INDAGINI

**GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA E GEOTECNICA**

**RELAZIONE INDAGINI INTEGRATIVE GEO-AMBIENTALI**

CARTELLA N° 2.1

FER BP D T0 GEO GEN R 001 0



DATA	CODICE RELAZIONE		REV.
31/10/2019	FER BP D T0	GEO GEN R 001	0

AGGIORNAMENTI						
REV	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	Emissione finale	31-10-19	Dr. L. Landolfi	Dr. A. Eusebio	Dr. A. Dematteis	Ing. V. Floria

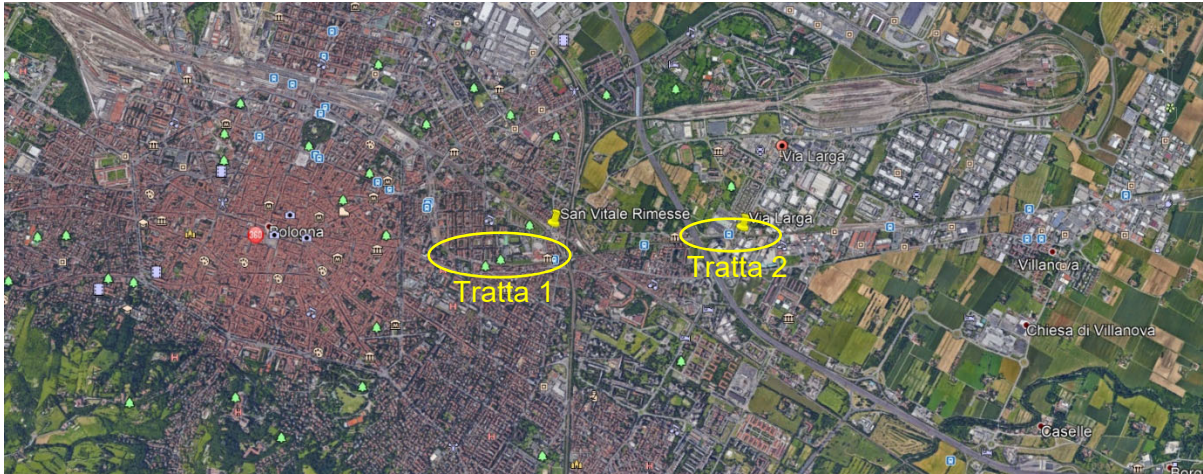
<p><u>Responsabile del progetto e dell'integrazione fra le prestazioni specialistiche:</u></p> <p><b>Ing. Vincenza Floria</b> Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino, n. 8042 (Firmato digitalmente)</p>	<p><u>Il Geologo:</u></p> <p><b>Dr. Antonio Dematteis</b> Ordine dei Geologi del Piemonte, n. 400 (Firmato digitalmente)</p>	<p><u>Il Responsabile Unico del Procedimento:</u></p> <p><b>Ing. Fabrizio Maccari</b> (Firmato digitalmente)</p>
--	--	--

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>PRESCRIZIONI DELLA GIUNTA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>INDAGINI GEO-AMBIENTALI ESEGUITE IN FASE DI PD.....</b>	<b>7</b>
3.1	<b>NUOVI PIEZOMETRI .....</b>	<b>7</b>
3.2	<b>CARATTERIZZAZIONE BALLAST .....</b>	<b>8</b>
3.3	<b>CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE DEI TERRENI .....</b>	<b>9</b>
3.3.1	Campionamento .....	9
3.3.2	Analisi .....	10
3.4	<b>SINTESI DELLE INDAGINI ESEGUITE .....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>PIANO DI MONITORAGGIO GEO-AMBIENTALE.....</b>	<b>16</b>
4.1	<b>Monitoraggio idrogeologico .....</b>	<b>16</b>
4.2	<b>Caratterizzazione ambientale .....</b>	<b>17</b>
4.2.1	<b>  Criteri adottati per l'ubicazione dei sondaggi per la caratterizzazione ambientale .....</b>	<b>17</b>

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione si inquadra nell'ambito dell'incarico assegnato dalle Ferrovie Emilia-Romagna (FER) all'Associazione temporanea di imprese Geodata Engineering, Net Engineering e Siteco per l'adeguamento della progettazione definitiva del completamento dell'interramento della Linea ferroviaria Bologna-Portomaggiore, nelle tratte urbane di Bologna denominate: Tratta 1 Zanolini-Rimesse e Tratta 2 Via Larga.



**Figura 1: Ubicazione del sito in progetto su immagine satellitare GoogleEarth®.**

La tratta 1 Zanolini-Rimesse è compresa tra le progressive km 2+029,65 e km 3+354,59 della linea, e prevede la realizzazione del completamento della galleria Zanolini, già realizzata, il rifacimento delle fermate Libia e Rimesse e l'intervento di eliminazione del passaggio a livello di via Rimesse mediante l'interramento della linea.

La tratta 2 Via Larga è compresa tra le progressive km 4+000,00 e km 5+100,00 in corrispondenza dei passaggi a livello di via Cellini e via Larga e consiste nell'abbassamento del binario esistente in corrispondenza della nuova fermata di via Larga e nel rimodellamento di via Scandellara, funzionale alla realizzazione di un parcheggio e di una nuova pista ciclo-pedonale.



**Figura 2: Corografia dell'intervento di interrimento.**

Scopo della presente relazione è illustrare il piano di indagini integrative geo-ambientali realizzato in fase di Progetto Definitivo e il piano di monitoraggio della falda idrica sotterranea nei settori interessati dalle opere in progetto da realizzare in fase di Progetto Esecutivo e proseguire durante la costruzione e la messa in esercizio dell'opera ferroviaria.

Tali attività sono state realizzate ed in parte programmate per le fasi successive, al fine di rispondere alle prescrizioni del Comune di Bologna e dell'A.R.P.A. Sezione Provinciale di Bologna, contenute negli atti della conferenza dei servizi del Progetto Definitivo realizzata nel 2014-2015.

I risultati delle indagini integrative realizzate in questa fase del Progetto Definitivo sono riportati negli elaborati progettuali specifici:

- Cartella 2.1: STUDI E INDAGINI - Geologia, Idrogeologia E Geotecnica
- Cartella 8.2: AMBIENTE

## 2 PRESCRIZIONI DELLA GIUNTA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA

Con riferimento alle principali prescrizioni della Giunta della Regione Emilia-Romagna del 23/04/2015 - Delibera n° 444/2015 si riportano di seguito le principali indicazioni pertinenti il presente piano di indagini integrative geo-ambientale:

### A. PRESCRIZIONI - COMUNE DI BOLOGNA

*A.6.4: Suolo e sottosuolo - Falde superficiali*

*A.6.4: Suolo e sottosuolo - Gestione dei materiali da scavo*

### B. PRESCRIZIONI - A.R.P.A. SEZIONE PROVINCIALE DI BOLOGNA

*B.3: Acque sotterranee*

*B.4: Terre e rocce da scavo*

### Q. PARERI DI VINCOLO SISMICO E RELATIVE PRESCRIZIONI FORMULATE DALLA CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA

*Q.1: Normativa per le costruzioni in zona sismica*

*Q2: Microzonazione sismica*

Il piano di indagini ambientali svolte in fase di Progetto Definitivo e descritte oltre viene redatto al fine di fornire le basi conoscitive per la corretta redazione dell'elaborato "relazione sulla gestione delle materie" di cui all'art 26, c.1, lett. i) del DPR 207/2010. Considerata la tipologia di progetto il piano si focalizza su due matrici specifiche: terre e rocce da scavo e pietrisco ferroviario.

### 3 INDAGINI GEO-AMBIENTALI ESEGUITE IN FASE DI PD

Per la descrizione delle caratteristiche geologiche, geotecniche e idrogeologiche delle due tratte in oggetto e per la consultazione dei risultati e delle interpretazioni delle prove geotecniche già realizzate in fase di Progetto Definitivo si rimanda alla relazione geologica del progetto, codice FER\_BP\_D\_T0\_GEO\_GEN\_R\_002.

#### 3.1 NUOVI PIEZOMETRI

In questa fase di Progetto Definitivo sono stati installati 6 nuovi piezometri (3 nella Tratta 1 e 3 nella Tratta 2) per il monitoraggio di quantità (livello) e qualità della falda. La lista dei nuovi piezometri è indicata nella seguente tabella.

**Tabella 1: Codice e localizzazione dei piezometri**

Codice	Opere di riferimento
T1-1	galleria artificiale Fermata Libia
T1-2	galleria artificiale Fermata Libia
T1-A1	ambientale/ fermata via Rimesse
T2-1	galleria artificiale Fermata via Larga
T2-2	galleria artificiale Fermata via Larga
T2-A1	ambientale/ PL via Cellini

La posizione dei piezometri realizzati è indicata nella planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche, codice FER\_BP\_D\_T0\_GEO\_GEN\_S\_004.

I piezometri installati sono del tipo a tubo aperto con tappo di fondo, diametro di 3 pollici, pre-filtro in ghiaietto siliceo calibrato, riempimento superiore con miscela bentonitica e pozzetto carrabile in ghisa.

Inoltre, durante la perforazione dei sondaggi con carotaggio continuo propedeutica all'installazione dei piezometri, sono state le seguenti prove geotecniche in foro:

- **PROVE SPT (Standard Penetration Test).** La prova viene eseguita nel corso della perforazione con carattere discontinuo, consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di un campionatore a pareti grosse infisso a percussione secondo le

modalità contenute nella normativa ASTM n. D.1586/68: "*Standard Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil*".

- **PROVE PRESSIOMETRICHE.** Questa prova permette di misurare in situ le caratteristiche di deformazione dei terreni alle diverse profondità mediante l'espansione di una da una sonda dotata di membrana cilindrica espansibile inserita nel foro di sondaggio, mediante incrementi di pressione generati dall'esterno. Essa riveste un'importanza notevole per lo studio della capacità portante dei pali e del campo tensionale nell'intorno delle paratie. Con la prova si possono misurare direttamente la tensione geostatica orizzontale, il modulo di deformazione al taglio da cicli scarico/ricarico e la pressione a rottura dei terreni.
- **PROVE DI PERMEABILITA' TIPO LEFRANC.** Queste prove, miranti alla determinazione del coefficiente di permeabilità in terreni sciolti. Tali prove sono eseguibili al fondo del foro di sondaggio, a diverse profondità durante la perforazione.

Inoltre, per mezzo del prelievo di campioni rimaneggiati e indisturbati nei sondaggi, sono stati raccolti campioni del terreno per realizzare le seguenti prove geotecniche in laboratorio:

- **CARATTERISTICHE FISICHE GENERALI:** Densità, indice dei vuoti, tenore in acqua, limiti di Atterberg
- **GRANULOMETRIA DEI TERRENI.** Per individuare in che percentuale sono presenti argilla (mediante analisi per aerometria), limo, sabbia, ghiaia e ciottoli (mediante analisi per vagliatura) e quindi di descrivere il suolo sulla base delle dimensioni dei grani che lo costituiscono e della loro quantità.
- **PROVA DI COMPRESSINE TRIASSIALE CONSOLIDATA ISOTROPICAMENTE E NON DRENATA (CIU).** Permette di determinare le caratteristiche di resistenza al taglio e di rigidità del terreno.
- **PROVA EDOMETRICA** per determinare la comprimibilità ed il modulo edometrico di deformabilità del terreno, attraverso una compressione meccanica senza deformazione laterale.

### 3.2 CARATTERIZZAZIONE BALLAST

Si è proceduto al campionamento del pietrisco del rilevato ferroviario (ballast), in corrispondenza del chilometro 2 + 279 tra le fermate Libia e Rimesse, prelevando un campione di circa 15 kg, composto da circa 30 ÷ 40 pezzi.

Tale campione è stato sottoposto all'analisi qualitativa in microscopia ottica in contrasto di fase (MOCF) e in microscopia elettronica a scansione (SEM), per la verifica della presenza/assenza di fibre di amianto, alla friabilità ed indice di rilascio nonché alla classificazione come rifiuto (rif. D.lgs 152/06 e s.m.i.) ed ammissibilità in discarica (rif. DM 27/09/10 e s.m.i.).

I valori di concentrazione ottenuti dalle prove chimiche sono riportati nei certificati analitici del laboratorio AGROLAB Italia srl allegati al presente elaborato.



### 3.2.1.1 *Analisi qualitativa dell'amianto*

L'analisi è stata effettuata su un'aliquota superficiale (3÷5 mm) prelevata dai singoli clasti costituenti il campione, previa macinazione (ciò in considerazione della natura qualitativa dell'analisi ed allo scopo di evitare un'eccessiva diluizione delle eventuali fibre di amianto presenti) ovvero direttamente sulla superficie del clasto.

L'analisi qualitativa in microscopia ottica in contrasto di fase (MOCF) o in microscopia elettronica a scansione (SEM), non ha rilevato la presenza di fibre di amianto; pertanto non saranno necessarie ulteriori analisi in merito a tale parametro, ma solo quelle relative all'ammissibilità del rifiuto a discarica o impianto di recupero.

### 3.2.1.2 *Determinazione dell'indice di rilascio (i.r.)*

La determinazione dell'indice di rilascio (di cui ai DM 14.05.96 e DM 29.07.04, n. 248) è stata effettuata con le modalità descritte nell'All. 03 "Protocollo di analisi RFI-CNR per la determinazione dell'amianto nel pietrisco di pietre verdi" (rev. 0 del 06.05.2005) della Procedura RFI DPO/SLA SIGS P04 "Gestione dell'amianto e dei MCA".

La determinazione quantitativa dell'amianto ha dato risultato "parametro non analizzabile".

## 3.3 **CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE DEI TERRENI**

La caratterizzazione delle terre ai fini della verifica di contaminazioni ed alla definizione del corretto destino è stata effettuata in accordo al D.lgs. 152/2006 ed al DPR 120/2017.

In particolare, si previsto comunque il conferimento a discarica/recupero dei materiali scavati con l'eccezione del terreno vegetale per il quel si prevede il riutilizzo compatibilmente con gli esiti analitici.

### 3.3.1 **Campionamento**

Al fine di determinare la qualità ambientale dei terreni di futuro scavo si è provveduto nel corso delle prospezioni T1-2, T1-A2, T2-1, T2-A1 a sezionare e prelevare, immediatamente dopo l'estrazione, dal nucleo delle carote estratte, dei campioni medi rappresentativi del futuro terreno di scavo, raccogliendo un campione del primo metro (campione A tra 0.00 ÷ 1.00 m dal piano calpestio), della zona di fondo scavo (campione C tra 7.00/7.60 ÷ 7.50/8.00 m) ed uno nella zona intermedia (campione B tra 3.00/7.60 ÷ 3.50/4.00 m).

Ciascun campione è stato ottenuto mescolando e quartando il terreno Tal Quale in modo tale da consentire la raccolta, di un unico campione medio rappresentativo dell'intervallo di quote campionate, secondo i criteri UNI 10802:2013.

Dal nucleo di ogni spezzone di carota estratta, immediatamente dopo l'estrazione e prima della deposizione in cassetta catalogatrice, è stata prelevata una aliquota del materiale Tal Quale, una aliquota separando se presente la frazione superiore ai 2 cm, i materiali estranei quali pezzi di vetro, ciottoli, rami, foglie ecc, inoltre è stata eseguita una minicarotatura della carota medesima, impiegando siringhe monouso, che hanno consentito di porre il terreno così sub campionato in vials con tappo e setto in teflon, secondo quanto previsto dalla metodica ASTM 4547-98.

Tutti i campioni prelevati, nel periodo di tempo compreso tra il prelievo e la consegna al laboratorio AGROLAB Italia s.r.l. di Altavilla Vicentina (VI) accreditato ACCREDIA (n° 0147), sono stati conservati in contenitori frigo a 4° di temperatura in modo da mantenere invariate le caratteristiche chimiche fisiche dei campioni.

### 3.3.2 Analisi

Sui campioni prelevati sono state eseguite le verifiche di rispetto delle CSC per le terre e rocce da scavo (tab1 dell'Allegato 5 alla Parte IV Titolo V del D.lgs. 152/2006) con riferimento ai seguenti analisi:

Arsenico	Mercurio
Cadmio	Idrocarburi C>12
Cobalto	Cromo totale
Nichel	Cromo VI
Piombo	Amianto
Rame	BTEX
Zinco	IPA

Ai fini della verifica di accettabilità a discarica (D.M. 27 settembre 2010) o impianto di recupero (DM 5/2/98 modificato dal DM 186/2006) i campioni sono stati inoltre sottoposti a test di cessione sui seguenti analisi:

Arsenico	Cloruri
Bario	Fluoruri
Cadmio	Solfati
Cromo totale	DOC
Rame	TDS
Mercurio	Nitrati
Mo	Cianuri
Nichel	Berillio
Piombo	Vanadio
Selenio	Amianto
Antimonio	COD
Zinco	pH

### 3.4 SINTESI DELLE INDAGINI ESEGUITE

Le tabelle seguenti forniscono il dettaglio delle indagini realizzate. I risultati e le interpretazioni di queste indagini sono contenuti nelle relazioni specifiche del Progetto Definitivo elencate nell'introduzione di questa relazione.



**Tabella 2: Lista delle indagini geotecniche realizzate nella Tratta 1**

Sondaggio	CAMPIONI PRELEVATI							PIEZOMETRI				PROVE IN SITO			PIANO DELLE PROVE IN LABORATORIO												
	Data prelievo	Cod.	Tipo	Prof. (da m)	Prof. (a m)	Lungh. (m)	Unità Geot.	Profondità	Piezometro	CR	CI	SPT	Pressiometrica	Permeabilità	Caratt. Generali <sup>(3)</sup>	Granul. vagliatura	Granul. aerometria	Triassiale <sup>(4)</sup>	Edometrica <sup>(5)</sup>								
T1-1	09/04/2019	A	CR	2,50	3,00	0,50	TR	10	1	6	0	4	0	2													
	09/04/2019	B	CR	3,00	3,45	0,45	A																				
	09/04/2019	C	CR	4,50	4,95	0,45	A																				
	09/04/2019	D	CR	6,00	6,50	0,50	A															1	1	1			
	09/04/2019	E	CR	6,50	6,95	0,45	A																				
	09/04/2019	F	CR	8,00	8,45	0,45	A(B)															1	1	1			
T1-2	19/04/2019	A	CR	4,00	4,45	0,45	A	40,70	1	20	3	13	0	3													
	19/04/2019	B	CR	4,45	4,70	0,25	A																				
	19/04/2019	C	CR	5,55	6,00	0,45	A															1	1	1			
	19/04/2019	D	CR	7,50	7,95	0,45	A																				
	19/04/2019	E	CR	10,00	10,45	0,45	A															1	1	1			
	19/04/2019	F	CR	11,00	11,40	0,40	A																				
	19/04/2019	G	CR	12,50	12,95	0,45	A																				
	19/04/2019	H	CR	15,00	15,45	0,45	A															1	1	1			
	19/04/2019	I	CR	15,75	16,00	0,25	A																				
	19/04/2019	1	CI	17,50	18,20	0,70	B															1	1	1	1	1	
	19/04/2019	2	CI	20,50	21,20	0,70	B															1	1	1	1		
	19/04/2019	L	CR	23,50	23,95	0,45	A																				
	19/04/2019	M	CR	24,60	25,00	0,40	A																				
	19/04/2019	N	CR	25,55	26,00	0,45	A																				
	19/04/2019	O	CR	26,55	27,00	0,45	A																				
	19/04/2019	P	CR	27,00	27,40	0,40	A																				
	19/04/2019	Q	CR	28,00	28,45	0,45	A																				
	19/04/2019	R	CR	31,55	32,00	0,45	A																				
	19/04/2019	S	CR	32,00	32,30	0,30	A																				
	19/04/2019	T	CR	36,00	36,45	0,45	A																				
19/04/2019	U	CR	37,55	38,00	0,45	A																					
19/04/2019	V	CR	38,00	38,35	0,35	A																					
19/04/2019	3	CI	40,00	40,70	0,70	B																					
T1-A2	05/04/2019	A	CR	2,50	2,95	0,45	A	10	1	2	1	1	0	1													
	05/04/2019	B	CR	3,50	4,00	0,50	A														1	1	1				
	05/04/2019	1	CI	7,20	7,60	0,40	B																				
<b>Totale Tratta 1</b>							60,7	3	28	4	18	0	6	8	8	8	2	1									

**Tabella 3: Lista delle indagini geotecniche realizzate nella Tratta 2**

Sondaggio	CAMPIONI PRELEVATI							PIEZOMETRI				PROVE IN SITO			PIANO DELLE PROVE IN LABORATORIO				
	Data prelievo	Cod.	Tipo	Prof. (da m)	Prof. (a m)	Lungh. (m)	Unità Geot.	Profondità	Piezometro	CR	CI	SPT	Pressiometrica	Permeabilità	Caratt. Generali <sup>(3)</sup>	Granul. vagliatura	Granul. aerometria <sup>(4)</sup>	Triassiale <sup>(4)</sup>	Edometrica <sup>(5)</sup>
T2-1	08/04/2019	A	CR	2,50	2,95	0,45	B(TR)	30	1 15- 30	10	3	6	1 (7,5- 8,2)	3					
	08/04/2019	1	CI	5,60	6,20	0,60	B								1	1	1	1	
	08/04/2019	B	CR	7,50	8,20	0,70	B												
	08/04/2019	C	CR	8,50	8,95	0,45	A(B)								1	1	1		
	08/04/2019	2	CI	10,00	10,60	0,60	A(B)												
	08/04/2019	D	CR	13,00	13,45	0,45	A								1	1	1		
	08/04/2019	E	CR	14,00	14,50	0,50	A												
	08/04/2019	F	CR	16,00	16,45	0,45	A												
	08/04/2019	G	CR	17,00	17,50	0,50	A												
	08/04/2019	H	CR	20,00	20,50	0,50	A												
	08/04/2019	I	CR	20,50	20,95	0,45	B												
	08/04/2019	L	CR	23,50	23,95	0,45	B												
	08/04/2019	3	CI	26,70	27,30	0,60	B												
T2-2	05/04/2019	A	CR	2,50	2,95	0,45	B	30	1 15- 30	12	3	9	0	3					
	05/04/2019	B	CR	4,00	4,45	0,45	B								1	1	1		
	05/04/2019	C	CR	7,00	7,45	0,45	A(B)												
	05/04/2019	D	CR	7,50	8,00	0,50	A								1	1	1		
	05/04/2019	E	CR	10,00	10,45	0,45	A												
	05/04/2019	F	CR	12,50	13,00	0,50	A												
	05/04/2019	G	CR	13,00	13,45	0,45	A												
	05/04/2019	H	CR	14,50	14,95	0,45	A												
	05/04/2019	I	CR	16,00	16,45	0,45	A												
	05/04/2019	L	CR	17,00	17,50	0,50	A												
	05/04/2019	M	CR	19,00	19,45	0,45	A												
	05/04/2019	1	CI	20,80	21,40	0,60	B												
	05/04/2019	N	CR	23,50	23,95	0,45	B(A)												
	05/04/2019	2	CI	25,20	25,80	0,60	B								1	1	1	1	
05/04/2019	3	CI	27,50	28,00	0,50	B													
T2-A1	08/04/2019	A	CR	2,50	2,95	0,45	B	10	1 4- 10	2	1	2	0	1					
	08/04/2019	B	CR	5,00	5,50	0,50	B								1	1	1		
	08/04/2019	1	CI	7,10	7,60	0,50	B								1	1	1		
<b>Totale Tratta 2</b>								70	3	24	7	17	1	7	8	8	8	2	

**Tabella 4: Sintesi delle Indagini ambientali**

RAPPORTO DI PROVA	DATA R. PROVA	DESCRIZIONE	ESITO
97952_294995	19/04/2019	Sondaggio T1-A2 - Campione A - Profondità 0-1 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
97952_295002	19/04/2019	Sondaggio T1-A2 - Campione B - Profondità 3-4 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
97952 - 295003	19/04/2019	Sondaggio T1-A2 - Campione C - Profondità 7-8 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
97960 - 295004	23/04/2019	Sondaggio T1-A2 - Campione A (tal quale) - Profondità 0-1 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
97960 - 295005	23/04/2019	Sondaggio T1-A2 - Campione B (tal quale) - Profondità 3-4 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
97960 - 295006	23/04/2019	Sondaggio T1-A2 - Campione C (tal quale) - Profondità 7-8 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
97962 - 295007	23/04/2019	Sondaggio T2-1 - Campione A - Profondità 0-1 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
97962 - 295008	23/04/2019	Sondaggio T2-1 - Campione B - Profondità 3-4 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
97962 - 295009	23/04/2019	Sondaggio T2-1 - Campione C - Profondità 7-8 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
97964 - 295013	23/04/2019	Sondaggio T2-1 - Campione A (tal quale) - Profondità 0-1 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
97964 - 295014	23/04/2019	Sondaggio T2-1 - Campione B (tal quale) - Profondità 3-4 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
97964 - 295015	23/04/2019	Sondaggio T2-1 - Campione C (tal quale) - Profondità 7-8 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
98377 - 296292	26/04/2019	Sondaggio T2-A1 - Campione A - Profondità 0-1 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
98377 - 296293	26/04/2019	Sondaggio T2-A1 - Campione B - Profondità 3-4 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
98377 - 296294	26/04/2019	Sondaggio T2-A1 - Campione C - Profondità 7-8 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
98378 - 296295	07/05/2019	Sondaggio T2-A1 - Campione A (tal quale) - Profondità 0-1 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
98378 - 296296	07/05/2019	Sondaggio T2-A1 - Campione B (tal quale) - Profondità 3-4 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova

98378 - 296297	07/05/2019	Sondaggio T2-A1 - Campione C (tal quale) - Profondità 7-8 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
99989 - 300885	08/05/2019	Sondaggio T1-2 - Campione A - Profondità 0,0-1,0 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
99989 - 300886	08/05/2019	Sondaggio T1-2 - Campione B - Profondità 3,0-4,0 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
99989 - 300887	08/05/2019	Sondaggio T1-2 - Campione C - Profondità 7,0-8,0 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
99988 - 300888	15/05/2019	Sondaggio T1-2 - Campione A (tal quale) - Profondità 0,0-1,0 m	<b>Solfati 1550 mg/l &gt; 250 mg/l (valore al di sopra del limite richiesto)</b>
99988 - 300889	15/05/2019	Sondaggio T1-2 - Campione B (tal quale) - Profondità 3,0-4,0 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
99988 - 300890	15/05/2019	Sondaggio T1-2 - Campione C (tal quale) - Profondità 7,0-8,0 m	Il campione analizzato risulta conforme, per i parametri determinati, ai limiti imposti dalla normativa applicata al presente rapporto di prova
102994 - 307852	27/05/2019	Ballast	NON contiene amianto
106775 - 318175	28/06/2019	Ballast (integrazione analisi chimiche)	In base ai parametri analizzati, il rifiuto risulta non pericoloso

Alla luce dei risultati riportati in tabella, unica eccezione di superamento dei limiti normativi è la concentrazione di solfati riscontrata nel sondaggio T1-2 nel campione superficiale di profondità 0,0-1,0m.

Si precisa che, il superamento è stato riscontrato soltanto nel primo metro di un sondaggio eseguito in una zona urbanizzata dove, al di sopra del campione, è presente il pacchetto stradale esistente.

Inoltre, il sondaggio è ubicato dove non avverrà lo scavo dell'opera e, come previsto da progetto, il materiale scavato è in esubero e di scarso interesse ai fini del suo utilizzo nell'ambito dello stesso sito (a meno del terreno vegetale, proveniente dai tratti in esterno l'ambito urbano, ed alla quota di scavo che verrà trattata a calce); pertanto la concentrazione che supera il limite, dal punto di vista del rischio sanitario-ambientale non sussiste nè per la realizzazione dell'opera (in quanto l'opera non passerà per il punto indagato) nè per il personale di lavoro.

## 4 PIANO DI MONITORAGGIO GEO-AMBIENTALE

### 4.1 Monitoraggio idrogeologico

Per ottemperare alle prescrizioni del Comune di Bologna e dell'ARPA Sezione Provinciale di Bologna, sono previsti i seguenti piezometri di controllo:

- N. 5 piezometri realizzati in fase di definizione dell'assetto idrogeologico dell'area (T1-1, T1-2, T1-A2, T2-1, T2-2);
- N. 3 piezometri di nuova costruzione per meglio definire il monte e valle idrogeologico.

I piezometri già realizzati in questa fase progettuale del Progetto Definitivo, sono collocati a monte ed a valle della linea, in prossimità delle opere nelle tratte ove la profondità dello scavo e dei diaframmi laterali sono maggiori e quindi il potenziale impatto sul deflusso idrico sotterraneo è maggiore. Tale condizione si verifica in corrispondenza della fermata di via Libia nella Tratta 1 e in corrispondenza della fermata via Larga nella Tratta 2. Di questa tipologia è previsto un nuovo piezometro da realizzare nella fase di Progetto Esecutivo per la tratta T1.

Avendo a disposizione questi nuovi sondaggi, realizzati con carotaggio continuo, si è implementato un piano di prove geotecniche in sito ed in laboratorio che ha permesso di corroborare la caratterizzazione geotecnica realizzata nel 2009. In particolare, con prove che hanno permesso di definire i moduli di deformabilità dei terreni (mediante prova pressiométrica in sito e prove geotecniche di laboratorio) e la permeabilità puntuale (prove Lefranc in foro)

I due piezometri di controllo (uno per tratta) sono situati a maggiori distanze del valle idrogeologico dell'opera, per ricomprendere quelle tratte di progetto che non usufruiranno dei controlli di prossimità. Questi sondaggi saranno da realizzare nella fase di Progetto Esecutivo.

Il monitoraggio dei piezometri prevede una fase di *ante-operam* ed una di corso d'opera.

In fase *post-operam*, oltre che per la fasi precedenti, è stato esteso il controllo per i piezometri di valle idrogeologico più distanti dal cantiere e/o per quelli in aree con acquiferi a ridotta conducibilità idraulica.

In tutti i punti individuati nel post operam sono comunque previste le letture del livello di falda finalizzate al controllo dell'impatto dell'opera sull'idrogeologia locale.

Si rimanda all'elaborato specifico del Piano di Monitoraggio Ambientale per maggiori dettagli sulle attività di indagine (FER\_BP\_D\_T0\_AMB\_GEN\_R\_003).

**Tabella 5: Elenco dei piezometri da installare in fase di Progetto Esecutivo e criteri per la definizione dei periodi, delle cadenze e delle tipologie di misure**

Opere di riferimento	Tipo di strumentazione da installare	Profondità (m da p.c.)	Cod.	Monitoraggio dei livelli di falda				
				Obiettivo	Momento di inizio	Durata	Cadenza	Tipo
Tratta 1	Piezometro a tubo aperto, diametro 3 pollici	30	T1-4	Punto integrativo di valle idrogeologico	Durante il PE, un anno prima dell'inizio dei lavori	Durante la costruzione e per due anni dopo il termine dei lavori di costruzione	Mensile per livello freatico e par. in situ; ogni 6 mesi in AO e CO per livello par. chimici e microbiologici	Livello freatico, Parametri in situ, chimici e microbiologici



Tratta 1	Piezometro a tubo aperto, diametro 3 pollici	30	T1-5	Monitorare i possibili impatti durante la costruzione, a maggiori distanze a valle idrogeologico dell'opera	Durante il PE, un anno prima dell'inizio dei lavori	Durante la costruzione e per due anni dopo il termine dei lavori di costruzione	<u>Mensile</u> per livello freatico e par. in situ, <u>ogni 6 mesi</u> in AO, CO e PO per livello par. chimici e microbiologici	Livello freatico, Parametri in situ, chimici e microbiologici
Tratta 2	Piezometro a tubo aperto, diametro 3 pollici	30	T2-4	Monitorare i possibili impatti durante la costruzione, a maggiori distanze a valle idrogeologico dell'opera	Durante il PE, un anno prima dell'inizio dei lavori	Durante la costruzione e per due anni dopo il termine dei lavori di costruzione	<u>Mensile</u> per livello freatico e par. in situ, <u>ogni 6 mesi</u> in AO, CO e PO per livello par. chimici e microbiologici	Livello freatico, Parametri in situ, chimici e microbiologici

## 4.2 Caratterizzazione ambientale

### 4.2.1 Criteri adottati per l'ubicazione dei sondaggi per la caratterizzazione ambientale

I sondaggi sono previsti a distanza di circa ogni 500 metri lungo la linea e con profondità compatibile con le esigenze dettate dalle necessità di approfondimenti ambientali. In ogni caso si prevede una profondità non inferiore a 10 m per il sondaggio di via Cellini al fine di valutare geotecnicamente l'eventuale variante di tracciato altimetrico.

Nella Tratta 2 i piezometri posizionati sono baricentrici. Il sondaggio necessario per la caratterizzazione ambientale è posto lato via Cellini per l'assenza di indagini geotecniche su questo lato nella fase di PD 2009.