



autostrade // per l'italia

Tronco

A52 - TANGENZIALE NORD

Oggetto

Strada di collegamento urbana in affiancamento alla A52 (ex SP46) in comune di Novate Milanese

CUP: D61B16000030005

Fase progettuale

PROGETTO PRELIMINARE per verifica ASSOGGETTABILITA'

LA CONCEDENTE



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE  
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

LE CONCESSIONARIE



autostrade // per l'italia

IL DIRETTORE TECNICO  
Dott. Ing. Giuseppe Colombo

Progettista / Progettazioni specialistiche / Validazione



AREA PROGETTAZIONE E  
REALIZZAZIONE NUOVE OPERE  
Il Responsabile  
Roberto D'Avossa

AREA PROGETTAZIONE E  
REALIZZAZIONE NUOVE OPERE  
Il Progettista  
Ing. Matteo Maraschi

Descrizione Elaborato

**GEOLOGIA E GEOTECNICA  
INDAGINI IN SITO**

SONDAGGI GEOGNOSTICI E PROVE DI LABORATORIO

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	MARZO 2016	EMISSIONE	MSE	PRNO	DT
B	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-

Scala

Codifica Elaborato

5	0	2	2	P	G	E	O	0	0	2	R	X	X	X	X	X	X	X	A	
Codice				Fase	Ambito			Progressivo			Tipo	Lotto	Zona			Opera			Tratto	Rev.

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
2.1 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	3
<b>3. INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE.....</b>	<b>4</b>
3.1 INDAGINI PREGRESSE .....	4
3.2 CAMPAGNA GEOGNOSTICA DI PRIMA FASE .....	5
3.2.1 Laboratorio.....	6
3.3 CAMPAGNA GEOGNOSTICA DI SECONDA FASE.....	8
3.3.1 Laboratorio.....	10
3.4 CAMPAGNA GEOGNOSTICA INTEGRATIVA ALLA SECONDA FASE .....	13
3.4.1 Laboratorio.....	13
3.5 CAMPAGNA GEOGNOSTICA INTEGRATIVA DEL 2011 .....	15
3.5.1 Laboratorio.....	15
3.6 CAMPAGNA GEOGNOSTICA INTEGRATIVA DEL 2013 .....	17
3.7 CONCLUSIONI SULLE CAMPAGNE D’INDAGINE ESEGUITE .....	18

## 1. PREMESSA

La presente relazione geotecnica riporta la documentazione delle indagini geotecniche eseguite nelle varie campagne d'indagine per la progettazione della viabilità di adduzione al sistema autostradale esistente A8 – A52 Rho-Monza tra le progressive chilometriche 0+000 e 6+600 circa.

## 2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

### 2.1 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Nella stesura della relazione si è fatto riferimento alla seguente documentazione:

- [D\_1]. 5017 GEI GEO 001 PR 01 Elaborato 2.7. - Spea Ingegneria Europea S.p.A. — Viabilità di Adduzione al sistema Autostradale esistente A8-A52 Rho — Monza. "Studi e indagini preliminari Relazione geologica". Progetto Preliminare. 20/10/2008.
- [D\_2]. 5017 GEI GEO 005 PR 01 Elaborato 2.9.1 ÷ 5017 GEI GEO 006 PR 01 Elaborato 2.9.2 - Spea Ingegneria Europea S.p.A. — Viabilità di Adduzione al sistema Autostradale esistente A8-A52 Rho — Monza. "Studi e indagini preliminari Planimetria di ubicazione delle indagini geognostiche". Progetto Preliminare. 20/10/2008.
- [D\_3]. 5017 GEI GEO 007 PR 01 Elaborato 2.10. - Spea Ingegneria Europea S.p.A. — Viabilità di Adduzione al sistema Autostradale esistente A8-A52 Rho — Monza. "Studi e indagini preliminari Indagini geognostiche 2008". Progetto Preliminare. 20/10/2008.
- [D\_4]. 5017 GEI GEO 008 PR 01 Elaborato 2.11. - Spea Ingegneria Europea S.p.A. — Viabilità di Adduzione al sistema Autostradale esistente A8-A52 Rho — Monza. "Studi e indagini preliminari Prove di laboratorio 2008". Progetto Preliminare. 20/10/2008.
- [D\_5]. 5017 GEI GEO 009 PR 01 Elaborato 2.12. - Spea Ingegneria Europea S.p.A. — Viabilità di Adduzione al sistema Autostradale esistente A8-A52 Rho — Monza. "Studi e indagini preliminari Indagini geognostiche pregresse". Progetto Preliminare. 20/10/2008.
- [D\_6]. 5017 GEI GEO 010 PR 01 Elaborato 2.13. - Spea Ingegneria Europea S.p.A. — Viabilità di Adduzione al sistema Autostradale esistente A8-A52 Rho — Monza. "Studi e indagini preliminari Stratigrafie pozzi". Progetto Preliminare. 20/10/2008.
- [D\_7]. B&A – Business Evolution Administration S.r.l.. — Viabilità di Adduzione al sistema Autostradale esistente A8-A52 Rho — Monza. "Relazione tecnica di restituzione dati Campagna di indagini geognostiche fase 2" Corredata da 2 tavole e 67 allegati. 13/10/2008.
- [D\_8]. Studio tecnico geom. Ugo Celotti S.r.l.. — Viabilità di Adduzione al sistema Autostradale esistente A8-A52 Rho — Monza. "Indagini geognostiche e geotecniche eseguite nel terreno interessato dalla Strada Provinciale n. 46 Rho-Monza in comune di Paderno Dugnano (Milano)". Indagini integrative alla seconda fase. 15/03/2010.
- [D\_9]. Geogttesting s.r.l. Indagini geognostiche ed ambientali – Prospezioni geofisiche di Desenzano del Garda (BS). Viabilità di Adduzione al sistema Autostradale esistente A8-A52 Rho — Monza. "Rapporto di fine lavori Indagine geognostica ed ambientale". Settembre 2011.
- [D\_10].

### 3. INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE

Lungo il tracciato in esame sono disponibili i risultati delle seguenti campagne d'indagine:

- Campagne geognostiche pregresse: si tratta di indagini geotecniche, antecedenti al 2008, eseguite con diverse finalità;
- Campagna geognostica di prima fase (a base del Progetto Preliminare) condotta nel mese di agosto 2008;
- Campagna geognostica di seconda fase, condotta nel settembre 2008;
- Campagna geognostica integrativa alla seconda fase, eseguita nel febbraio 2010;
- Campagna geognostica integrativa del 2011.

Nel seguito verranno descritte nel dettaglio le indagini geognostiche eseguite nelle diverse campagne.

#### 3.1 INDAGINI PREGRESSE

Nel presente paragrafo vengono presentati i risultati di precedenti campagne d'indagine che hanno interessato zone limitrofe a quelle in esame; in particolare sono stati utilizzati i risultati dei sondaggi riportati nella seguente tabella.

Inoltre durante le perforazioni dei sondaggi sono state eseguite le seguenti attività:

- riconoscimento stratigrafico, geotecnico dei materiali;
- prelievo di campioni rimaneggiati;
- prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT);
- prove di permeabilità di tipo Lefranc.

Per i dettagli si rimanda ai certificati nel documento di riferimento [D\_5].

**Tabella 1- Sondaggi pregressi**

Sondaggio	Profondità [m]	Anno	Ditta esecutrice	Prove SPT [n.]	N. campioni rimaneggiati	N. Prove permeabilità Lefranc	Piezometro (TA; CC)
A	35.0	2003	RCT	10	-	7	-
B	35.0	2003	RCT	13	-	7	-
S13	20.0	1987	-	2 (*)	3 (**)	-	-
S15	30.0	1987	-	3 (*)	4 (**)	-	-

dove:

TA: piezometro tipo tubo aperto (profondità tratto filtrante);

CC: piezometro a cella di Casagrande (profondità cella).

(\*) = valori prove SPT non disponibili;

(\*\*) = campioni di laboratorio non disponibili.

Nonché i dati bibliografici reperiti presso la "Direzione Territorio e Urbanistica" della Regione Lombardia (stratigrafie derivanti dall'esecuzione di pozzi per acqua) (vedasi [D\_1], [D\_6]).

## 3.2 CAMPAGNA GEOGNOSTICA DI PRIMA FASE

La campagna geognostica di prima fase (a base del Progetto Preliminare) è stata condotta nel luglio - agosto 2008 (dall'impresa TEA Territorio e Ambiente S.R.l.) ed è consistita in indagini in sito ed in laboratorio. Le indagini in sito eseguite lungo il tracciato in esame sono:

- N. 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (denominati "RM") di lunghezza 30 m;
- N. 3 prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH);
- N. 3 pozzetti esplorativi (denominati "Pz-RM") spinti fino ad una profondità di 4 m dal p.c..

Inoltre durante le perforazioni dei sondaggi sono state eseguite le seguenti attività:

- riconoscimento stratigrafico, geotecnico dei materiali;
- prelievo di campioni rimaneggiati per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT) in numero di circa 15 per sondaggio;
- rilievo del livello di falda nei piezometri installati;
- prove di permeabilità di tipo Lefranc a carico variabile.

I pozzetti esplorativi sono stati eseguiti con escavatore; durante l'esecuzione inoltre sono state svolte le seguenti attività:

- riconoscimento stratigrafico, geotecnico dei materiali;
- prelievo di n. 2 campioni rimaneggiati per l'esecuzione di analisi granulometriche in laboratorio e n. 2 campioni per analisi ambientali;
- n. 1 prova di carico su piastra (PLT) per ciascun pozzetto.

Per i dettagli si rimanda ai certificati nei documenti di riferimento [D\_3], [D\_4].

La tabella seguente riassume le principali caratteristiche dei sondaggi: campioni prelevati, prove geotecniche eseguite in foro e strumentazione di monitoraggio installata.

**Tabella 2- Sondaggi prima fase (luglio-agosto 2008)**

Sondaggio	Profondità [m]	Quota bocca foro [m] s.l.m.	Prove SPT [n.]	N. campioni rimaneggiati	N. Prove permeabilità Lefranc	Piezometro (TA; CC)
RM1	30.0	150	15	9	1	TA (3÷30 m)
RM3	30.0	157	15	9	1	TA (3÷30 m)
RM4	30.0	150	15	9	1	TA (3÷30 m)
RM5	30.0	155	15	10	1	TA (3÷30 m)
RM6	30.0	149	15	9	1	TA (3÷30 m)

dove:

TA: piezometro tipo tubo aperto (profondità tratto filtrante);  
 CC: piezometro a cella di Casagrande (profondità cella).

La seguente tabella riassume le principali caratteristiche delle prove penetrometriche dinamiche continue DPSH.

**Tabella 3- Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH prima fase (luglio-agosto 2008)**

Prova	Profondità [m]	Quota bocca foro [m] s.l.m.	Sondaggio vicino
DPSH-RM7	9.2		RM4
DPSH-RM8	13.0		RM5
DPSH-RM11	22.8		-

**Tabella 4- Pozzetti esplorativi e prove di carico su piastra(PLT) prima fase (luglio-agosto 2008)**

Prova	Profondità [m]	Quota bocca foro [m] s.l.m.	Profondità prova PLT [m]	Profondità campione rimaneggiato [m]
PZ-RM1	4.0		1.0	0.3-3.8
PZ-RM5	4.0		1.0	0.3-3.8
PZ-RM8	4.0		1.0	0.3-3.8

### 3.2.1 Laboratorio

Sui campioni rimaneggiati prelevati nei sondaggi e nei pozzetti esplorativi sono state effettuate prove di laboratorio per la determinazione della composizione granulometrica e dove possibile sono state effettuate anche prove per la determinazione dei limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico). Nelle seguenti tabelle si riassumono i risultati delle prove di laboratorio eseguite; per i certificati si rimanda al documento di riferimento [D\_4]

**Tabella 5- Laboratorio prima fase (luglio-agosto 2008)**

Sondaggio	-	RM1	RM1	RM1	RM1	RM1	RM1	RM1	RM1	RM1	RM1
Campione	-	C1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Unità	-	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS
Prof.	m	30.00	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00
<b>Granulometria</b>											
G	%	64.3	55.2	59.2	59.8	39.8	36.5	35.9	46.7	45.4	38.1
S	%	26.9	25.0	28.1	20.8	25.9	28.2	47.4	44.4	39.4	47.4
L+A	%	8.9	19.8	12.7	19.4	34.3	35.3	16.7	8.8	15.2	14.5
L	%	5.9	17.8	10.5	14.1	26.3	27.4	11.9	6.3	10.9	10.3
A	%	3.0	2.0	2.2	5.3	8.0	7.9	4.8	2.5	4.3	4.2
D50	mm	11.0	3.0	3.0	4.7	0.4	0.3	0.7	1.5	1.5	0.7
<b>Limiti di Atterberg</b>											
W <sub>L</sub>	%				27.7	28.9	27.0				
W <sub>P</sub>	%				20.0	15.0	19.0				
I <sub>p</sub>	-										
I <sub>p</sub>	%				7.7	13.9	8.0				

<b>Sondaggio</b>	-	RM3						
<b>Campione</b>	-	C1-spt	C2-spt	C3-spt	C4-spt	C5-spt	C6-spt	C7-spt
<b>Unità</b>	-	GS						
<b>Prof.</b>	m	3.00	6.00	9.00	18.00	24.00	27.00	30.00

<b>Granulometria</b>								
G	%	62.0	34.6	48.2	56.1	43.2	43.2	45.0
S	%	24.1	50.9	30.9	31.9	35.9	32.8	34.0
L + A	%	13.9	14.5	20.8	12.0	20.9	24.0	21.0
L	%	12.0	13.0	20.0	10.0	18.0	19.0	21.0
A	%	2.0	2.0	0.8	2.0	3.0	5.0	2.0
D50	mm	6.0	0.8	1.0	3.0	1.5	0.9	1.0

<b>Limiti di Atterberg</b>								
W <sub>L</sub>	%							
W <sub>P</sub>	%							
I <sub>c</sub>	-							
I <sub>p</sub>	%							

<b>Sondaggio</b>	-	RM3	RM3	RM3	RM3	RM3	RM3	RM3	RM3	RM3
<b>Campione</b>	-	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
<b>Unità</b>	-	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS
<b>Prof.</b>	m	3.00	6.00	9.00	12.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00

<b>Granulometria</b>										
G	%	48.6	35.5	47.7	51.3	55.4	25.0	44.1	42.6	44.2
S	%	34.0	51.1	30.7	29.8	33.0	42.0	34.7	33.7	33.1
L + A	%	17.4	13.4	21.5	18.9	11.6	33.0	21.2	23.8	22.7
L	%	14.0	11.4	18.0	15.4	9.1	18.8	16.2	18.4	20.0
A	%	3.0	2.0	3.0	3.5	2.5	14.2	5.0	5.4	3.0
D50	mm	1.9	0.6	1.0	2.2	4.0	0.3	1.0	0.9	1.0

<b>Limiti di Atterberg</b>										
W <sub>L</sub>	%							28.6		
W <sub>P</sub>	%							16.7		
I <sub>c</sub>	-									
I <sub>p</sub>	%							11.9		

<b>Sondaggio</b>	-	RM4								
<b>Campione</b>	-	C1-spt	C2-spt	C3-spt	C4-spt	C5-spt	C6-spt	C7-spt	C8-spt	C9-spt
<b>Unità</b>	-	GS								
<b>Prof.</b>	m	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00

<b>Granulometria</b>										
G	%	42.6	34.6	25.1	28.7	29.0	24.5	34.1	5.9	30.7
S	%	46.4	36.3	48.0	54.8	56.0	59.0	48.8	65.4	43.3
L + A	%	11.0	29.2	26.9	16.5	15.1	16.5	17.1	28.7	26.0
L	%	8.6	21.7	21.0	13.1	11.3	11.8	11.4	19.8	20.0
A	%	2.4	7.5	5.9	3.4	3.8	4.7	5.7	8.9	6.0
D50	mm	0.8	0.6	0.3	0.7	0.6	0.6	0.4	0.2	0.4

<b>Limiti di Atterberg</b>										
W <sub>L</sub>	%		28.7	28.5						27.8
W <sub>P</sub>	%		19.0	20.5						19.2
I <sub>c</sub>	-									
I <sub>p</sub>	%		9.7	8.0						8.6

(\*) segue da pagina precedente

<b>Sondaggio</b>	-	RM5	RM5	RM5	RM5	RM5	RM5	RM5	RM5	RM5	RM5
<b>Campione</b>	-	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
<b>Unità</b>	-	GS	GS	GS	GS	GS	SL	GS	GS	GS	GS
<b>Prof.</b>	m	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	16.50	18.00	21.00	25.50	27.00

**Granulometria**

G	%	69.3	34.6	23.3	26.8	23.5	0.0	15.4	28.6	5.9	23.3
S	%	24.9	36.3	45.7	40.7	42.1	47.9	51.8	36.7	65.4	34.0
L+A	%	5.8	29.2	31.0	32.5	34.4	52.1	32.9	34.7	28.7	42.7
L	%	4.0	25.0	25.0	24.0	27.0	40.0	29.0	22.0	24.0	40.0
A	%	2.0	5.0	6.0	8.0	7.0	12.0	17.9	13.0	5.0	3.0
D50	mm	8.0	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2

**Limiti di Atterberg**

W <sub>L</sub>	%		29.4	28.2	29.2	27.3	33.0	29.0	24.7	25.1	31.4
W <sub>P</sub>	%		19.3	20.2	15.1	19.5	26.2	17.9	15.8	17.8	21.5
I <sub>c</sub>	-										
I <sub>p</sub>	%		10.1	8.0	14.2	7.8	6.9	11.1	9.1	7.3	9.9

<b>Sondaggio</b>	-	RM6	RM6	RM6	RM6	RM6	RM6	RM6	RM6	RM6
<b>Campione</b>	-	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
<b>Unità</b>	-	GS	GS	GS	GS	GS	GS	SL	GS	GS
<b>Prof.</b>	m	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00

**Granulometria**

G	%	65.8	36.6	46.8	52.7	22.7	14.2	29.0	42.9	42.1
S	%	23.8	45.8	34.3	28.1	41.1	32.8	35.9	35.8	34.7
L+A	%	10.4	17.7	19.0	19.2	36.2	33.0	35.1	21.3	23.2
L	%	6.5	12.7	13.4	14.1	33.3	28.1	30.1	17.0	15.7
A	%	3.9	5.0	5.6	5.1	2.9	4.9	5.0	4.4	7.5
D50	mm	8.5	1.0	1.8	2.5	0.2	0.3	0.4	0.8	0.9

**Limiti di Atterberg**

W <sub>L</sub>	%					28.0	28.8	24.5		
W <sub>P</sub>	%					19.0	18.0	15.5		
I <sub>c</sub>	-									
I <sub>p</sub>	%					9.0	10.8	9.0		

<b>Sondaggio</b>	-	PZ-RM1	PZ-RM1	PZ-RM5	PZ-RM5	PZ-RM8	PZ-RM8
<b>Campione</b>	-	Pz C2	Pz C1	PzC1	PzC2	PzC2	PzC1
<b>Unità</b>	-	GS	GS	GS	GS	GS	GS
<b>Prof.</b>	m	4.00	1.00	4.00	1.00	4.00	1.00

**Granulometria**

G	%	56.5	67.6	66.2	68.8	62.6	66.7
S	%	30.2	24.6	30.3	21.8	29.9	26.3
L+A	%	13.3	7.8	3.5	9.4	7.6	7.0
L	%	9.2	5.4	2.4	6.2	4.6	5.0
A	%	4.1	2.4	1.2	3.2	3.0	2.0
D50	mm	3.0	3.5	5.0	4.0	12.0	3.5

(\*) segue da pagina precedente

### 3.3 CAMPAGNA GEOGNOSTICA DI SECONDA FASE

La campagna geognostica di seconda fase è stata condotta nel mese di settembre 2008 ed è consistita in indagini in sito ed in laboratorio. In particolare le indagini in sito eseguite lungo il tracciato in esame, sono le seguenti:

- N. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (denominati "RM") di lunghezza 30-35 m;
- N. 2 sondaggi a distruzione di nucleo ("RM2bis, RM2ter) per esecuzione prova sismica tipo Cross-Hole;
- N. 17 prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH);

- N. 5 pozzetti esplorativi (denominati "Pz-RM") di lunghezza 1-2 m;
- N. 1 prova sismica tipo Cross-Hole di lunghezza 30 m.

Inoltre durante le perforazioni dei sondaggi sono state eseguite le seguenti attività:

- riconoscimento stratigrafico, geotecnico dei materiali;
- prelievo di campioni rimaneggiati per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT) in numero di circa 15 per sondaggio;
- rilievo del livello di falda nei piezometri installati;
- prove di permeabilità di tipo Lefranc a carico variabile.

I pozzetti esplorativi sono stati eseguiti con escavatore; durante l'esecuzione inoltre sono state svolte le seguenti attività:

- riconoscimento stratigrafico, geotecnico dei materiali;
- prelievo di n. 3 campioni rimaneggiati per l'esecuzione di analisi granulometriche in laboratorio e n. 2 campioni per analisi ambientali;
- n. 1 prova di carico su piastra (PLT) per ciascun pozzetto.

La tabella seguente riassume le principali caratteristiche dei sondaggi: campioni prelevati, prove geotecniche eseguite in foro e strumentazione di monitoraggio installata.

**Tabella 6- Sondaggi seconda fase (settembre 2008)**

Sondaggio	Profondità [m]	Quota bocca foro [m] s.l.m.	Prove SPT [n.]	N. campioni rimaneggiati	N. Prove permeabilità Lefranc	Piezometro (TA; CC)	Cross-Hole [m]
RM1NEW	30.0	156.80	15	10	1	-	-
RM2	30.0	157.35	15	7	1	TA (24÷30 m)	-
RM2-bis	30.0	157.37	-				30
RM2-ter	30.0	157.47	-				

dove:  
 TA: piezometro tipo tubo aperto (profondità tratto filtrante);  
 CC: piezometro a cella di Casagrande (profondità cella).

I certificati stratigrafici delle indagini sono riportate nel documento [D\_7].

La seguente tabella riassume le principali caratteristiche delle prove penetrometriche dinamiche continue DPSH.

**Tabella 7- Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH seconda fase (settembre 2008)**

Prova	Profondità [m]	Quota bocca foro [m] s.l.m.	Sondaggio vicino
DPSH-RM1	17.7	157.31	RM2
DPSH-RM10	7.8	158.76	
DPSH-RM10bis	19.2	158.76	
DPSH-RM12	18.6	149.55	-
DPSH-RM2	17.7	156.68	
DPSH-RM3	15.6	156.29	
DPSH-RM4	17.7	156.41	
DPSH-RM5	17.1	156.5	
DPSH-RM6	0÷6.6; 10.2÷19.2	158.76	
DPSH-RM7	12÷18.9	158.76	
DPSH-RM9	18.0	152.51	
DPSH-RMNEW1	18.0	145.98	

**Tabella 8- Pozzetti esplorativi e prove di carico su piastra(PLT) seconda fase (settembre 2008)**

Prova	Profondità [m]	Quota bocca foro [m] s.l.m.	Profondità prova PLT [m]	Profondità campione rimaneggiato [m]
PZ-RM2	2.0	156.47	2.0	0.7, 1.5, 2.0
PZ-RM3	1.0	157.92	1.0	0.4, 1.0, 1.5
PZ-RM4	1.0	156.75	1.0	0.4, 1.0, 1.5
PZ-RM6	1.5	155.50	1.5	0.5, 1.0, 1.5
PZ-RM7	1.5	152.28	1.5	0.5, 1.0, 1.5

### 3.3.1 Laboratorio

Sui campioni rimaneggiati prelevati nei sondaggi e nei pozzetti esplorativi sono state effettuate prove di laboratorio per la determinazione della composizione granulometrica e dove possibile sono state effettuate anche prove per la determinazione dei limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico). Nelle seguenti tabelle si riassumono i risultati delle prove di laboratorio eseguite; per i certificati si rimanda al documento [D\_7].

**Tabella 9- Laboratorio seconda fase (settembre 2008) - sondaggi**

Sondaggio	-	RMNEW1									
<b>Campione</b>	-	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
<b>Unità</b>	-	GS									
<b>Prof.</b>	m	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	29.80

**Granulometria**

G	%	45.3	52.0	38.9	37.3	44.5	19.7	13.9	23.9	25.1	26.9
S	%	38.4	31.5	47.6	36.3	40.1	37.1	52.5	39.1	49.0	37.2
L+A	%	16.3	16.5	13.6	26.4	15.5	43.2	33.6	37.0	25.9	35.8
L	%	12.0	12.9	11.1	23.3	12.6	35.2	27.8	30.3	21.6	29.2
A	%	4.3	3.6	2.5	3.2	2.9	8.0	5.8	6.7	4.4	6.6
D50	mm	1.8	1.8	0.8	0.8	1.5	0.2	0.3	0.3	0.5	0.3

**Limiti di Atterberg**

$W_L$	%				24.0		21.0	19.0	20.0	23.0	24.0
$W_p$	%				20.0		15.0	14.0	15.0	18.0	15.0
$I_c$	-										
$I_p$	%				4.0		6.0	5.0	5.0	5.0	9.0

Sondaggio	-	RM2	RM2	RM2	RM2	RM2	RM2	RM2	RM2	RM2	RM2
<b>Campione</b>	-	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
<b>Unità</b>	-	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS
<b>Prof.</b>	m	2.80	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	29.80

**Granulometria**

G	%	49.2	21.8	47.8	48.3	23.7	15.5	33.4	25.9	38.4	36.8
S	%	34.3	44.2	31.9	31.3	35.6	42.6	41.3	40.5	35.5	36.1
L+A	%	16.5	34.0	20.3	20.4	40.7	41.9	25.3	33.6	26.2	27.1
L	%	11.4	28.5	16.6	17.7	31.5	34.2	22.0	27.6	21.5	21.6
A	%	5.1	5.6	3.7	2.7	9.2	7.7	3.3	6.1	4.7	5.4
D50	mm	2.0	0.3	1.9	1.8	0.2	0.2	0.6	0.3	0.8	0.8

**Limiti di Atterberg**

$W_L$	%		26.0	19.0	24.0	20.0	26.0	20.0	21.0	23.0	26.0
$W_p$	%		21.0	15.0	19.0	14.0	19.0	16.0	16.0	17.0	18.0
$I_c$	-										
$I_p$	%		5.0	4.0	5.0	6.0	7.0	4.0	5.0	6.0	8.0

Tabella 10- Laboratorio seconda fase (settembre 2008) - pozzetti

<b>Sondaggio</b>	-	PZ RM2	PZ RM2	PZ RM2	PZ RM3	PZ RM3	PZ RM3
<b>Campione</b>	-	C1	C2	C3	C1	C2	C3
<b>Unità</b>	-	SL	GS	GS	GS	GS	GS
<b>Prof.</b>	m	0.70	1.50	2.00	0.40	1.00	1.50

**Granulometria**

G	%	48.7	63.6	72.5	45.7	14.0	59.6
S	%	30.8	25.4	17.9	28.6	45.5	30.0
L + A	%	20.5	11.1	9.6	25.7	40.5	10.5
L	%	15.1	8.3	7.8	19.1	31.4	8.7
A	%	5.4	2.7	1.8	6.6	9.1	1.8
D50	mm	1.8	5.0	10.6	1.4	0.2	3.5

**Limiti di Atterberg**

W <sub>L</sub>	%	22.0			30.0	20.0	
W <sub>P</sub>	%	16.0			19.0	15.0	
I <sub>s</sub>	-						
I <sub>p</sub>	%	6.0			11.0	5.0	

<b>Sondaggio</b>	-	PZ RM4	PZ RM4	PZ RM4	PZ RM5	PZ RM5	PZ RM5	PZ RM7	PZ RM7	PZ RM7
<b>Campione</b>	-	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
<b>Unità</b>	-	GS	GS	GS	SL	GS	GS	GS	GS	GS
<b>Prof.</b>	m	0.50	1.00	1.50	0.50	1.00	1.50	0.50	1.00	1.50

**Granulometria**

G	%	15.9	59.7	51.6	1.5	42.1	59.6	52.1	58.0	66.4
S	%	47.4	31.4	42.3	53.9	36.9	30.0	29.0	29.9	27.3
L + A	%	36.7	8.9	6.1	44.6	21.0	10.4	18.9	12.1	6.3
L	%	28.2	8.1	5.8	39.1	19.5	8.8	15.3	9.8	5.5
A	%	8.5	0.8	0.3	5.6	1.5	1.5	3.6	2.3	0.9
D50	mm	0.2	5.0	2.0	0.1	0.8	4.0	1.5	3.0	5.0

**Limiti di Atterberg**

W <sub>L</sub>	%	20.0			20.0					
W <sub>P</sub>	%	16.0			15.0					
I <sub>s</sub>	-									
I <sub>p</sub>	%	4.0			5.0					

### 3.4 CAMPAGNA GEOGNOSTICA INTEGRATIVA ALLA SECONDA FASE

La campagna geognostica integrativa alla seconda fase è stata condotta nel 2010 ed è consistita in indagini in sito ed in laboratorio. In particolare le indagini in sito, sono le seguenti:

- N. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (denominati "G") di lunghezza 35 m.

Inoltre durante le perforazioni dei sondaggi sono state eseguite le seguenti attività:

- riconoscimento stratigrafico, geotecnico dei materiali;
- prelievo di campioni rimaneggiati per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT) in numero di 11 per sondaggio;
- rilievo del livello di falda nei piezometri installati;
- prove di permeabilità di tipo Lefranc a carico costante (non è stato possibile interpretarle in termine di determinazione della permeabilità in quanto non si hanno le informazioni sulla geometria di prova eseguita).

La tabella seguente riassume le principali caratteristiche dei sondaggi: campioni prelevati, prove geotecniche eseguite in foro e strumentazione di monitoraggio installata.

**Tabella 11- Sondaggi integrativi alla seconda fase (2010)**

Sondaggio	Profondità [m]	Quota bocca foro [m] s.l.m.	Prove SPT [n.]	N. campioni rimaneggiati	N. Prove permeabilità Lefranc	Piezometro (TA; CC)
G1	35.0	157.425	11	9	3	TA (5÷35 m)
G2	35.0	156.835	11	9	3	TA (5÷35 m)
G3	35.0	157.991	11	9	3	TA (5÷35 m)
dove: TA: piezometro tipo tubo aperto (profondità tratto filtrante); CC: piezometro a cella di Casagrande (profondità cella).						

I certificati stratigrafici delle indagini sono riportate nel documento [D\_8].

#### 3.4.1 Laboratorio

Sui campioni rimaneggiati prelevati nei sondaggi sono state effettuate prove di laboratorio per la determinazione della composizione granulometrica e dove possibile sono state effettuate anche prove per la determinazione dei limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico). Nelle seguenti tabelle si riassumono i risultati delle prove di laboratorio eseguite; per i certificati si rimanda al documento [D\_8].

Tabella 12- Laboratorio indagini integrative alla seconda fase (2010)

<b>Sondaggio</b>	-	G1	G1	G1	G1	G1	G1	G1
<b>Campione</b>	-	A	B	C	D	E	F	G
<b>Unità</b>	-	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS
<b>Prof.</b>	m	3.00	8.00	11.00	13.50	20.00	26.00	32.00

**Granulometria**

G	%	67.4	43.1	40.8	40.5	48.2	65.1	49.2
S	%	20.6	31.1	32.8	30.5	35.7	22.2	34.3
L +A	%	12.0	25.8	26.4	28.9	16.1	12.7	16.5
L	%	0.0	14.7	15.9	18.7	0.0	0.0	0.0
A	%	0.0	11.1	10.4	10.2	0.0	0.0	0.0
D50	mm	6.0	1.1	1.0	0.8	2.0	11.0	2.0

**Limiti di Atterberg**

W <sub>L</sub>	%	15.8	22.0	21.5	21.9	17.0	17.7	17.1
W <sub>P</sub>	%							
I <sub>G</sub>	-							
I <sub>P</sub>	%							

<b>Sondaggio</b>	-	G2	G2	G2	G2	G2	G2	G2
<b>Campione</b>	-	A	B	C	D	E	F	G
<b>Unità</b>	-	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS
<b>Prof.</b>	m	3.00	7.00	11.00	15.00	20.00	27.50	32.50

**Granulometria**

G	%	62.2	53.7	41.1	46.9	40.4	34.5	58.9
S	%	23.8	28.6	27.0	33.0	31.9	41.7	29.9
L +A	%	14.0	17.8	31.9	20.2	27.7	23.8	11.2
L	%	0.0	0.0	20.2	0.0	16.5	14.7	0.0
A	%	0.0	0.0	11.8	0.0	11.2	9.1	0.0
D50	mm	5.0	2.5	1.0	1.6	0.8	5.0	6.0

**Limiti di Atterberg**

W <sub>L</sub>	%	15.5	16.5	23.0	16.5	16.9	17.1	15.7
W <sub>P</sub>	%							
I <sub>G</sub>	-							
I <sub>P</sub>	%							

<b>Sondaggio</b>	-	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3
<b>Campione</b>	-	A	B	C	D	E	F	G
<b>Unità</b>	-	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS
<b>Prof.</b>	m	4.00	8.00	12.00	16.00	21.00	27.00	32.00

**Granulometria**

G	%	48.2	45.8	58.1	45.9	48.1	57.5	56.1
S	%	33.6	33.4	22.6	30.6	33.0	25.7	25.2
L +A	%	18.2	20.9	19.3	23.5	18.9	16.9	18.7
L	%	0.0	0.0	12.2	13.5	0.0	0.0	12.3
A	%	0.0	0.0	7.1	10.1	0.0	0.0	6.4
D50	mm	1.9	1.5	8.0	1.5	1.8	3.0	5.0

**Limiti di Atterberg**

W <sub>L</sub>	%	16.9	19.5	16.7	20.0	16.7	16.6	16.6
W <sub>P</sub>	%							
I <sub>G</sub>	-							
I <sub>P</sub>	%							

### 3.5 CAMPAGNA GEOGNOSTICA INTEGRATIVA DEL 2011

La campagna geognostica integrativa del 2011 è stata condotta con i seguenti obiettivi:

- indagare con maggiore dettaglio la successione stratigrafica ed il livello piezometrico della zona ove è prevista una trincea di particolare rilevanza ed alcune gallerie artificiali, tratto in variante rispetto al P.P.;
- indagare le caratteristiche granulometriche e chimico-ambientali dei terreni che verrebbero scavati per fare la trincea al fine di verificare la possibilità di riutilizzo delle terre di scavo.

Quindi le indagini integrative in sito del 2011 sono consistite in:

- N. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (denominati "SN1, SN2") di lunghezza 30 m, attrezzati con tubo piezometrico del tipo a tubo aperto per il rilievo della falda.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite prove SPT e sono stati prelevati campioni rimaneggiati per analisi di laboratorio. I certificati completi sono riportati nel Doc. di rif. [D\_9].

**Tabella 13- Sondaggi 2011**

Sondaggio	Profondità [m]	Quota bocca foro [m] s.l.m.	Prove SPT [n.]	N. campioni rimaneggiati per analisi geotecniche	N. campioni rimaneggiati per analisi chimiche	Piezometro (TA)
SN1	30.0	150	9	4	2	TA (12÷30 m)
SN2	30.0	150	9	4	2	TA (3÷30 m)

dove:  
 TA: piezometro tipo tubo aperto (profondità tratto filtrante).

#### 3.5.1 Laboratorio

Le prove di laboratorio hanno riguardato:

- prove di caratterizzazione geotecnica:
  - N. 8 analisi granulometriche per setacciatura;
  - N. 4 analisi granulometriche per sedimentazione;
  - N. 2 prove di determinazione dei limiti di consistenza (limiti di Atterberg).
- prove di caratterizzazione chimica:
  - N. 4 analisi chimiche per la determinazione completa dei suoli (D.Lgs. 152/06) inclusa analisi diossine.

Nella seguente tabella si riassumono i risultati delle prove geotecniche di laboratorio. I certificati completi sono riportati nel Doc. di rif. [D\_9].

**Tabella 14- Laboratorio geotecnico indagini integrative 2011**

Sondaggio	SN1	SN1	SN1	SN1	SN2	SN2	SN2	SN2
Campione	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
Unità	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS	GS
Prof.	9.50	12.50	17.50	19.50	9.50	12.50	17.50	19.50
<b>Granulometria</b>								
G	23.0	39.0	45.0	19.0	56.0	34.0	16.0	34.0
S	46.0	39.0	50.0	58.0	32.0	38.0	55.0	44.0
L +A	31.0	22.0	5.0	23.0	12.0	28.0	29.0	22.0
L	25.0	22.0	0.0	0.0	0.0	21.0	25.0	20.0
A	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	4.0	2.0
D50	0.3	0.6	1.4	0.3	3.8	0.4	0.3	0.6
<b>Limiti di Atterberg</b>								
W <sub>L</sub>	32.0					27.5		
W <sub>P</sub>	27.4					24.6		
I <sub>c</sub>								
I <sub>p</sub>	4.6					2.9		

Le analisi chimiche sono state eseguite dalla Chemiricerche s.r.l. di Molinetto di Mazzano (BS); nella seguente tabella sono sintetizzati i campioni analizzati. I certificati completi sono riportati nel Doc. di rif. [D\_9].

**Tabella 15- Indagini chimiche 2011**

Sondaggio	Campione	Profondità [m]
SN1	C1	3.0÷3.5
SN1	C2	8.0÷8.5
SN2	C1	3.0÷3.5
SN2	C2	8.0÷8.5

Le analisi chimiche di laboratorio sono state finalizzate ad una verifica dell'eventuale presenza di fenomeni di contaminazione dei terreni presenti entro l'area d'indagine. Queste analisi hanno permesso la rilevazione della possibile contaminazione rispetto ai seguenti parametri analitici:

- metalli: antimonio, arsenico, cadmio, cobalto, cromo totale, cromo esavalente, mercurio, nichel, piombo, rame, selenio e zinco;
- PCB;
- idrocarburi pesanti C>12;
- diossine.

Prendendo a riferimento i valori limite previsti dal D.L. 152/2006, tutti i terreni esaminati in corrispondenza dei due sondaggi rispettano i parametri analizzati, i limiti di accettabilità previsti per i siti ad uso residenziale (colonna A della tabella 1 – D.L. 152/2006) e commerciale ed industriale/artigianale (colonna B della tabella 1 – D.L. 152/2006) (vedasi [D\_9]).

### 3.6 CAMPAGNA GEOGNOSTICA INTEGRATIVA DEL 2013

La campagna geognostica integrativa del 2013 è stata condotta con i seguenti obiettivi:

- indagare con maggiore dettaglio la successione stratigrafica ed il livello piezometrico della zona ove è prevista una trincea di particolare rilevanza ed alcune gallerie artificiali, tratto in variante rispetto al P.P., con specifico riferimento alle richieste di approfondimento contenute nel rapporto di validazione del progetto ;
- indagare le caratteristiche di permeabilità dei terreni ai fini del dimensionamento dei sistemi di smaltimento delle acque di piattaforma.

Le indagini integrative in sito del 2013 hanno riguardato in particolare:

- N. 9 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (denominati "SCC01\_PE, SCC02\_PE, ecc.") di lunghezza variabile tra i 20 e i 30 m, attrezzati con piezometri sia del tipo a "tubo aperto", sia del tipo "Casagrande" per il rilievo dei livelli freatici.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite prove SPT. I certificati completi sono riportati nel Doc. di rif. [D\_10].

**Tabella 16- Sondaggi 2013**

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m da p.c.)	SPT (m da p.c.)	Prova LEFRANC (m da p.c.)	PIEZOMETRO CASAGRANDE (m da p.c.)	Piezometro a tubo aperto
SCC01_PE	20	2 4 6 12 20	8.50	9.00 20.00	
SCC02_PE	20	2 4 6 12 20		9.00 20.00	
SCC03_PE	20	2 4 6 12 20		9.00 20.00	
SCC04_PE	20	2 4 6 12 20		9.00 20.00	
SCC05_PE	20	2 4 6 12 20	7.00	7.50 13.00	
SCC06_PE	20	2		7.50	

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m da p.c.)	SPT (m da p.c.)	Prova LEFRANC (m da p.c.)	PIEZOMETRO CASAGRANDE (m da p.c.)	Piezometro a tubo aperto
		4 6 12 20		14.00	
SCC07_PE	30	2 4 6 12 20	2.00	/	30
SCC08_PE	30	2 4 6 12 20	2.00	/	30
SCC10_PE	30	2 4 6 12 20	2.00	/	30

### 3.7 CONCLUSIONI SULLE CAMPAGNE D'INDAGINE ESEGUITE

Le campagne d'indagine eseguite lungo il tracciato in esame sono da ritenersi sufficientemente esaustive ai fini della definizione della successione stratigrafica, dei parametri geotecnici di riferimento e del livello di falda. In particolare le indagini integrative dell'ultima campagna d'indagine sono state finalizzate ad una indagine di maggior dettaglio, sia per la caratterizzazione stratigrafica sia per il livello di falda, nella zona in cui il tracciato va in variante rispetto al P.P. con una trincea di rilevante importanza. Inoltre le indagini di laboratorio, eseguite sui campioni rimaneggiati prelevati nel corso di questi sondaggi integrativi del 2011, sono state mirate alla verifica della qualità del materiale da scavare per un possibile reimpiego.