

**MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE**

**REGIONE PIEMONTE  
COMUNI DI TORINO, COLLEGNO E RIVOLI**

INFRATRASPORTI.TO S.r.l.



**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO  
LINEA 1 - PROLUNGAMENTO OVEST - CASCINE VICA**

**PROGETTAZIONE ESECUTIVA  
METROPOLITANA DI TORINO TRATTA 3  
COLLEGNO (Diramazione Deposito) - CASCINE VICA  
Lotto Funzionale 2 : Collegno Centro - Cascine Vica**


PROGETTO ESECUTIVO					
IL PROGETTISTA					
	SUDI E INDAGINI GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA  RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA				
	SCALA	DATA	DIS.N.		REV. int. est.
	-	12-02-19	MT L1 T3 A2	E GEOENR003	0 1

**AGGIORNAMENTI**

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.	VISTO
0	EMISSIONE	14-01-19	SAO	AEU	AEU	GAS
1	REVISIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA	12-02-19	SAO	AEU	AEU	GAS
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 2</td> <td>CARTELLA</td> <td>2.1</td> <td>13</td> <td>MTL1T3A2</td> <td>E GEOENR003</td> </tr> </table>	LOTTO 2	CARTELLA	2.1	13	MTL1T3A2	E GEOENR003	CONCESSIONARIA <b>Il Responsabile del Procedimento</b> Gianni Cappellato 
LOTTO 2	CARTELLA	2.1	13	MTL1T3A2	E GEOENR003		

 <b>INFRA.TO</b> infrastrutture per la mobilità	Metropolitana Automatica di Torino – Linea 1- Tratta Collegno – Cascine Vica: 2° Lotto funzionale “Collegno Centro – Cascine Vica”	MTL1T3A2E GEOGENR003
		Revisione 0-1

**Metropolitana Automatica di Torino – Linea 1**  
**Tratta Collegno – Cascine Vica:**  
**2° Lotto funzionale “Collegno Centro – Cascine Vica”**

**RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA**

REV.	REDAZIONE		VERIFICA		APPROVAZIONE		DATA
	NOME	FIRMA	NOME	FIRMA	NOME	FIRMA	
1	Geol. Simone Asoni		Geol. Attilio Eusebio		Geol. Attilio Eusebio		12/02/2019
0	Geol. Simone Asoni		Geol. Attilio Eusebio		Geol. Attilio Eusebio		14/01/2019

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>PROGETTO LOTTO FUNZIONALE 2.....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL’ AREA.....</b>	<b>8</b>
7.1	Azioni sismiche .....	8
7.2	Accelerazione massima al suolo .....	8
7.3	Accelerazione massima al sito e coefficienti sismici .....	9
7.4	Categoria di sottosuolo .....	9
<b>8</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>10</b>
8.1	Indagini pregresse.....	10
8.2	Indagini progetto esecutivo.....	10
8.2.1	Sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo .....	12
8.2.2	Prove in situ .....	13
8.2.2.1	Prove geotecniche in foro – SPT.....	13
8.2.2.2	Diagrafie .....	15
8.2.3	Prove di permeabilità tipo Lefranc .....	19
8.2.4	Misura livelli piezometrici .....	19
8.2.5	Prove di laboratorio .....	20
8.2.5.1	Prove granulometriche.....	20
8.2.6	Indagini geofisiche .....	23
<b>9</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>25</b>
9.1	UG0: Terreni di riporto e terreni vegetali .....	25
9.2	UG1: Depositi fluvioglaciali .....	26
9.3	UG2: Depositi superficiali di loess .....	26
9.4	Parametri geotecnici .....	28
9.5	Classi di permeabilità.....	28
<b>10</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI AI FINI DELLA VALUTAZIONE DEL METODO DI SCAVO.....</b>	<b>29</b>

<b>11</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO.....</b>	<b>30</b>
<b>12</b>	<b>PROBLEMATICHE LEGATE ALLA NATURA DEL TERRENO.....</b>	<b>31</b>
12.1	Scavabilità .....	31
12.2	Ciottoli e trovanti .....	31
<b>13</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>34</b>

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione del piano degli studi e delle indagini geognostiche ed ambientali è parte integrante del Progetto Esecutivo relativo all’Appalto Infra.TO 1/2018, attinente alla progettazione della Metropolitana Automatica di Torino – Linea 1 – Tratta 3 - Prolungamento ovest – Cascine Vica – Lotto Funzionale 2 “Collegno Centro – Cascine Vica” redatto dal Raggruppamento Temporaneo di Imprese Aggiudicatario dell’Appalto costituito da: Geodata Engineering S.p.(Mandataria) – AI Studio, Neosia S.p.A., Studium S.a.S. (Mandanti).

All’interno del presente documento sono riassunte le indagini condotte tra Novembre e Dicembre 2017 a seguito del piano di indagine proposto in fase di Progetto Esecutivo (MTL1T3A2EGEOGENR001 rev.0.1). Sono altresì riportati i risultati delle informazioni ottenuti dai carotaggi, dalle prove geotecniche in situ e di laboratorio integrando questi dati con quelli elaborati da campagne pregresse avvenute in terreni limitrofi e litologicamente simili. I dati così raccolti, elaborati e integrati incrementano e completano il livello di conoscenza del contesto in cui si inserirà l’opera con specifico riferimento alla natura delle opere di sostegno, dei consolidamenti previsti e dello scavo delle gallerie e delle stazioni. Le indagini eseguite sono prevalentemente di tipo diretto, mediante l’esecuzione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo e a distruzione, geofisiche tipo MASW, per l’approfondimento del quadro conoscitivo del substrato in area di particolare interesse progettuale, quali le stazioni.

Nello specifico, i dati di bibliografia integranti alla caratterizzazione geotecnica e sismica si riferiscono ai documenti redatti in fase di Progetto Definitivo [1],[2],[3],[4] e [5] e ai lavori pregressi svolti da Geodata Engineering (Mandataria) all’interno dello sviluppo progettuale della Metropolitana Automatica di Torino Linea 1 [10] e [11].

## 2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Gli studi esposti nella seguente relazione sono stati effettuati nel rispetto delle seguenti normative:

- Decreto Ministero Infrastrutture 14 gennaio 2008. Nuove norme tecniche per le costruzioni.
- Circolare n.617 del 2 febbraio 2009 Ministero Infrastrutture e Trasporti. Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni”.

## 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### Documenti da Progetto Definitivo (PD)

- [1] MTL1T3A0DGEOGENR001, Relazione geologica e idrogeologica,
- [2] MTL1T3A0DGEOGENR002, Relazione geotecnica e sismica,
- [3] MTL1T3A0DGEOGENS003.2, Profilo geotecnico,
- [4] MTL1T3A0DGEOGENS002.2, Profilo geologico,
- [5] MTL1T3A0DGEOGENR004, Prove di laboratorio.

### Documenti da Progetto Esecutivo (PE)

- [6] MTL1T3A2EGEOGENR001 rev.0.2, Relazione del piano degli studi e delle indagini geognostiche ed ambientali.
- [7] MTL1T3A2EGEOGENS001 rev.0.2, Piano delle indagini geognostiche e ambientali.
- [8] MTL1T3A2EGEOGENR005 rev.0.0, Prove di laboratorio, prove in sito e monitoraggio della falda superficiale (certificati e schede).
- [9] MTL1T3A2EGEOGENR004 rev.0.0, Monografie, stratigrafie e documentazione fotografica sondaggi.

### **Bibliografia**

- [10] Metropolitana automatica di Torino Linea 1, Progetto Esecutivo; Galleria artificiale tratta Deposito-Fermi Relazione Geotecnica, MTL1T1A2EGE0GARR002; Systra S.A. – Geodata S.P.A.; 2000.
- [11] Metropolitana automatica di Torino Linea 1, Progetto Esecutivo; Galleria artificiale tratta Deposito-Fermi Relazione Geologica ed Idrogeologica, MTL1T1A2EGE0GARR001; Systra S.A. – Geodata S.P.A.; 2000.
- [12] Città di Collegno, Nuovo Piano Regolatore, Relazione Geologica Illustrativa; 2000.
- [13] Analisi e Verifica delle Condizioni di Esercizio in Sicurezza del Palazzo Uffici Provinciali di Corso Inghilterra 7 tenuto conto del Centro Direzionale di Intesa Sanpaolo, Relazione di Sintesi; Politecnico di Torino; 2012.
- [14] Barla G. & Vai L. - Indagini geotecniche per la caratterizzazione del sottosuolo di Torino lungo il tracciato del Passante Ferroviario. XX Convegno Nazionale di Geotecnica, Parma, 22-25 Settembre 1999, pp. 335-342.
- [15] Carta Geologica d'Italia, Foglio 155, Torino Ovest, scala 1:50.000.
- [16] Nuove Norme Tecniche per la Costruzione; DM 14 gennaio 2008.
- [17] BS EN 1997-1:2004, EUROCODE 7: Geotechnical Design – Part 1 General Rules.
- [18] Terzaghi, Peck e Mesri - Soil mechanics in engineering practice, Wiley, Third Edition, 1996.
- [19] Wrana B. - Pile load Capacity - Calculation method; Studia Geotecnica et Mechanica, Vol. 37, No 4, 2015.
- [20] Ruwan Rajapakse, Geotechnical Engineering Calculations and Rules of Thumb, 1st Edition, Butterworth-Heinemann, 2008.
- [21] Foundations and earth structures, Design manual 7.02, US Naval Department, 1984.
- [22] R.F. Craig, Craig's soil mechanics, Seventh Edition, FN Spon, 2004.

## 4 PROGETTO LOTTO FUNZIONALE 2

Il 2° Lotto Funzionale Collegno Centro – Cascine Vica, che costituisce l’oggetto della presente relazione, si estende per circa 2 km in continuità al 1° lotto funzionale. La linea percorre l’asse di Corso Francia fino all’altezza di via Stura a Rivoli in prossimità della tangenziale. Il 2° Lotto funzionale risulta pertanto costituito dalle seguenti opere:

- due stazioni (Leumann e Cascine Vica);
- due pozzi di intertratta (PC3, PC4);
- il pozzo terminale (PCT);
- un tratto di galleria naturale a foro cieco;
- il parcheggio dell’interscambio a Cascine Vica.

## 5 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L’area di scavo del Lotto 2 si sviluppa nel territorio comunale di Collegno e Rivoli, che costituisce parte dell’hinterland occidentale di Torino (vedere Figura 1).

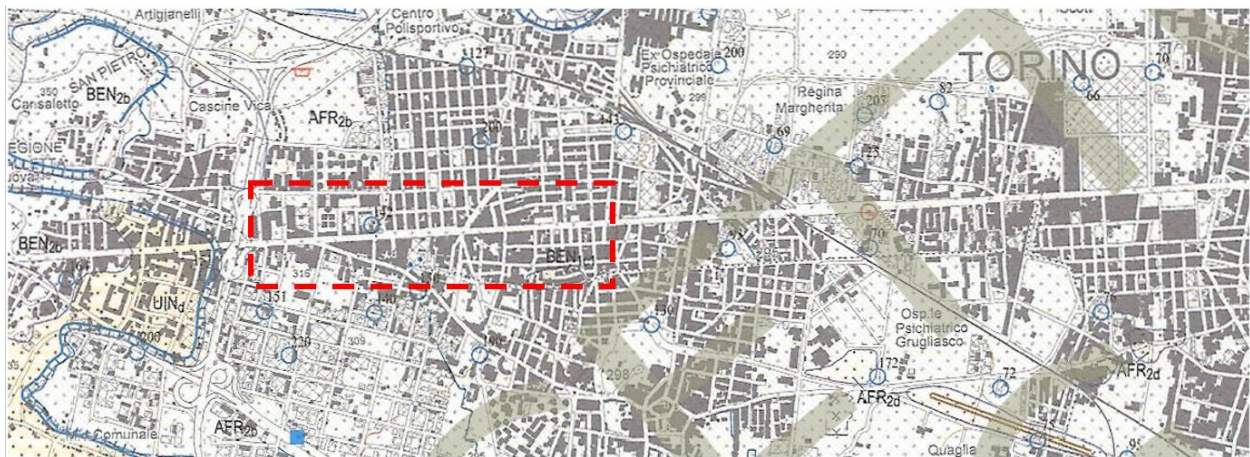
L’area oggetto di studio s’inserisce in un contesto urbano di pianura fortemente antropizzato e con ridotte possibilità di osservare la originaria superficie topografica naturale; il tessuto urbano locale è costituito prevalentemente da edifici a utilizzo residenziale/commerciale.



**Figura 1:** Inquadramento geografico e definizione dei principali elementi del progetto; a) in verde si indica il Lotto funzionale 2; b) in blu il tratto del Lotto funzionale 1.

## 6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista geologico l'area in esame è caratterizzata da depositi fluvio-glaciali Plio-Pleistocenici che definiscono la conoide alluvionale della Dora Riparia che risultano profondamente incisi dalla attività erosionale del corso d'acqua.



**Figura 2:** Inquadramento geologico del Lotto 2 (riquadro in rosso). Immagine estratta dalla Carta Geologica d'Italia foglio 155 Torino Ovest.

Come indicato in [15], la successione fluvio glaciale della Dora Riparia dell'area di interesse è caratterizzata superficialmente da depositi loessici (**UIN<sub>d</sub>**) depositati sopra i depositi eterometrici del **Sistema di Frassinere, sottosistema di Col Giansesco (AFR<sub>2b</sub>)** e del **Sistema di Bennale, sottosistema di Truc Monsagnasco (BEN<sub>1c1</sub>)**.

Questi depositi fluvio glaciale e glaciali (Pleistocene Superiore – Pleistocene Medio), sono costituiti da ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose con clasti eterometrici che localmente si presentano in livelli cementati; considerando la simile natura litologica e deposizionale di queste due unità, è estremamente difficile distinguerle nei sondaggi, non presentando visibili caratteri distintivi. Considerando questa similarità, da un punto di vista geotecnico si può fare riferimento ad un'unica unità geotecnica (UG1) di depositi fluvio glaciali.

Questo deposito mostra nella zona di Torino uno spessore variabile tra 25 i 55m. Nell'area di interesse (sia del Lotto 1 che del Lotto 2), questo deposito mostra una profondità investigata che si colloca tra i 50 e 55m sotto il piano di campagna. In fase di investigazione nessun sondaggio ha individuato con precisione il limite inferiore di questo deposito.

I depositi di loess ricoprono in maniera discontinua i depositi sopra descritti e sono costituiti da limi o sabbie fini e vengono descritti con spessori regolari di qualche metro (2-3m). Le informazioni raccolte durante il PD [2][3] e [4], e successivamente verificate dalla campagna geognostica di PE (vedere sezione 9) individuano lungo l'area di scavo tale unità a partire da pk 3+000 (intercettando il Pozzo di Ventilazione 4 e la st. Cascina Vica) fino al termine del Lotto 2, il materiale loessico qui intercettato presenta spessori variabili tra i 2 ai 7m definendo un irregolare contatto con il fluvio-glaciale. Come indicato nelle successive sezioni del report, questi depositi di origini eolica sono descritti come unità geotecnica (UG2).

Data la natura fortemente antropizzata dell'area i depositi superficiali di origine antropica presentano spessori variabili e localmente anche di notevole importanza.



Geomorfologicamente l'area risente delle deboli pendenze imputabili alle conoidi alluvionali e ai successivi apporti, e il territorio si presenta semi pianeggiante. L'area urbana presenta una debole pendenza procedendo da ovest verso est.

Livelli addensati e cementati caratterizzano l'unità geotecnica UG1, e come verificato durante i cantieri geognostici, presentano una estrema variabilità orizzontale e verticale, anche se, sono più frequenti nei livelli più profondi rispetto a quelli superficiali.

Quest'unità ospita una falda superficiale libera caratterizzata da una soggiacenza in diminuzione da ovest ad est. Nel settore di interessa la falda si colloca a una profondità di circa 50m, tale profondità si allinea con le indicazioni fornite in [12] e con gli studi riassunti in [11].

L'acquifero superficiale presente nell'area in esame, oltre che dagli apporti meteorici, è alimentato principalmente dal Fiume Dora Riparia; a più grande scala il fiume Po rappresenta il livello di base locale dell'acquifero e il recettore delle acque della falda superficiale.

## 7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL' AREA

La caratterizzazione sismica dell'area si è basata sulle linee guida indicate in [16]. Di seguito si presenta l'analisi e il ragionamento che hanno portato alla definizione dell'azione sismica e dell'accelerazione massima al suolo con i caratteristici valori spettrali. I data input così presentati definiscono i parametri per le verifiche in condizioni sismiche delle strutture in progetto (stato limite di salvaguardia della vita SLV).

### 7.1 Azioni sismiche

Per vita nominale dell'opera s'intende il numero di anni nei quali la struttura deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Il tipo di strutture interessate ricadono nella categoria “Grandi Opere” a cui corrisponde una vita nominale ( $V_n \geq 100$  anni).

In presenza di azioni sismiche le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. L'opera in esame ricade sotto la classe III a cui corrisponde un coefficiente d'uso ( $C_u$ ) pari a 1.5.

L'azione sismica esercitata sull'opera dev'essere riferite ad un periodo di riferimento ( $V_r$ ) definito come:

$$V_r = V_n \times C_u$$

Nel caso in esame  $V_r$  è pari a 150 anni.

### 7.2 Accelerazione massima al suolo

I valori di accelerazione massima su suolo roccioso ( $a_g$ ) e dei valori spettrali ( $F_0$ ) e ( $T^*c$ ) dell'area in esame sono stati definiti come indicato in [16] e sono stati validati mediante Tabella 1. I valori così ottenuti sono riassunti nella sottostante Tabella 1.

**Tabella 1:** Parametri caratteristici del sito

Tratta	Comune	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T^*c$ [sec]
Pozzo di Ventilazione P3 Stazione Leumann	Collegno	0.089	2,748	0,287
Pozzo di Ventilazione P4 Pozzo Terminale	Rivoli	0.089	2,748	0,287

I coefficienti di amplificazione dovuti alla stratigrafia ( $S_S$ ) e alla topografia ( $S_T$ ) sono stati quantificati pari a:

- $S_S = 1.5$
- $S_T = 1.0$

Tali valori sono stati scelti tenendo conto della categoria di suolo assegnato (vedi sezione 7.4) e seguendo le indicazioni fornite in [16].

### 7.3 Accelerazione massima al sito e coefficienti sismici

L'accelerazione massima orizzontale al sito ( $a_{max}$ ) ed i coefficienti sismici sono stati calcolati considerando il valore più elevato dell'accelerazione al suolo ( $a_g$ ), che in via cautelativa è stato approssimato per eccesso ed è assunto  $a_g = 0.09$ .

L'accelerazione massima orizzontale è calcolata come prodotto dell'accelerazione su suolo roccioso e dei fattori di amplificazione:

$$a_{max} = a_g \cdot S_S \cdot S_T$$

Per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV)  $a_{max}$  risulta pari a 0.135g.

I coefficienti pseudo statici calcolati per la progettazione di un'opera rigida ( $\beta = 1$ ) sono:


- $k_h = 0.135g$
- $k_v = 0.07g$

### 7.4 Categoria di sottosuolo

Per quanto riguarda la categoria del sottosuolo sono utilizzati come dati rappresentativi i risultati delle prove geofisiche operate in fase di PD mediante tecnica MASW descritti in [2]. In base alle misurazioni così eseguite si è deciso di attribuire, in via cautelativa, al suolo la *categoria C*, come da categoria presentate in [16] e riassunte nella sottostante Tabella 2.

**Tabella 2:** Categorie di riferimento del suolo [16].

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3m.
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o teneri a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$

 <b>INFRA.TO</b> infrastrutture per la mobilità	Metropolitana Automatica di Torino – Linea 1- Tratta Collegno – Cascine Vica: 2° Lotto funzionale “Collegno Centro – Cascine Vica”	MTL1T3A2E GEOGENR003
		Revisione 0-1

Categoria	Descrizione
	inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20m, posti su substrato di riferimento con $V_s > 800$ m/s

## 8 INDAGINI GEOGNOSTICHE

In fase di PE un totale di 24 sondaggi sono stati programmati e eseguiti al fine di caratterizzare il terreno dal punto di vista geotecnico e ambientale.

La caratterizzazione geotecnica è avvenuta principalmente mediante la perforazione di 8 sondaggi a carotaggio continuo (serie BH) e 4 carotaggi a distruzione di nucleo (serie S). Per la ricostruzione del profilo geologico sono stati utilizzati anche le informazioni ottenuti mediante i 12 sondaggi ambientali (serie SA) realizzati.

I dettagli del piano di investigazione eseguito sono presentati in [6], di seguito si presentano solo i risultati della campagna investigativa.

### 8.1 Indagini pregresse

La campagna geognostica effettuata durante la progettazione definitiva (2014-2015) ha compreso numerose verticali: n. 11 sondaggi geologico-geotecnici (250 m) a carotaggio continuo, n. 2 sondaggi geologico-geotecnici (110 m), attrezzati con piezometro, di cui i primi 25 m a carotaggio continuo ed i restanti 30 m a distruzione di nucleo; n. 12 sondaggi ambientali (208 m). Inoltre, sono stati stesi circa 800m di geofisica MASW2D.

Le indagini svolte hanno permesso di rilevare, lungo l'intero tracciato, la presenza di ghiaie eterometriche con matrice sabbiosa debolmente limosa, sabbie limose con ghiaia, talora con livelli limosi attribuibili ai depositi fluvioglaciali.

I dati esistenti, a seguito di una loro ulteriore revisione critica, stabiliscono con precisione lo spessore generalmente regolare del materiale da riporto, la presenza a fine tratta di uno spessore regolare (max 4-5m) di depositi di materiale fine di origine eolica e la presenza dei depositi fluvioglaciali (sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose con clasti eterometrici) dell'unità **AFR<sub>2b</sub>** e colloca la falda ben al di sotto delle profondità di progetto, definendo in maniera esaustiva la natura geotecnica dell'unità geotecnica investigata.

L'insieme dei dati pregressi sopra citati mette fin d'ora a disposizione del proponente, un Modello Geologico e Geotecnico di Riferimento progettuale (MGGR), lungo la linea per gran parte caratterizzato da un alto grado di affidabilità, e in diversi settori anche molto elevato.

### 8.2 Indagini progetto esecutivo

La campagna di sondaggi integra i dati esistenti mediante:

- n° 8 sondaggi a carotaggio continuo per un totale di 200m, e con un numero complessivo di 90 SPT previsto. Il ricorso ad un programma fitto di prove penetrometriche permetterà di minimizzare la perdita dei dati in caso di rifiuto e di ottenere comunque una migliore rappresentatività statistica.
- n° 4 sondaggi a distruzione per un totale di 130m a cui si affiancano 4 diagrafie (lettura parametri di perforazione). Al fine di stabilire l'altezza di falda, un carotaggio ha

raggiunto i 55m sotto piano di campagna. Questo pozzo è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto.

- n° 12 sondaggi ambientali per un totale di 216m.

La tecnica del prescavo a risucchio è stata utilizzata in fase di preparazione alle attività di investigazione. Il prescavo raggiunge una profondità di circa 3m.

In Tabella 3 si riassumono tutti sondaggi realizzati in fase di PE con indicazioni dei campioni prelevati ai fini della caratterizzazione geotecnica.

**Tabella 3:** Quadro riassuntivo sondaggi eseguiti.

Sondaggio ID	Lunghezza (m)	SPT	Raccolta campioni rimaneggiati	Attrezzato a piezometro
BH1	25	11	8	NO
BH2	25	11	8	NO
BH3	25	11	7	NO
BH4	25	11	7	NO
BH5	25	11	8	NO
BH6	25	11	7	NO
BH7	25	12	7	NO
BH8	25	12	8	NO
S1	25	–	–	NO
S2	25	–	–	NO
S3	55	–	–	SI
S4	25	–	–	NO
SA1	13	–	–	–
SA2	18	–	–	–
SA3	19	–	–	–
SA4	16	–	–	–
SA5	18	–	–	–
SA6	18	–	–	–
SA7	18	–	–	–
SA8	20	–	–	–
SA9	20	–	–	–
SA10	18	–	–	–
SA11	20	–	–	–
SA12	18	–	–	–

Al fine di affinare il quadro conoscitivo del sottosuolo in esame un'estesa campagna investigativa geofisica tipo MASW è stata realizzata in corrispondenza delle Stazioni e del

Parcheeggio (attuale Piazza Palmiro Togliatti in Rivoli) al fine di definire l’andamento del contatto UG0-UG1/2 anche trasversalmente all’asse di galleria implementando l’accuratezza del MGGR qui definito.

Gli stendimenti così realizzati vengono riassunti in Tabella 4 sotto.

**Tabella 4:** Quadro riassuntivo campagna MASW.

Stendimento ID	Lunghezza (m)	Target Investigazione
MASW2D_1 (M1)	90	Stazione Cascina Vica
MASW2D_2 (M2)	85	Stazione Cascina Vica
MASW2D_3 (M3)	85	Stazione Leumann
MASW2D_4 (M4)	85	Stazione Leumann
MASW2D_5 (M5)	85	Parcheeggi Piazza P. Togliatti
MASW2D_6 (M6)	95	Parcheeggi Piazza P. Togliatti
MASW2D_7 (M7)	80	Parcheeggi Piazza P. Togliatti
MASW2D_8 (M8)	85	Parcheeggi Piazza P. Togliatti
MASW2D_9 (M9)	80	Parcheeggi Piazza P. Togliatti
MASW2D_10 (M10)	75	Parcheeggi Piazza P. Togliatti

### 8.2.1 Sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo

I sondaggi eseguiti hanno messo in evidenza che il terreno investigato presenta:

- Un livello orizzontale con potenza variabile (generalmente tra i 1.5-2.5m di profondità) di materiale di origine antropica, rimaneggiato ed eterometrico.
- Un livello di materiale naturale: ghiaie con sabbie e fini, a differente grado di cementazione e addensamento. Il grado di cementazione e/o addensamento presenta una distribuzione spaziale discontinua sia in senso orizzontale che verticale.
- Un livello di materiale siltoso sabbioso, mediamente addensato, di probabile origine eolica (loess) che sovrasta il fluvio-glaciale con spessore variabile (2-7m) e che caratterizza il settore compreso tra pk 3+000 e fine tratta.
- Livello di falda al disotto del piano lavori (circa 51m sotto il piano di campagna).

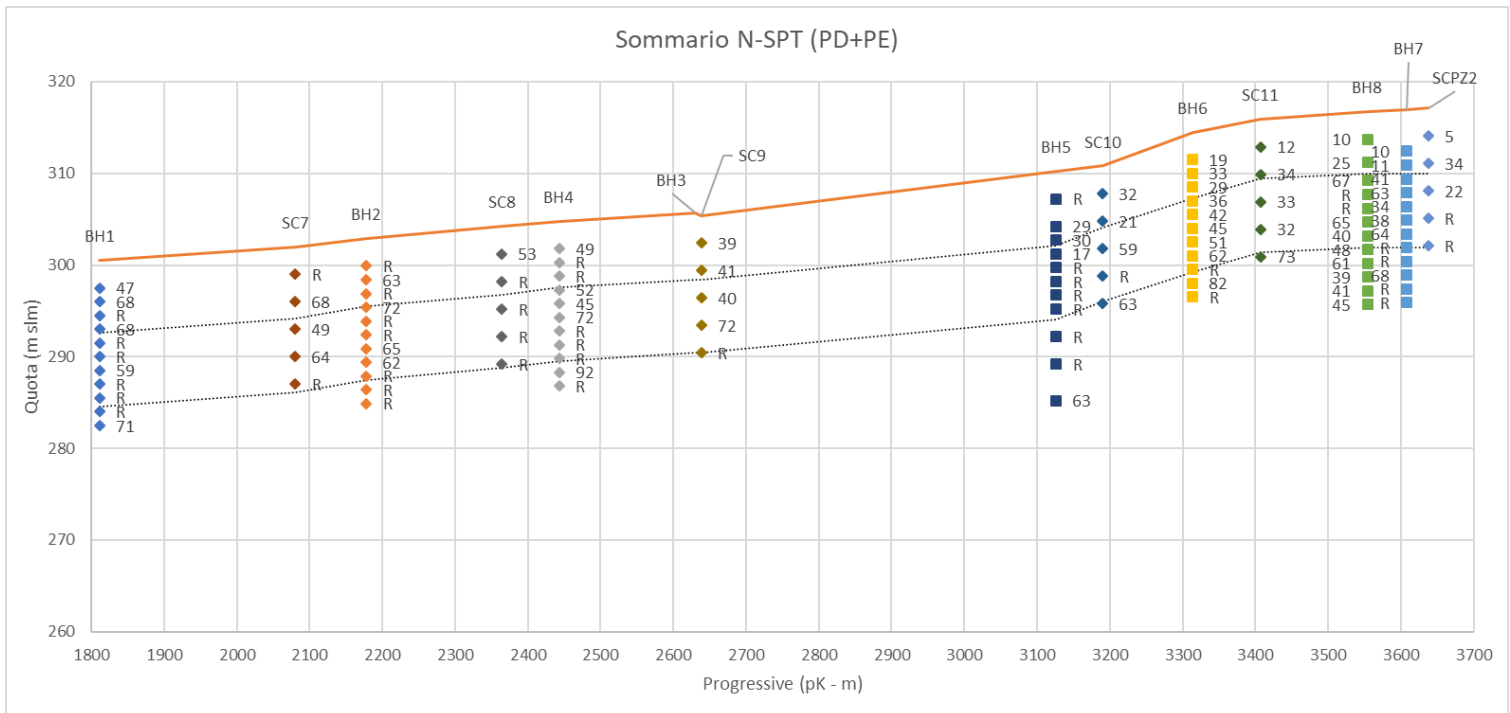
Nei terreni naturali i livelli addensati e cementati si presentano in orizzonti di spessore da centimetrico a decimetrico a cui sono intercalati livelli poco addensati e sciolti di varia potenza. Questi terreni sono generalmente costituiti da ghiaie eterometriche con una percentuale più o meno variabile di sabbie e un importante componente di materiale fine (matrice siltosa talora argillosa).

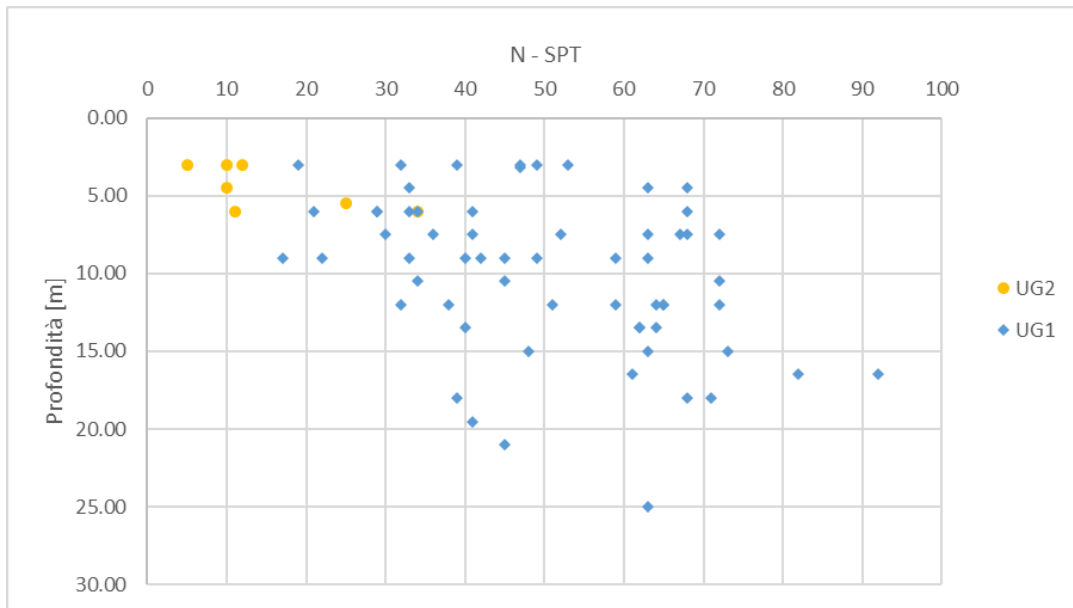
## 8.2.2 Prove in situ

### 8.2.2.1 Prove geotecniche in foro – SPT

Come indicato in Tabella 3, una fitta campagna di prove SPT è stata realizzata al fine di caratterizzare i terreni dal punto di vista geotecnico, l’elevato numero di prove si è reso necessario al fine di minimizzare la perdita di dati in caso di rifiuto e di ottenere comunque una migliore rappresentatività statistica.

In fase esecutiva si sono eseguite un totale di 90 SPT, in Figura 3 si riassumono i risultati delle prove effettuate in fase di PE (sondaggi serie BH) e si indicano anche quelli eseguiti in fase di PD (serie SC). In generale i risultati della campagna di PE indicano valori  $N_{SPT}$  elevati per i terreni di origine fluvio-glaciale con valore medio pari a 48, a cui fa seguito anche un elevato numero di rifiuti. Nello specifico si è riscontrato che per il totale di prove effettuate il 46% è andato a rifiuto.

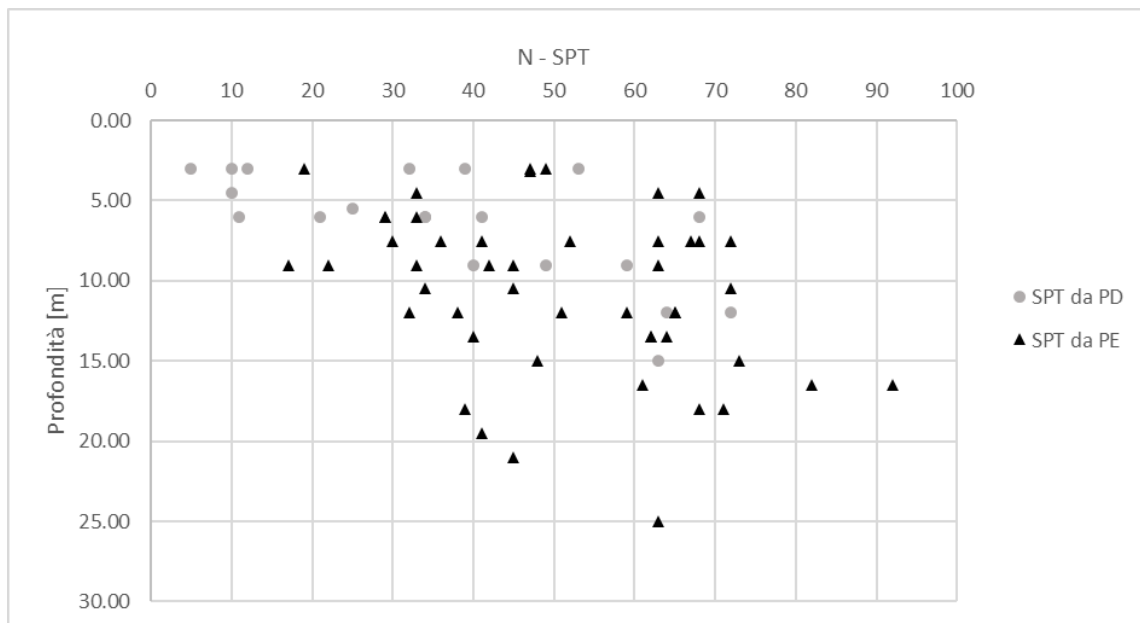




**Figura 4:** N<sub>SPT</sub> al variare della profondità.

Questi risultati si allineano alle analisi pregresse eseguite su terreni simili, vedere [2][11] e [14], e indicano che i terreni eterometrici presentano un elevato grado di addensamento e/o livelli cementati centimetrici diffusi.

Di seguito (Figura 5) si riporta il confronto tra le i risultati delle prove in foro eseguiti durante PD e quelle da PE. Il confronto permette di evidenziare come i risultati delle due campagne siano in linea tra loro.



**Figura 5:** Confronto tra N<sub>SPT</sub> da Progetto Definitivo (PD) e da Progetto Esecutivo (PE).

### 8.2.2.2 Diagrafie

Per i sondaggi a distruzione la registrazione dei parametri di perforazione permette di ricostruire l'andamento dell'energia specifica ( $E_s$ ) in funzione della profondità di perforazione. Come indicato in [14], per il sottosuolo torinese è possibile stabilire una correlazione tra energia specifica e presenza di livelli cementati, secondo la disequaglianza sotto riportata:

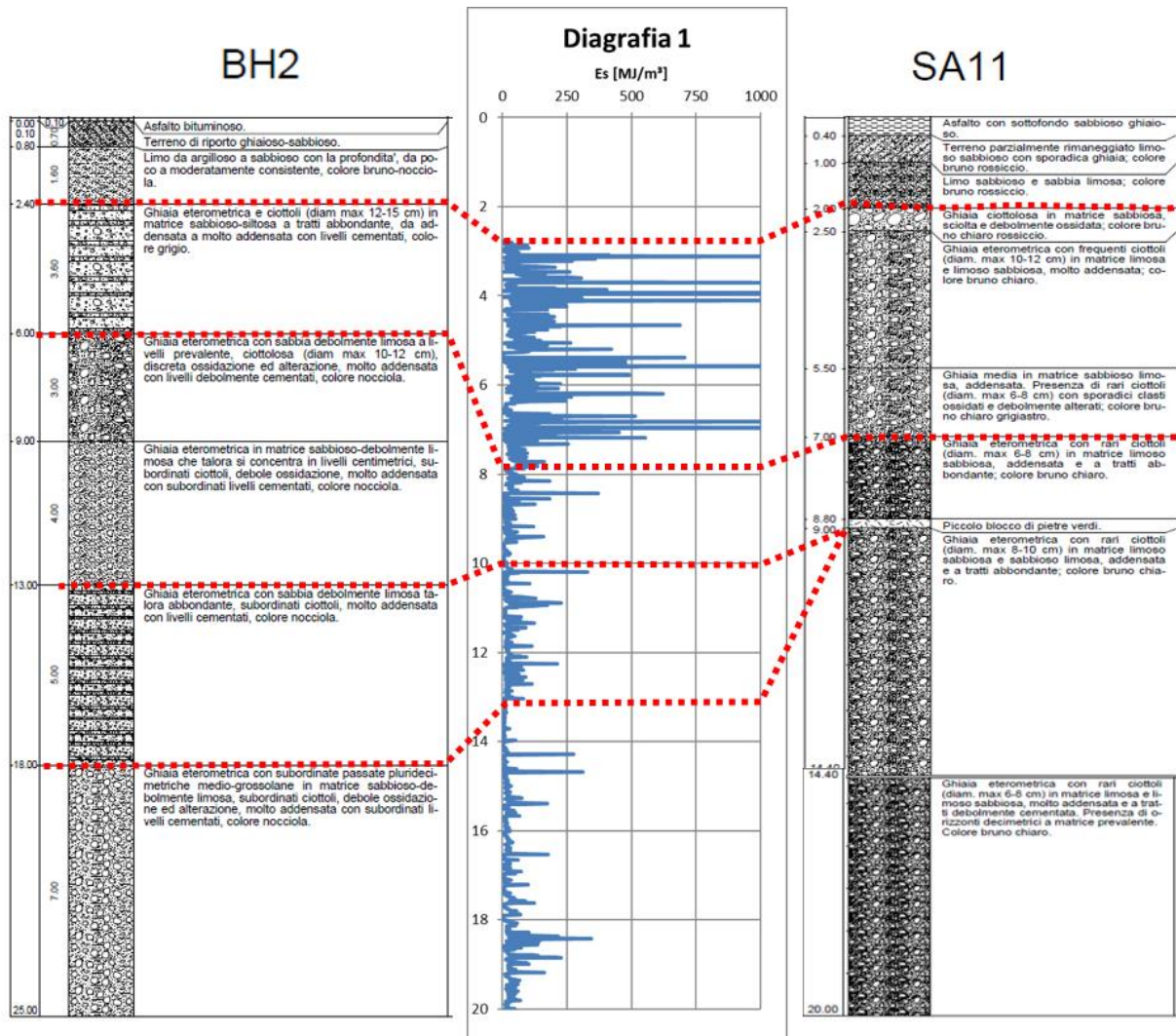
$$E_s [\text{MJ/m}^3] \geq 125+4*z$$
$$s \geq 40\text{cm};$$

dove  $z$  (m) è l'approfondimento rispetto al piano campagna e  $s$  (cm) è lo spessore elementare dello strato di terreno.

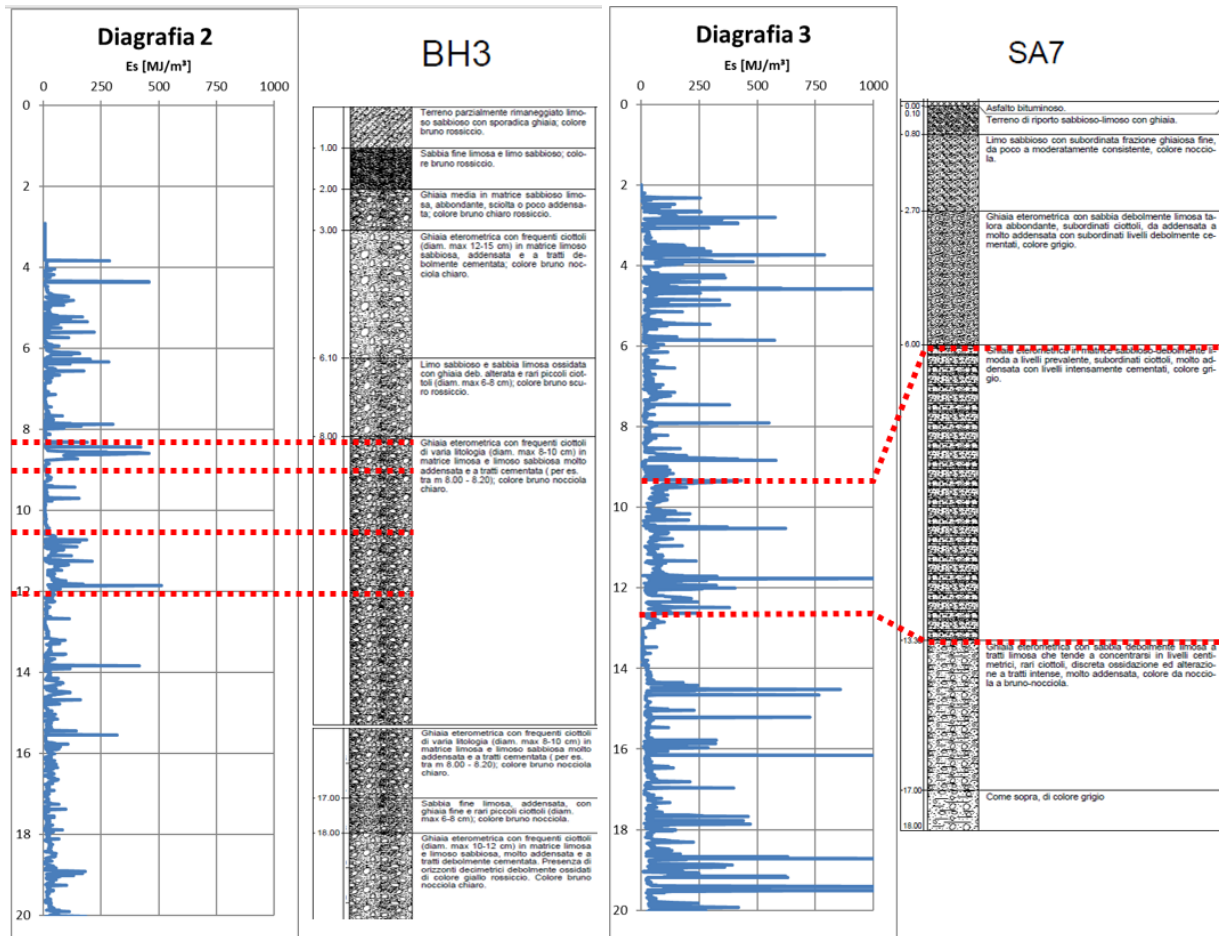
I valori di energia specifica ottenuti dalle diagrafie si sono confrontati con i dati ed informazioni raccolte nei log stratigrafici dei sondaggi a carotaggio continui più vicini. Questo approccio ha lo scopo di verificare la presenza di corrispondenza tra le due analisi condotte sugli stessi terreni (si sono utilizzati i dati relativi alla sola campagna da PE).

Come mostrano le Figura 6, Figura 7 e Figura 8 sotto, solamente in parte i risultati della diagrafie vengono validate dalle descrizioni fornite dei log stratigrafici, definendo, per questi sondaggi, terreni caratterizzati da livelli cementati di spessore ridotto (massimo qualche cm). Dall'analisi delle diagrafie non si sono individuati livelli cementati di importante spessore e sembrerebbe che la presenza di più evidenti livelli cementati si colloca a una profondità non inferiore ai 12m (vedere risultati per S2, S3 e S4). Da sottolineare come comunque, da dati presentati nei log e confermati dall'andamento dell'energia specifica, si presenta un generale incremento del grado di addensamento al crescere della profondità.





**Figura 6:** Correlazione tra diagraphia D1 eseguite nel sondaggio a distruzione S1 e dati presentati nei log stratigrafici dei sondaggi BH2 (70m ovest) e SA11 (50m ovest).



**Figura 7:** A sinistra: correlazione tra diagrafia D2 eseguita nel sondaggio a distruzione S2 e dati presentati nel log stratigrafico di del sondaggi BH3 posizionato 28m est rispetto ad S2; a destra: correlazione tra diagrafia in S3 e SA7 distante 67m direzione est.

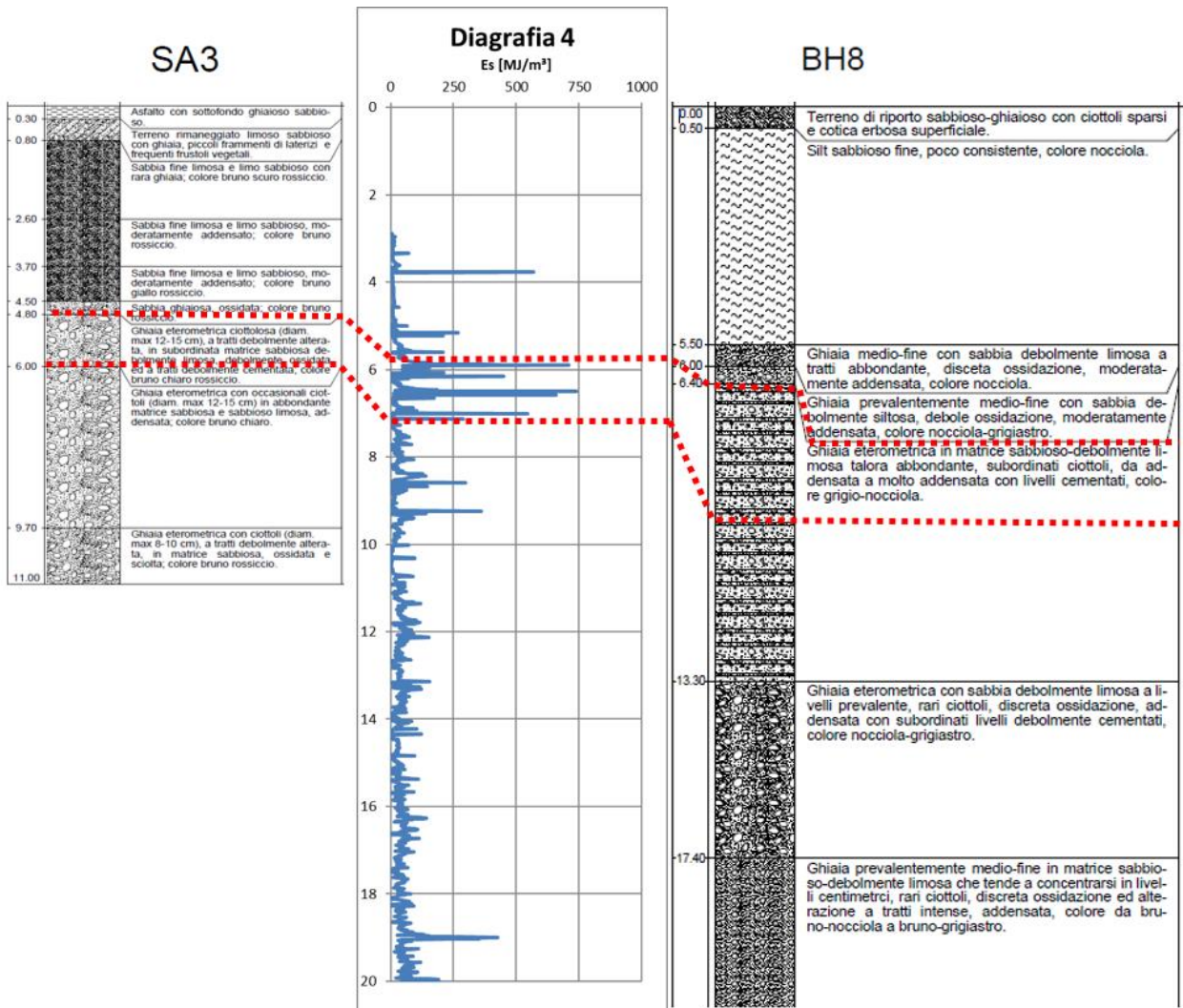


Figura 8 : Correlazione tra diagraphia D4 eseguita in S4 e sondaggi BH8 (55m ovest) e SA3 (63m ovest).

### 8.2.3 Prove di permeabilità tipo Lefranc

Al fine di definire con maggiore accuratezza le proprietà idrogeologiche dei terreni interessati dagli scavi e dalle operazioni di consolidamento, si sono effettuate varie prove di permeabilità (tipo Lefranc a carico variabile e costante in base alla granulometria prevalente) per un totale di 6 prove eseguite. I test così programmati sono stati eseguiti sia all'interno del fluvio-glaciali che dei depositi superficiali di loess (silt sabbiosi), ad una profondità compresa tra calotta di scavo e contatto con i terreni superficiali e all'interno degli orizzonti limosi superficiali di origine eolica.

La Tabella 5 sotto riassume i risultati delle prove di permeabilità eseguite.

**Tabella 5:** Risultati prove Lefranc

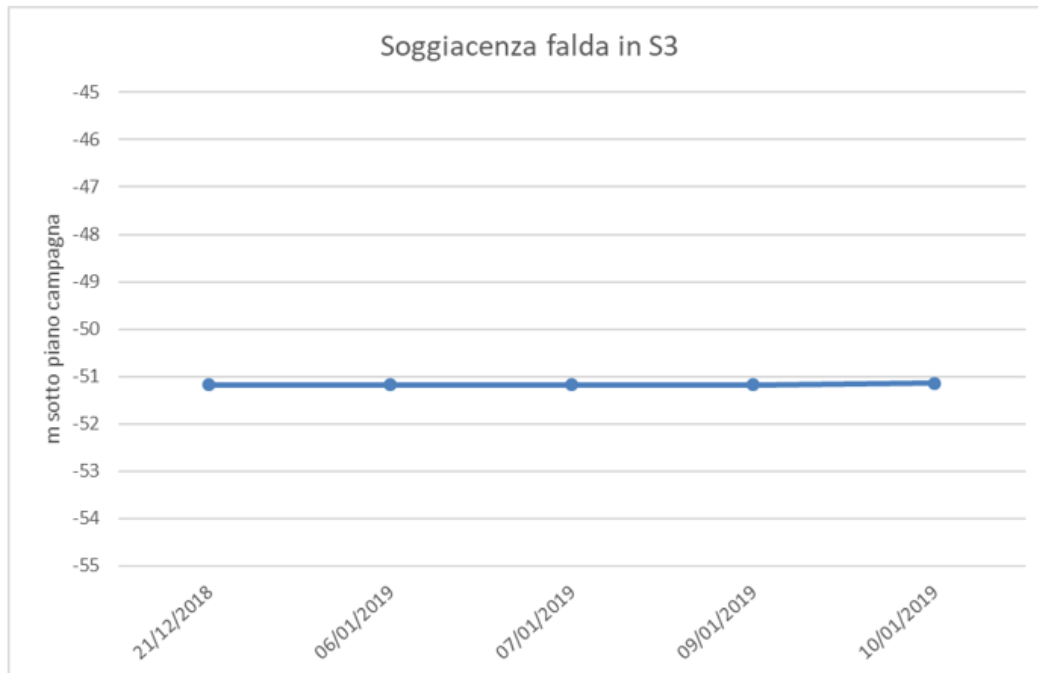
Sondaggio	Litologia	Profondità Esecuzione [m]	Tipo Lefranc eseguita	Permeabilità k [m/s]
SA5	Silt sabbiosi	3-4.5	CV	5.82E-07
BH6	Ghiaie sabbiose	4.5-5.5	CC	3.15E-05
BH8	Silt sabbiosi	3-4.5	CV	4.97E-07
BH8	Ghiaie sabbiose	5.5-7	CC	9.32E-06
BH5	Ghiaie eterometriche sabbiose	4.5-4.8	CV	1.78E-06
BH5	Ghiaie eterometriche sabbiose	9.0-9.4	CV	3.52E-07

### 8.2.4 Misura livelli piezometrici

Nell'ambito della campagna geognostica da PE, il sondaggio a distruzione di nucleo S3 è attrezzato con piezometro a tubo aperto. Il piezometro è ubicato in prossimità del tratto iniziale del settore di scavo in Cut&Cover. Lo scopo di aver ubicato il piezometro in questo punto permette di integrare i dati forniti dai piezometri montati in fase di PD e di monitorare la falda lungo tutto il settore di scavo.

La lettura del livello di falda effettuata durante la perforazione del sondaggio (Novembre 2018) indicava la falda a 51.6m sotto il piano di campagna. Tale valore conferma i livelli misurati di soggiacenza da indagini pregresse collocando la falda leggermente al di sotto rispetto il piano teorico di falda presentato in fase di PD.

A seguito dell'installazione del piezometro una serie di misure sono state raccolte per definire eventuali oscillazioni del piano di falda, la Figura 9 riassume le letture ad oggi effettuate. Si nota come la falda presenta ad oggi un livello di soggiacenza praticamente invariato a -51.2m sotto il piano di campagna.



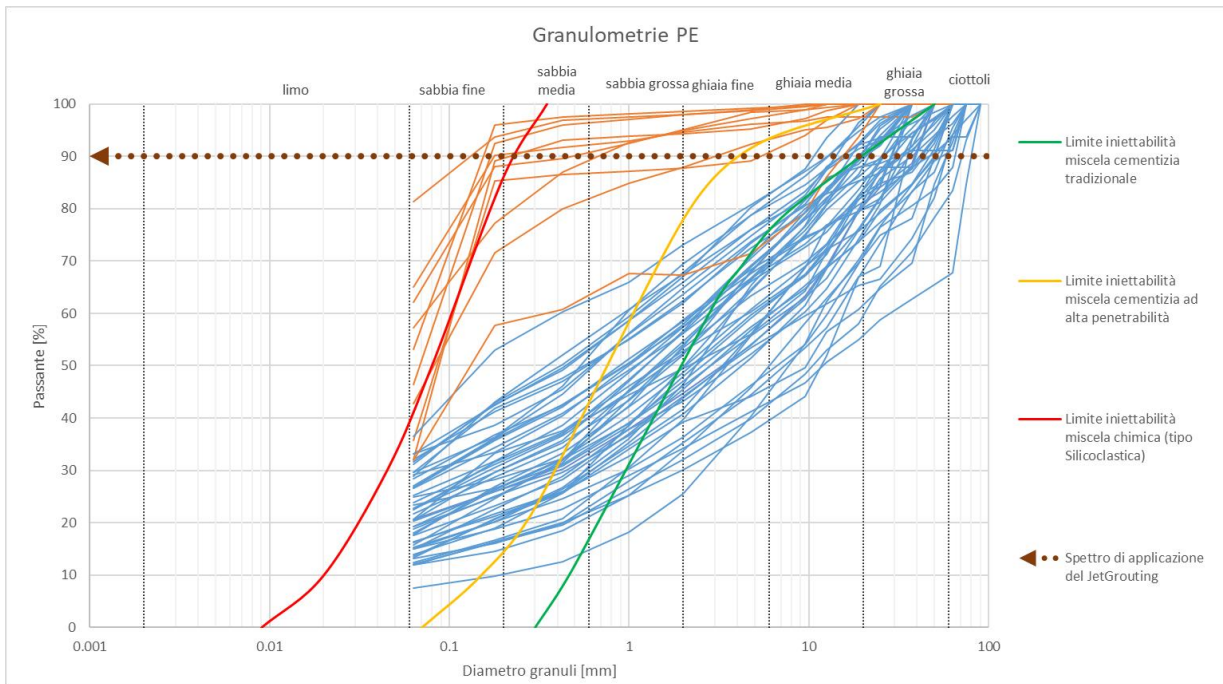
**Figura 9:** Misura dei livelli di falda rilevati in piezometro montato su S3.

## 8.2.5 Prove di laboratorio

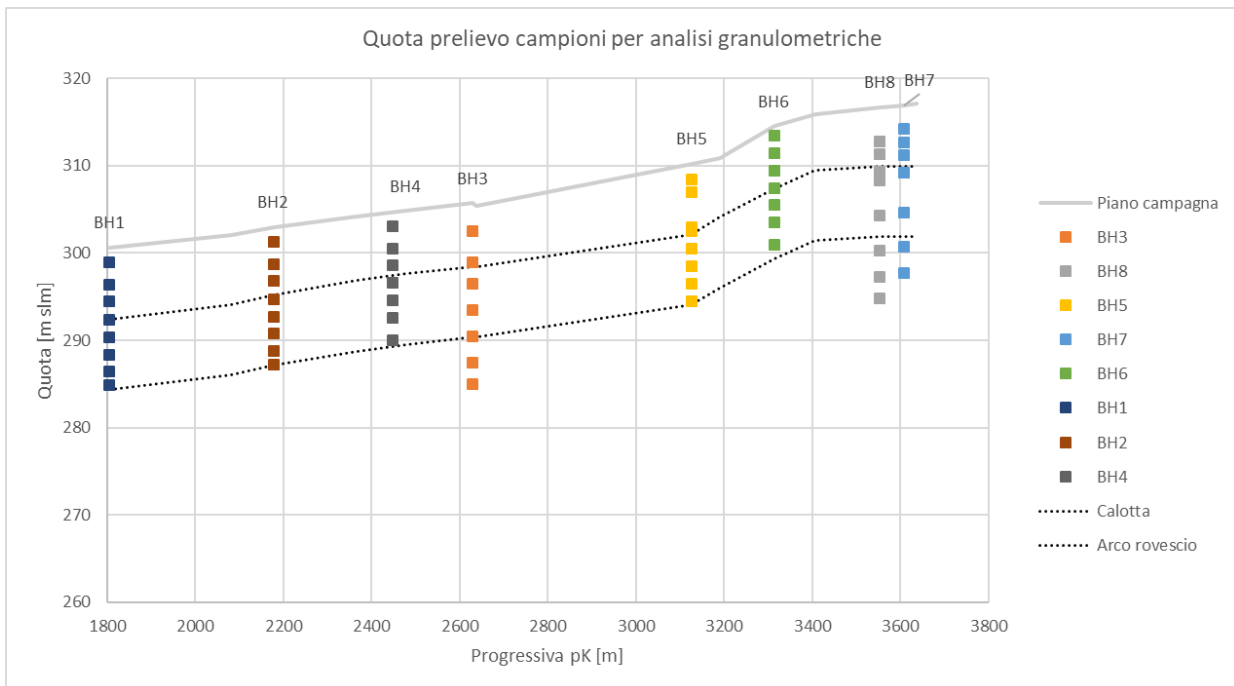
Alla fine di caratterizzare i terreni per una corretta individuazione delle tecnologie di scavo e di supporto alle attività di scavo una fitta campagna di prove granulometriche è stata portata a termine con lo scopo di definire le principali classi granulometriche che costituiscono i terreni interessati dalle opere di scavo.

### 8.2.5.1 Prove granulometriche

Un totale di 60 campioni sono stati prelevati e testati mediante tecnica di setacciatura per definire le curve granulometriche più rappresentative del terreno di scavo. Di seguito si presentano i risultati per i campioni prelevati nei sondaggi BH3, BH5, BH6, BH7, BH8, BH1, BH2 e BH4.



**Figura 10:** Risultati dei test granulometrici in funzione della litologia. Per comodità si sono anche indicati i limiti di iniettabilità per i diversi trattamenti. Per le classi granulometriche si sono seguiti le linee guida dell’AGI (Associazione Geotecnica Italiana).



**Figura 11:** Quota prelievo dei campioni per analisi granulometriche qui analizzate.

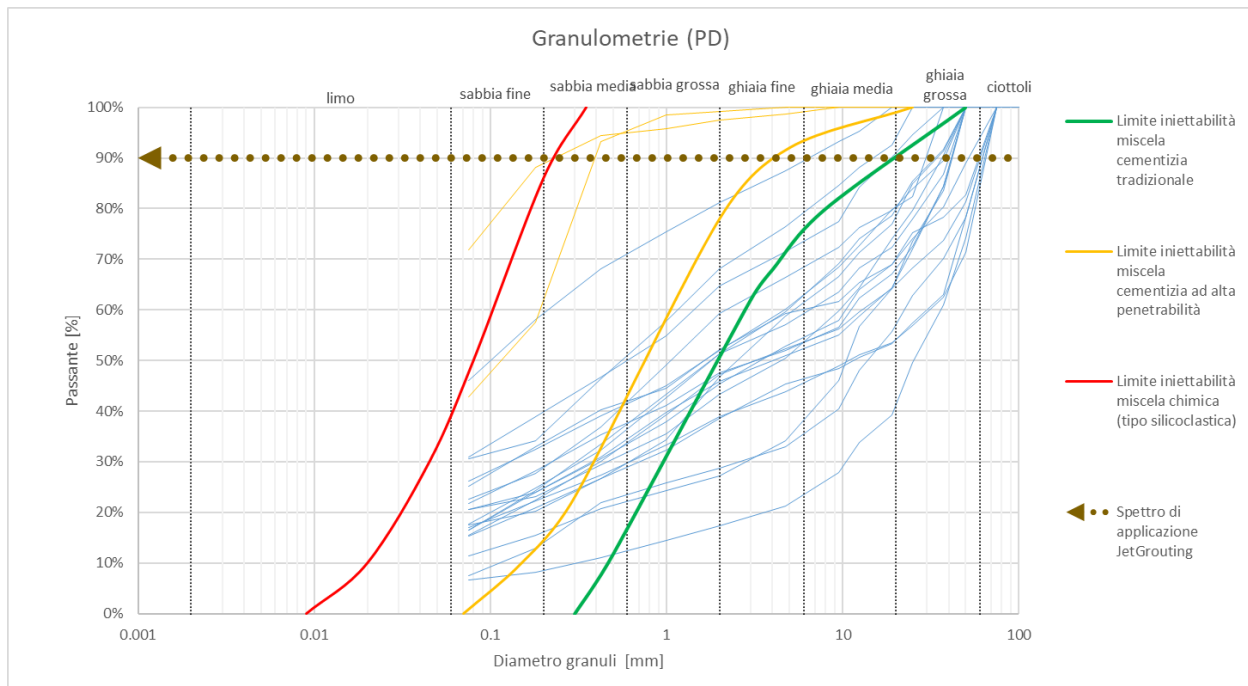
Di seguito si riassumono i risultati delle prove granulometriche riportando le percentuali delle principali classi granulometriche.

**Tabella 6:** Analisi per setacciatura, distribuzione percentuale delle principali classi granulometriche per l'unità geotecnica UG2.

Distribuzione Classi Granulometriche	Media (%)	Max (%)	Min (%)	Standard Deviation (%)
Ciottoli	9.5	32.2	2.3	8.1
Ghiaie	46.8	74.4	26.9	10.2
Sabbie	29.5	39.8	18.1	5.4
Limo/Argille	21.4	36.5	7.5	7.0

I risultati confermano che l'opera di galleria verrà scavata interamente all'interno del materiale fluvio-glaciale (unità UG2) che è descritta prevalentemente da ghiaie sabbiose limose, con ciottoli sparsi, in cui il contenuto di materiale fino (limi e argille) varia lungo il profilo di scavo, senza seguire però un preciso andamento geometrico. Si indica anche come in diversi campioni (BH3 G4, BH3 G2, BH3 G5, BH3 G7, BH5 G2, BH5 G8, BH8 CR4, BH8 CR8, BH7 CR5, BH7 CR6, BH6 CR1, BH6 CR2, BH1 CR2, BH1 CR3 e BH1 CR5) la matrice di fini (limi e argille) è superiore al 25%.

Le indicazioni che finora si sono ottenute da PE confermano i dati ottenuti da PD, vedere Figura 12 sotto, e indicano anche una leggera tendenza ad avere terreni con una più marcata presenza di fini.



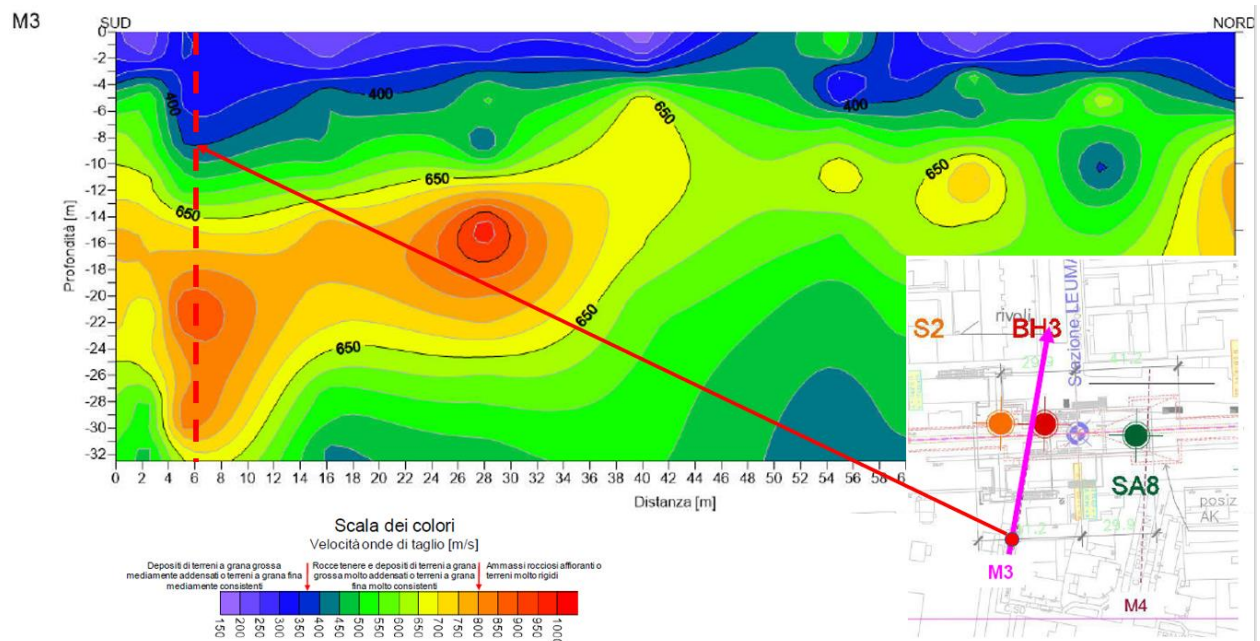
**Figura 12:** Fusi granulometrici da PD per i campioni prelevati lungo Lotto 2.

## 8.2.6 Indagini geofisiche

Un’esaustiva campagna investigativa geofisica di tipo Multichannel Analysis of Surface Waves (**MASW**) è stata portata a termine in Dicembre 2018, l’ubicazione e lunghezza degli stendimenti viene riassunta in Tabella 4. La campagna geofisica realizzata, in conformità con il D.M.17/01/2018, *Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*, ha permesso di ricostruire l’andamento delle onde di taglio  $V_s$  in funzione della profondità e di definire per i terreni investigati la Categoria di Suolo.

I risultati della campagna geofisica, come descritto nel dettaglio in [8], definisce generalmente terreni attribuibili a “*rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*” con valori di  $V_s$  compresi tra i 400-600 m/s, che vengono generalmente attribuiti alla categoria di suolo B.

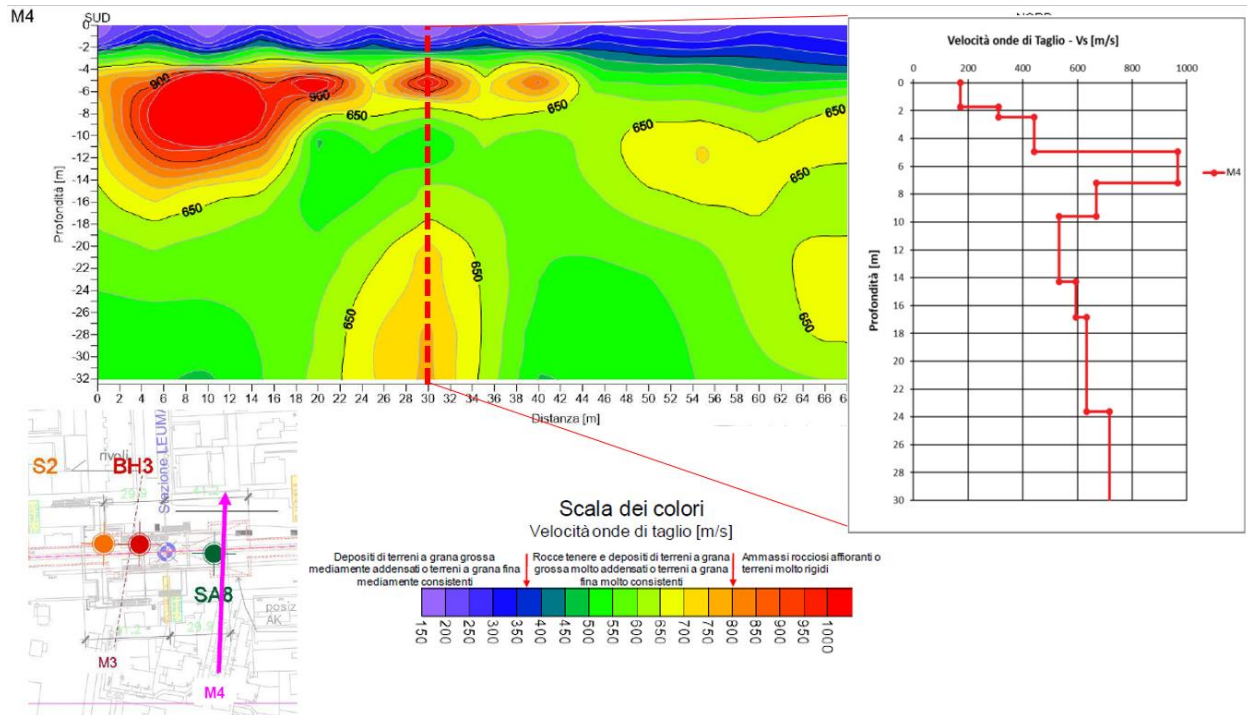
L’incremento delle  $V_s$  segue l’incremento della profondità, generalmente il valore  $V_s$  400m/s è stato indicato come passaggio tra i depositi superficiali poco consolidata e/o addensati e quelli a più alto grado di addensamento e/o consistenza. Solitamente questo passaggio si colloca tra una profondità tra 4 e 6m sotto il piano di campagna e solo in casi ben localizzati, vedere MASW M3 in Figura 13, questo passaggio è irregolare, e si colloca a profondità maggiori (vedere in Figura sotto l’indicazione sulla progressiva 6, tratteggio rosso, dove il passaggio è a 8m dal piano di campagna) e a cui si potrebbe attribuire la presenza di depositi sciolti o scarsamente addensati/consolidati di loess.



**Figura 13:** Interpretazione dello stendimento MASW M3.

Analogo discorso può essere fatto per la MASW M4, vedere Figura 14 sotto, in cui la presenza di uno strato superficiale con  $V_s > 800$  m/s potrebbe essere attribuito alla presenza di un livello a più alto grado di cementazione.





**Figura 14:** Profilo MASW M4 con profilo delle Vs alla progressiva 30 di stendimento. Evidente è la presenza di uno strato superficiale, compreso tra i -5 e -7m dal p.c. attribuibile alla presenza di un livello a più alto grado di cementazione.

## 9 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La campagna di indagini geognostiche effettuata ha permesso di ricostruire con maggiore dettaglio la stratigrafia geologica dell'area oggetto di studio.

Sulla base dei risultati dei sondaggi e delle prove è stata individuata una stratigrafia locale riassunta nella seguente Tabella 7.

**Tabella 7:** Quadro stratigrafico riassuntivo

Unità Geotecnica	Descrizione
<b>UG0</b>	Pavimentazione, riporti antropici, terreni rimaneggiati e/o vegetali
<b>UG1</b>	Depositi fluvio-glaciali: sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose con clasti eterometrici
<b>UG2</b>	Depositi superficiali di limi e sabbie fini, di origine eolica (loess)

### 9.1 UG0: Terreni di riporto e terreni vegetali

L'unità geotecnica in questione comprende i rilevati stradali, i riporti antropici e/o rimaneggiati, i terreni di copertura caratterizzati da alterazione superficiale. Questi terreni si ritrovano su tutta l'area in esame e sono costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie con ciottoli, frammenti lateritici e asfalto scarificato; nell'area in esame è caratterizzata da uno spessore costante che generalmente ha una profondità compresa tra 1.5 e 2.5m.



**Figura 15:** BH4 cassetta 0-5m, con evidenziato (tratteggio rosso) particolare di UG0; nel primo metro si riconoscono resti lateritici e frammenti di varia natura, mentre nel secondo metro si distingue un materiale fine (limoso) omogeneo di difficile interpretazione (non è esclusa la natura eolica dello strato).

## 9.2 UG1: Depositi fluvio-glaciali

Si tratta dell'unità principale che caratterizza l'area di interesse e si rinviene sistematicamente al di sotto del terreno superficiale sino ad una profondità massima indagata di 55 m. All'interno di tale unità avverranno le opere di scavo di gallerie, pozzi e stazioni.

Questa unità è caratterizzata da una distribuzione granulometrica discontinua sia in senso orizzontale che verticale. I depositi che la compongono si presentano costituiti da ghiaie eterometriche immerse in una matrice sabbiosa debolmente limosa di colore da grigio a grigio bruno, derivanti dal trasporto e successiva rielaborazione dei depositi glaciali ad opera dei torrenti alimentati dalle acque di fusione dei ghiacciai. A intervalli di materiale sciolto si alternano livelli addensati con frequenti livelli decimetrici molto addensati, più frequenti con l'aumentare della profondità. Raramente si individuano livelli cementati di spessori decimetrici mentre sono comuni e diffusi livelli mediamente cementati di spessore centimetrico a cui si alternano livelli debolmente cementati.



**Figura 16:** BH2 cassetta 10-15m, esempio di fluvio-glaciale UG1 con presenza di ciottoli e trovanti in una evidente matrice siltosa lungo tutta la cassetta, talvolta con livelli a più marcato grado di addensamento (e/o cementazione) di massimo spessore decimetrico.

## 9.3 UG2: Depositi superficiali di loess

Sono depositi costituiti da limi sabbiosi e sabbie fini, che caratterizzano gli spessori più superficiali del settore terminale del Lotto 2 (da pk 3+000 circa fino a fine tratta). Nello specifico i sondaggi a carotaggio continuo BH5, BH6, BH8 e BH7 e quelli ambientali SA6, SA5, SA4, SA3 e SA1 confermano in maniera generale la presenza di questi depositi così come indicato da PD. In base alle informazioni ottenute da questi sondaggi il contatto di questi depositi con le unità sottostanti appare leggermente più irregolare di quello modellato in PD, come indicato da BH6 dove il deposito di loess si assottiglia a meno di un metro di spessore per poi riprendere, sempre lungo l'asse di galleria, con uno spessore massimo e costante di circa 4-5m fino a fine tratta.

Profondità maggiori del loess si sono misurate nell’area parcheggio di interscambio (sondaggi SA4 e BH7) dove si raggiunge una profondità massima misurata di circa 7.5m.

Lungo la prima tratta del Lotto 2 invece solo localmente e in maniera irregolare ci si aspetta di incontrare isolati e sporadici depositi limosi sabbiosi superficiali che generalmente non superano il metro di spessore, che dunque non vanno ad interferire con le operazioni di scavo. Solo in SA10 si è individuato uno spessore importante di limi-argillosi, di circa 4m di spessore, a testimoniare probabilmente, la presenza di un isolato e di estensione limitata, lembo di deposito eolico (descritto appunto come limo argilloso debolmente sabbioso).



**Figura 17:** BH7, cassetta 0-5m (alto) e 5-10 (basso), il tratteggio in rosso indica il materiale siltoso di natura loessica.

## 9.4 Parametri geotecnici

Sulla base delle indagini svolte e sulla base dei caratteri geotecnici descritti e parametrizzati in [2],[10] e [11] è stata condotta la caratterizzazione geotecnica delle unità riconosciute e individuate lungo il tracciato del Lotto 2, Tratta 3, definendo per ciascuna di queste i criteri di resistenza ed i parametri connessi, nonché le caratteristiche di deformabilità.

**Tabella 8:** parametri geotecnici delle terre

Unità geotecnica e descrizione	Peso di volume, $\varphi$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Modulo di deformabilità, E [MPa]	Coefficiente di Poisson, $\mu$ [ - ]	Angolo di attrito, $\Phi$ [ ° ]	Coesione, c [ kPa]
<b>UG0:</b> coperture antropiche superficiali	18-20	10-20	0.35	28-30	0
<b>UG1:</b> ghiaie eterometriche in matrice sabbiosa siltosa con cementazione da debole a media	18-21	150-170	0.30	35-37	0-20
<b>UG2:</b> depositi di limosi e/o sabbiosi fini di origine eolica (loessici)	18-20	10-15	0.2-0.3	20-22	0

Per quanto riguarda il coefficiente di spinta delle terre si rimanda alla relazione:

$$K_0 = 1 - \sin\Phi \quad (\text{Jacky, 1944})$$

Relazione applicabile per terreni normal-consolidati.

I parametri riassunti in Tabella 8, sono definiti per uno stato tensionale dello scavo considerato tra i 10-15m di profondità, quindi con valori tensioni verticali ( $\sigma_v$ ) e orizzontali ( $\sigma_h$ ) compresi tra 0.20-0.30 MPa e 0.10-0.15 MPa rispettivamente, considerando un  $K_0$  pari a 0.5.

Per la definizione dei coefficienti di spinta attiva e passiva si rimanda invece alla teoria sugli stati tensionali di Rankine, 1857, vedi [22].

## 9.5 Classi di permeabilità

Per la caratterizzazione idrogeologica dell'area in esame e l'indicazione di classi di permeabilità si sono usati i risultati delle prove Lefranc eseguite in fase di PD integrati dai dati e procedure riassunte in [10] [11] (investigazioni pregresse condotte da Geodata su terreni simili e limitrofi a quelli attuali) e alle informazioni presenti in [12].

L'area soggetto di studio ricade nella classe K3, AFTES, che definisce l'intervallo di permeabilità (k), compreso tra  $10^{-6} \leq k < 10^{-4}$ . Un intervallo ampio che riflette comunque la variabilità eterogenetica dell'unità investigata come indicato in Sezione 8.2.5.1. I depositi superficiali di fini, anch'essi investigati mediante prove tipo Lefranc presentano valori di permeabilità medio bassi che ricadono all'interno dell'intervallo  $10^{-8} \leq k < 10^{-6}$  della classe K2.

Da ribadire che il livello di falda si trova ben al di sotto del piano di scavo dei lavori e dunque si scaverà in condizioni drenate.

## 10 CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI AI FINI DELLA VALUTAZIONE DEL METODO DI SCAVO

Al fine di valutare i mezzi, le tecniche ottimali e le eventuali problematiche collegate allo scavo di pozzi e stazioni, per quattro dei sette carotaggi a distruzione di nucleo si è effettuato la registrazione dei parametri di perforazione con lo scopo di valutarne l'energia specifica. Nei terreni dell'area di Torino la disuguaglianza:

$$E_s[\text{MJ/m}^3] \geq 125+4 \cdot z, [14]$$

definisce la soglia di energia specifica per il limite di scavabilità con la benna mordente. Si è perciò calcolato il valore di  $E_s$  e si è confrontato l'andamento dell'energia specifica prodotta per le quattro diagrafie effettuate (S1, S2, S3 ed S4) con il valore limite. I risultati sono riportati nelle figure a seguire.

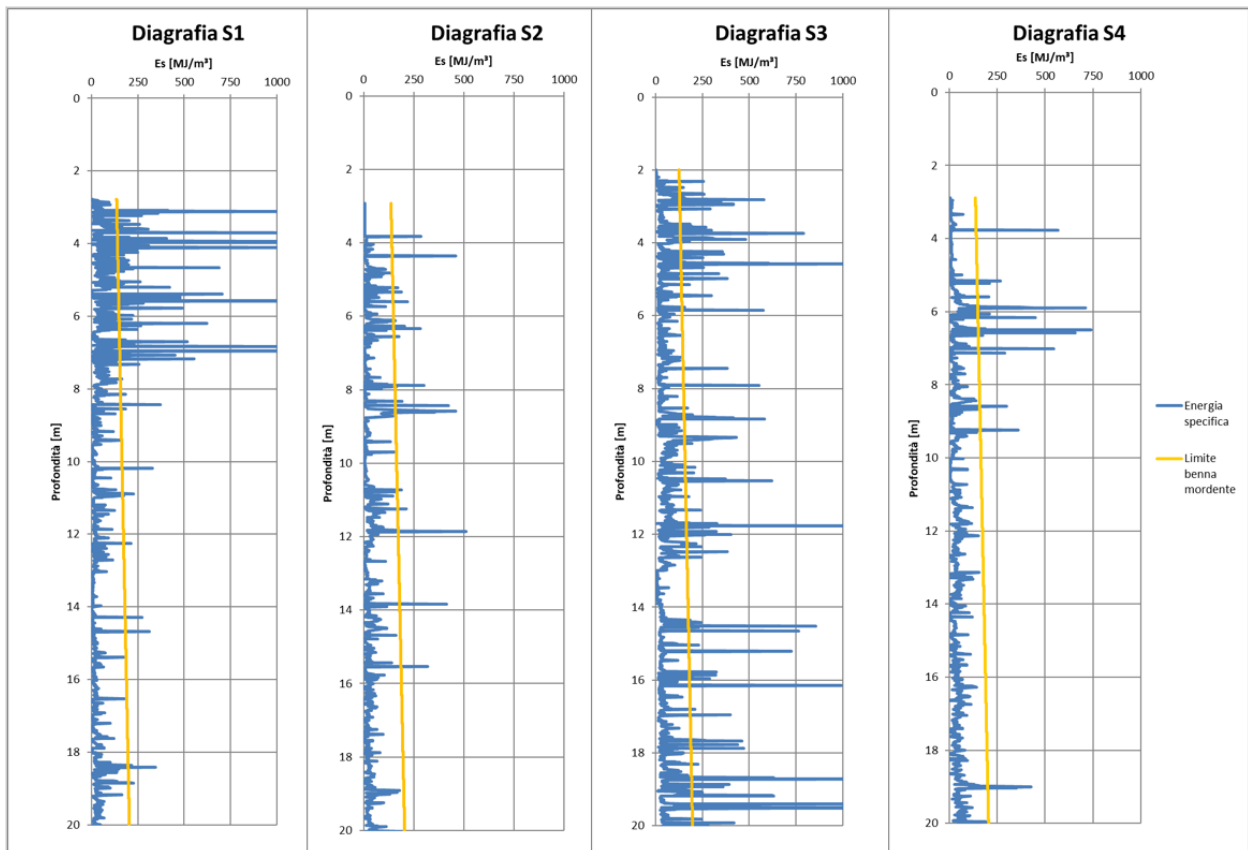


Figura 18: Risultati diagrafie da PE.

Da Figura 18 si evince che i terreni presentano un'estrema variabilità in termini di  $E_s$ . I valori di energia specifica calcolati per tutte e quattro le diagrafie (vedi Figura 18) tendenzialmente non si avvicinano ai livelli limiti se non per brevi tratti e solo localmente. In S3 si ha una marcata tendenza ad avere un andamento di  $E_s$  molto più irregolare e caratterizzato dalla presenza di numerosi picchi. In generale si è notato che gli andamenti dell'energia specifica così misurata sono in linea con quanto misurato in prossimità di st. Leumann durante fase di PD, vedere [1].

## 11 MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

I dati raccolti e analizzati come riassunto nelle sezioni precedenti hanno permesso di verificare e confermare le informazioni raccolte e il modello geotecnico definito in fase di progetto definitivo. I lavori di scavo di gallerie, stazioni e pozzi avverranno all'interno dell'unità geotecnica UG1. Tale unità è ricoperta lungo l'intera tratta di lavoro da uno spessore di materiale da riporto descritto come unità geotecnica UG0. Tale unità ha uno spessore massimo di 2.5m anche se localmente potrebbe spingersi a profondità maggiori.

L'unità geotecnica UG1 è descritta da ghiaie eterometriche, sabbiose limose, in cui il grado di addensamento è variabile in senso verticale che orizzontale, ma con una tendenza ad aumentare con la profondità. Livelli cementati sono presenti, però generalmente non superano spessori centimetrici e si trovano in maniera discontinua sul profilo. L'analisi delle diagrafie condotte in fasi pregresse di investigazione ha confermato questa tendenza indicando come  $E_s$  raggiunga occasionalmente il limite di scavabilità.

L'ultimo settore di scavo (da pk3+000 fino a fine tratta) è caratterizzato inoltre da livelli superficiali di silt sabbiosi di origine eolica (depositi di loess) che vengono descritti come unità geotecnica UG2. Questa unità presenta uno spessore variabile, che non si aspetta comunque superiore ai 4-5m lungo il tratto di scavo della galleria e nell'area parcheggio di interscambio, dove il limite inferiore del loess si colloca a 7.5m di profondità dal piano di campagna. Localmente lungo il primo tratto del Lotto 2, circoscritte lingue di materiale sabbioso fine e di spessore ridotto potrebbero trovarsi a contatto con UG1, senza comunque interferire con le opere di scavo.

Le curve granulometriche mostrano come generalmente il grado di assortimento dei terreni fluvio-glaciali (UG1) è basso e di come la presenza di fini in matrice possa variare in maniera importante. La natura dei terreni descritti tramite analisi granulometriche rende difficile la discretizzazione del tracciato in sezioni di terreno omogenee.

La falda superficiale si trova ben al disotto del piano di scavo (circa 51.6 m sotto il piano di campagna da letture effettuate su piezometro montato in S3) e perciò i lavori si aspettano in condizioni asciutte (condizioni drenate).

## 12 PROBLEMATICHE LEGATE ALLA NATURA DEL TERRENO

### 12.1 Scavabilità

Le problematiche di scavo sono principalmente collegate alla scavabilità del materiale in relazione al grado di addensamento e alla percentuale di materiale cementato presente.

Le indagini hanno individuato la presenza di livelli addensati e livelli centimetrici cementati lungo tutto il profilo di scavo e a differenti profondità, a cui talvolta si potranno intercaleranno livelli maggiormente sabbiosi di materiale sciolto.

### 12.2 Ciottoli e trovanti

L'opera verrà realizzata nella quasi totalità all'interno dei depositi fluvio-glaciali dell'unità litostratigrafica del Sintema di Frassinere, subsintema di Col Giansesco (AFR<sub>2b</sub>). Come riportato nelle Note Illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000 Foglio 155 (Torino Ovest), questa unità è formata da sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose con clasti eterometrici di quarziti, serpentiniti, gneiss e subordinatamente di prasiniti, calcescisti e marmi grigi (Parte superiore del Pleistocene Sup.). Questa unità costituisce buona parte del conoide fluvio-glaciale del Fiume Dora Riparia su cui si estende la città di Torino.

Nell'area in esame, l'unità litostratigrafica sopra descritta (depositi fluvio-glaciali) non compare in affioramento, per via della presenza di materiale di riporto antropico in tutto l'areale considerato. Pertanto, la presenza di tali depositi è stata confermata dalle informazioni raccolte durante le varie campagne di investigazione. Tali informazioni evidenziano una spiccata eterogeneità granulometrica (ghiaie, sabbie, limi) e una notevole variabilità litologica degli elementi che la definiscono.

In relazione alla natura litologica dei depositi incontrati dall'opera, dal momento che in letteratura è citata la presenza di litologie potenzialmente contenenti minerali asbestiformi, si è reso necessario stimare per la frazione grossolana, la percentuale di litologie potenzialmente contenenti minerali dell'amianto.

Questa stima è stata condotta visualmente sui carotaggi BH1, BH2, BH3, BH4, BH5, BH6, BH7, BH8, SA10, SA11, SA12. La scelta di questi sondaggi ha permesso di analizzare i terreni in diverse sezioni dell'area interessata dall'opera. Nello specifico è stata data maggiore attenzione ai sondaggi prossimi ai pozzi, stazioni e al parcheggio di interscambio, nonché alle profondità raggiunte dalle opere di scavo.

Essendo l'analisi condotta, un'analisi puramente visiva, ci si è concentrati esclusivamente sull'analisi della frazione grossolana (trovanti, ciottoli e ghiaie grossolane) del materiale carotato. Semi-quantitativamente si è stimato che ciottoli e ghiaie grossolane caratterizzano il materiale estratto da tutti i sondaggi eseguiti con una percentuale inferiore rispettivamente al 10% e al 40%, in accordo con quanto riscontrato dalle analisi granulometriche effettuate per il Lotto 1 e2 e nelle precedenti fasi progettuali.

Si è dunque passati all'analisi litologica dei clasti e alla individuazione di quelle litologie che hanno una maggiore probabilità di contenere minerali asbestiformi. Sulla base di questa analisi, si è stimato che mediamente, il 20% circa del volume totale estratto rientra nella categoria delle pietre verdi. In genere si osserva inoltre che i clasti presentano diversi gradi di arrotondamento e un grado di alterazione debole o nullo.

La percentuale di pietre verdi così stimata risulta variare arealmente all'interno dell'area di indagine, riscontrando una minima percentuale di pietre verdi in BH5 (10% di ciottoli



appartenenti alle pietre verdi sul totale del volume analizzato), mentre il massimo è stato individuato in BH7 (30% circa della frazione analizzata rientra nel litotipo pietre verdi).

L'analisi litostratigrafica si è basata sulla suddivisione delle rocce verdi in macro-gruppi. Ogni macro gruppo è caratteristico di uno specifico litotipo, e seguendo le indicazioni fornite nel Decreto Ministeriale del 14/05/1996 e nel “Piano regionale di protezione dell'ambiente, di decontaminazione, di smaltimento e di bonifica ai fini della difesa dai pericoli derivanti dall'Amianto (art. 10 Legge 257/1992, DPR 08/08/1994 e art. 7 LR 30/2008)”, si è osservato che il serpentino (gruppo 1) è il litotipo prevalente della frazione grossolana e a seguire si trovano clasti appartenenti alle metabasiti (gruppo 2) e in ordine minore si rinvencono i calcescisti (gruppo 3).

L'analisi visiva ha confermato l'indicazione fornita nelle Note Illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000, foglio 155 Torino Ovest, sulla natura litologica del sedimento. In particolare, si è osservato che il litotipo prevalente delle rocce analizzate rientra nella categoria 1 delle rocce avente probabilità di occorrenza di mineralizzazioni di amianto (POMA), quali appunto le serpentiniti. Il fatto che le litologie della POMA 1 appaiono essere le prevalenti non dà comunque indicazioni sulla presenza di fibre asbestiformi all'interno del sedimento, ma indica unicamente che questi litotipi hanno una maggiore probabilità di contenere mineralizzazioni ad amianto.

Pur non eliminando il rischio di trovare fibre asbestiformi, alla luce delle informazioni raccolte in fase di progetto definitivo ed esecutivo, considerando anche i risultati delle prove di laboratorio effettuate sul fine (frazione passante al 2cm) e sul tal quale (frazione superiore ai 2cm), si può affermare che non sono state individuate fibre asbestiformi libere all'interno del materiale di scavo lungo il lotto in oggetto.

Per una ulteriore conferma dei dati fino ad ora ottenuti si adotterà, in fase di realizzazione dell'opera, un piano di investigazione e di monitoraggio del materiale scavato, che sia in grado di descrivere in maniera rappresentativa e accurata la natura complessa del materiale sedimentario estratto secondo la normativa applicabile.

Di seguito si riportano alcuni dettagli del terreno analizzato e dei campioni prelevati per la fase di caratterizzazione mineralogica, descritta nelle relazioni riguardanti il monitoraggio ambientale.



**Figura 19:** Dettaglio sulla frazione grossolana valutata in BH1, si evidenzia il gruppo delle serpentiniti.



**Figura 20:** Sinistra, dettaglio campione prelevato in BH7 descrittivo del gruppo serpentiniti. Destra, dettaglio campione prelevato in SA11, dove il ciottolo di maggiori dimensioni è descrittivo del gruppo calcescisti.

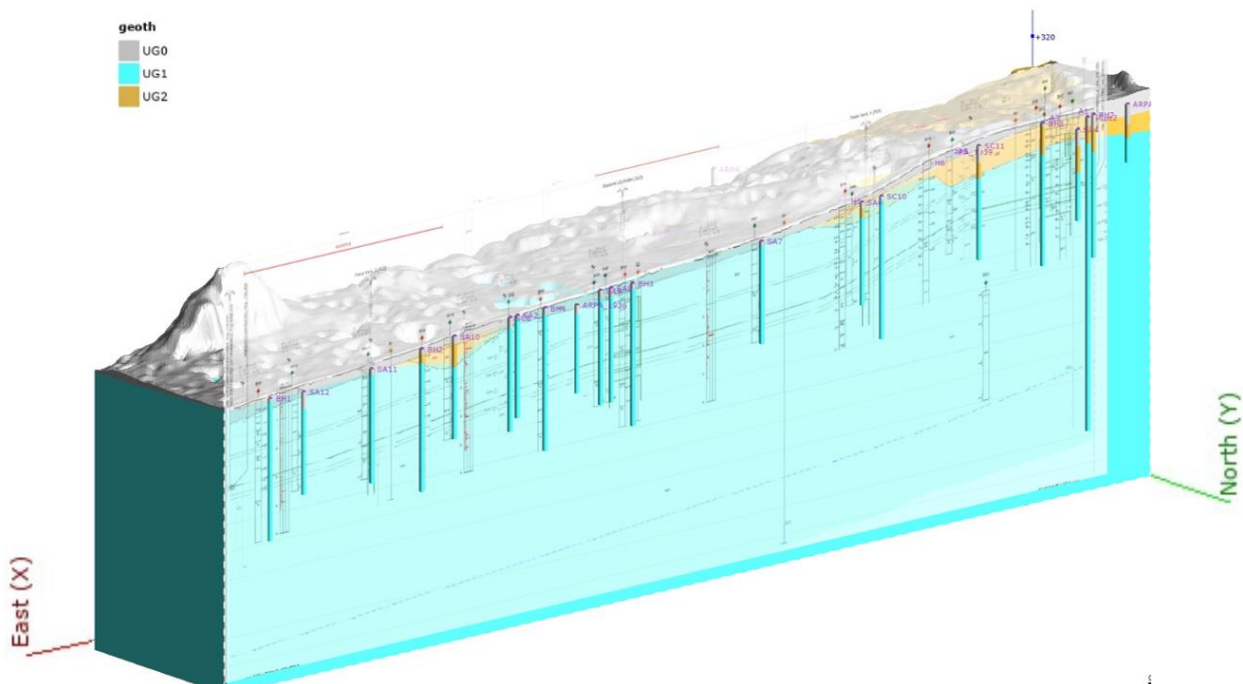


**Figura 21:** Sinistra, dettaglio campione AM4 dopo macinazione; destra, dettaglio campione AM15 dopo macinazione.

## 13 CONCLUSIONI

La campagna di investigazione e l'analisi dei dati raccolti ha permesso di verificare e confermare le informazioni raccolte e il modello geotecnico definito nelle precedenti fase progettuali, affinandone il grado di conoscenza e il livello di attendibilità. I lavori di scavo di gallerie, stazioni e pozzi avverranno all'interno dell'unità geotecnica UG1. Tale unità è ricoperta lungo l'intera tratta di lavoro, da uno spessore di materiale da riporto descritto come unità geotecnica UG0. Tale unità ha uno spessore massimo di 2.5m anche se localmente potrebbe spingersi a profondità maggiori.


Nel settore di fine tratta, (a partire da pK 3+000), si intercetteranno superficialmente dei depositi prevalentemente di limi e sabbie di natura eolica, che vengono descritti dall'unità geotecnica UG2. Questi possono presentare spessori variabili e raggiungere profondità massime indagate di 7.5m (area parcheggio di interscambio) anche se generalmente, lo spessore di questo deposito non dovrebbe superare i 4-5m di profondità lungo il settore di interesse. Lembi sporadici di materiale eolico possono tuttavia essere intercettati superficialmente lungo tutto il settore di sviluppo del Lotto 2, senza comunque, se non localmente e puntualmente, superare il metro di spessore.



**Figura 22:** Esempio di analisi per la modellazione e taratura del modello geologico tridimensionale dell'area in esame mediante utilizzo del Software Leapfrog. Nota bene, la scala verticale del modello è esagerata.

L'unità geotecnica UG1 è descritta da ghiaie eterometriche, sabbiose limose, in cui il grado addensamento è variabile sia in senso verticale che orizzontale, ma con una certa tendenza ad aumentare con la profondità. I livelli cementati, pur presenti, non superano generalmente gli spessori centimetrici e si trovano in maniera discontinua sul profilo. L'analisi delle diagrafie condotte ha confermato questa tendenza indicando come  $E_s$  (Energia Specifica) raggiunga solo in alcuni casi il limite di scavabilità per la benna mordente.

Le curve granulometriche mostrano come generalmente il grado di assortimento dell'unità UG1 sia basso e solo localmente si presentino lenti con importante presenza di fini in matrice

	Metropolitana Automatica di Torino – Linea 1- Tratta Collegno – Cascine Vica: 2° Lotto funzionale “Collegno Centro – Cascine Vica”	MTL1T3A2E GEOGENR003
		Revisione 0-1

(limi/argilli  $\geq 25\%$ ), mentre l'unità UG2 (depositi di loees) presenta un maggiore grado di assortimento.

A seguito della modellazione così sviluppata, i lavori di scavo della galleria avverranno esclusivamente all'interno dell'unità geotecnica UG1, mentre lo scavo della stazione Cascina Vica, del pozzo terminale (PZT) e del parcheggio di interscambio interferirà superficialmente con i depositi di loess dell'unità UG2 (spessore massimo del deposito di 4-5m). In Figura 22 si può apprezzare una fase di modellazione e taratura del Modello Geologico e Geotecnico di Riferimento con l'ausilio del software di modellazione geologica tridimensionale Leapfrog.

La falda superficiale si trova ben al disotto del piano di scavo (le recenti letture effettuate sul piezometro montato in S3 conferma la falda a -51m sotto il piano di campagna) e perciò i lavori si svolgeranno in condizioni asciutte (condizioni drenate).

Le problematiche di scavo sono principalmente collegate alla scavabilità del materiale in relazione al grado di addensamento e alla percentuale di materiale cementato presente.

Le indagini hanno individuato la presenza di livelli addensati e livelli centimetrici cementati lungo tutto il profilo di scavo e a differenti profondità, a cui talvolta si potranno intercalare livelli maggiormente sabbiosi di materiale sciolto.

Per quanto riguarda le tematiche ambientali relative alla presenza o meno di fibre asbestiformi, pur non eliminando tale rischio, alla luce delle informazioni raccolte in fase di progetto definitivo ed esecutivo, considerando anche i risultati delle prove di laboratorio effettuate, si può affermare che non sono state individuate fibre libere all'interno del materiale di scavo lungo il lotto in oggetto e dunque ad oggi il rischio è considerato minimo.