

**SATTI**  
**S.p.A. TORINESE TRASPORTI INTERCOMUNALI TORINO**

**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO**  
**LINEA 1**  
**TRATTA FUNZIONALE COLLEGNO – TORINO PORTA NUOVA**

**LOTTO 1**  
**DEPOSITO - OFFICINA**  
**PROGETTO ESECUTIVO**

**STUDI E INDAGINI**

**GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOTECNICA**

**RELAZIONE GEOTECNICA**

REV.	REDAZIONE		VERIFICA		APPROVAZIONE		
	NOME	FIRMA	NOME	FIRMA	NOME	FIRMA	DATA
0	Dott. E.Rabbi		Ing. G.Kalamaras		Ing. P.Grasso		31/01/01
a							
b							
c							

## INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	1
2.	STRUTTURA DELLA RELAZIONE .....	2
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	3
3.1	Aspetti geologico-morfologici .....	3
3.2	La cementazione dei depositi quaternari .....	3
3.3	Inquadramento idrogeologico.....	4
3.4	Condizioni di deflusso della falda superficiale .....	4
3.5	Presenza di altri fluidi.....	5
3.6	Caratteri sismici.....	5
4.	QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE .....	6
4.1	Geologia e Geomorfologia .....	6
4.2	Idrogeologia.....	7
5.	LE INDAGINI.....	8
5.1	Indagini esistenti.....	8
5.2	Indagini per il progetto definitivo ed esecutivo.....	8
5.3	Prove di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica.....	9
6.	RISULTATI DELLE INDAGINI E INDIVIDUAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE .....	10
6.1	Analisi dei dati.....	10
6.1.1	Prove di carico su piastra .....	10
6.1.2	Analisi granulometriche .....	10
6.2	Individuazione e descrizione delle unità geotecniche .....	12
6.2.1	Unità 1: terreno superficiale.....	12
6.2.2	Unità 2: ghiaie con sabbie da sciolte a debolmente cementate .....	12
7.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	14
8.	PROBLEMATICHE DI SCAVO LEGATE ALLA NATURA DEL TERRENO.....	16
8.1	Ciottoli e trovanti.....	16
8.2	Cementazione e/o addensamento .....	17
8.3	Presenza di lenti di sabbia .....	17
8.4	Presenza di acqua .....	17
8.5	Presenza di gas .....	18
8.6	Zone inquinate (acqua e terreno).....	18
8.7	Zone disturbate, presenza di cavità .....	18
8.8	Danni di guerra.....	18
8.9	Presenza di reperti archeologici .....	18
9.	NORMATIVA.....	19
10.	BIBLIOGRAFIA .....	20

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustra il contesto geologico ed idrogeologico del Lotto 1 della Linea 1 della Metropolitana Automatica di Torino.

La prima tratta funzionale della Linea 1 della Metropolitana di Torino si sviluppa per circa 9,6km da Collegno (area Deposito-Officina) fin poco oltre la Stazione di Porta Nuova (asta di manovra), e si articola in 5 lotti di opere civili al rustico:

- Lotto 1 Deposito;
- Lotto 2 Tratta Deposito – Fermi;
- Lotto 3 Tratta Fermi - Pozzo Strada;
- Lotto 4 Tratta Pozzo Strada – Acaja;
- Lotto 5 Tratta Acaja - Porta Nuova.

Lungo la Linea saranno realizzate 15 stazioni di cui 13 poste in corrispondenza dei principali incroci (Fermi, Paradiso, Marche, Massaua, Pozzo Strada, Monte Grappa, Rivoli, Racconigi, Bernini, Principi d’Acaja, XVIII dicembre, Vinzaglio, Re Umberto) e 2 di interscambio con linee delle Ferrovie dello Stato: le stazioni di Porta Susa e di Porta Nuova.

Il piano banchina è in generale a -15,50m dal piano campagna.

Tre stazioni e, precisamente, Paradiso, XVIII Dicembre e Vinzaglio, sono più profonde (-17,40m da p.c.).

La galleria di linea verrà realizzata con una macchina di scavo a piena sezione (TBM: Tunnel Boring Machine) e avrà diametro interno finito pari a 6.80m.

Il tracciato, muovendosi da Ovest verso Est con progressive crescenti, percorre inizialmente via De Amicis, nel Comune di Collegno, quindi, entrando nel comune di Torino, si sviluppa in asse a Corso Francia, fino all’intersezione con Corso Inghilterra; da qui, in curva ampia, sottopassa il Passante Ferroviario e si porta in Piazza XVIII dicembre, di fronte all’attuale stazione di Porta Susa, per proseguire poi lungo Corso Bolzano fino alla seconda curva, prevista per permettere l’imbocco di Corso Vittorio Emanuele II. Il corso, uno dei più importanti di Torino, viene percorso fin poco oltre la stazione di Porta Nuova.

Il tracciato, da un punto di vista costruttivo, risulta così suddiviso:

1. deposito officina, opere in elevazione nel comune di Collegno e 160m di trincea di approccio alla galleria artificiale, costituenti il Lotto 1;
2. tratta di galleria eseguita a cielo aperto, che si sviluppa nel Comune di Collegno, lungo via Fratelli Cervi e via De Amicis, tra il Deposito/Officina e la Stazione Fermi;
3. tratta eseguita a foro cieco, dalla stazione Fermi fino alla stazione di Porta Nuova.

## 2. STRUTTURA DELLA RELAZIONE

Questa relazione illustra il contesto geotecnico ed idrogeologico attraverso il quale si svilupperà il Lotto 1 della Linea 1, Collegno Porta Nuova, della Metropolitana di Torino.

La relazione è articolata nei seguenti capitoli:

Il **capitolo 1** è introduttivo sull'opera e sul tracciato della Linea 1 della Metropolitana Automatica di Torino.

L'inquadramento geologico e geomorfologico della tratta Collegno Porta Nuova viene presentato nel **capitolo 3**. E' inoltre descritto l'assetto idrogeologico (soggiacenza, direzione di deflusso e gradiente della falda) del sottosuolo lungo l'intero tracciato e vengono espone problematiche relative alla possibile presenza di altri fluidi (sacche di gas) con possibili effetti di inquinamento nei confronti dei materiali che si andranno a scavare.

Il **capitolo 4** inquadra sia gli aspetti geologici-geomorfologici che quelli idrogeologici relativamente al Lotto 1.

Nel **capitolo 5** vengono presentate le indagini geognostiche in sito e le prove geotecniche in sito e di laboratorio che sono state prese in considerazione per la caratterizzazione geotecnica del Lotto.

Il **capitolo 6** espone l'analisi dei dati acquisiti mediante le indagini e le prove in sito e in laboratorio che ha consentito la caratterizzazione geotecnica.

Nel **capitolo 7** viene riportata la caratterizzazione geotecnica, con indicazione della metodologia adottata e l'attribuzione dei parametri di resistenza e deformabilità a ciascuna unità geotecnica.

Il **capitolo 8** illustra le problematiche relative allo scavo in funzione della presenza di ciottoli e trovanti, del grado di cementazione, della presenza di lenti di sabbia, della falda, di sacche di gas, di residuati bellici, di reperti archeologici, di zone disturbate e cavità.

Il **capitolo 9** espone la normativa di riferimento e il **capitolo 10** contiene la bibliografia.

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

#### 3.1 Aspetti geologico-morfologici

Il territorio attraverso il quale si sviluppa l'opera in oggetto si estende su un'area semi-pianeggiante costituita dagli apporti successivi delle conoidi alluvionali poste allo sbocco delle valli alpine della Dora Riparia e della Stura di Lanzo. L'area presenta una debole pendenza procedendo da ovest verso est, passando da 260-290 m s.l.m. a circa 220 m s.l.m.

Le conoidi alluvionali sono costituite da depositi di origine fluvioglaciale, successivamente rimodellati, almeno nei livelli più superficiali, dai corsi d'acqua che attraversano i territori comunali di Torino e Collegno. I termini litologici dei depositi fluvioglaciali sono legati ai litotipi del bacino idrografico di alimentazione: il Massiccio Ultrabasico di Lanzo (serpentiniti, ultrabasiti) per la Stura di Lanzo; il Complesso del Dora Maira (gneiss, quarziti), il Complesso dei Calcescisti con Pietre Verdi, e la Serie dell'Ambin (micascisti, quarziti), per la Dora Riparia.

L'assetto geologico generale, ricostruito dalle numerose indagini svolte nel sottosuolo torinese, è suddiviso, per i primi 150 m circa, in tre complessi litostratigrafici:

- depositi fluvioglaciali e fluviali Rissiani (Quaternario), principalmente composti da ghiaie, sabbie e ciottoli in matrice limosa;
- depositi lacustri e fluviolacustri (Villafranchiano Autoctono? Pleistocene Inferiore-Pliocene Superiore), composti da limi argillosi e livelli sabbioso ghiaiosi;
- depositi d'ambiente marino neritico del Pliocene, composti da limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie grigio azzurre con fossili.

Lo spessore del primo complesso (depositi fluvioglaciali e fluviali Rissiani) è variabile da un minimo di 25 m (zona a nord di Torino) a un massimo di 50 m circa nella zona centrale della città. Questi depositi presentano, al loro interno, orizzonti e livelli ad andamento discontinuo e a vario grado di cementazione; i livelli a maggior cementazione (livelli conglomeratici) sono caratteristici dell'area in oggetto e sono noti in letteratura con il termine formazionale di "puddinghe".

Il limite inferiore dei depositi fluvioglaciali Rissiani è costituito da un contatto di tipo erosionale.

La potenza del secondo complesso (depositi lacustri e fluviolacustri) varia molto in relazione alla zona di riferimento, da un massimo di 140 m in Piazza Marmolada a pochi metri nella zona nord di Torino, nelle vicinanze della Stura di Lanzo. Il contatto tra la base del complesso Villafranchiano e i sottostanti depositi Pliocenici è in eteropia di facies.

#### 3.2 La cementazione dei depositi quaternari

Il sottosuolo dell'area in oggetto, se da un punto di vista geologico può essere definito relativamente semplice, presenta delle rilevanti variazioni sia lateralmente sia lungo la profondità, relativamente alla cementazione dei depositi fluvioglaciali (ghiaie, ciottoli e sabbie in matrice limosa).

La natura della cementazione è dovuta alla precipitazione del carbonato di calcio e magnesio presente in soluzione sia nell'acqua di falda sia nell'acqua di infiltrazione meteorica, per variazioni di temperatura e di pH.

I carbonati presenti in soluzione nelle acque della falda superficiale provengono principalmente dalle acque della Dora Riparia (350-400 mg/l CaCO<sub>3</sub> disciolto), che alimenta la falda nei periodi di maggior portata. Quando le acque della falda superficiale, cariche di carbonati, si miscelano con acque provenienti da altri bacini di alimentazione, la variazione di temperatura (diminuzione) o di pH (innalzamento del valore) provoca la precipitazione dei carbonati disciolti in soluzione.

Le acque di precipitazione meteorica infiltrandosi nel suolo si arricchiscono di CO<sub>2</sub> che, combinandosi con l'acqua, produce acido carbonico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) e determinano, dunque, una diminuzione del pH. Le acque così divenute aggressive riescono a portare in soluzione il carbonato di calcio e magnesio presente nei depositi. All'aumentare della profondità, il variare della temperatura (la temperatura delle acque di infiltrazione non è più influenzata dalla temperatura dell'aria, generalmente si verifica un abbassamento della temperatura) modifica l'equilibrio chimico delle specie carbonatiche disciolte, provocandone la precipitazione.

I due meccanismi di formazione dei depositi cementati sopracitati spiegano la formazione di lenti e livelli di materiale cementato sia nella zona non satura sia al di sotto del livello di oscillazione della falda superficiale.

### **3.3 Inquadramento idrogeologico**

Con riferimento all'assetto litostratigrafico per i primi 150-200m, il sottosuolo dell'area oggetto di studio è sede di un sistema di falde sovrapposte. Dalle informazioni ricavate dalla letteratura e dai dati riassunti nelle schede dei pozzi, risulta evidente il seguente assetto idrogeologico:

- acquifero superficiale a falda libera costituito da depositi grossolani riferibili al Quaternario (ciottoli, ghiaie e sabbie in matrice sabbioso-limoso), con uno spessore della zona satura variabile tra 15 e 30 m e limitato alla base da uno strato di argille con spessore pari a circa 30 m, presente in quasi tutte le stratigrafie dei pozzi analizzati. La superficie dell'acquifero a falda libera si trova a una profondità variabile dai 40 ai 15 metri di profondità dal piano campagna.
- acquifero profondo, verosimilmente confinato e del tipo multifalda, è situato indicativamente tra 70 e 200 m dal p.c., come desunto dalle informazioni provenienti da diversi pozzi profondi presenti nell'area oggetto di studio. Tale acquifero è costituito da alternanze di depositi medio grossolani e fini (argille limose con livelli di ghiaie e sabbie), appartenenti a depositi fluviolacustri (Pleistocene Inferiore-Pliocene Superiore). La sua base è rappresentata da uno strato di argille presente, a seconda delle zone, a circa 150-200 m dal piano campagna.

### **3.4 Condizioni di deflusso della falda superficiale**

La carta delle curve isopiezometriche riferite alle misure del periodo febbraio-marzo 2000 (lo stralcio relativo al Lotto 1 è incluso nella tavola EGEODEPS001) mostra un andamento della superficie piezometrica piuttosto regolare, con gradiente medio pari a circa 0,3-0,4% e direzione di flusso orientata da ovest verso est. Appare comunque evidente come il Po risulti essere il livello di base locale dell'acquifero a falda libera, mentre la Dora Riparia agisca, a seconda delle zone, come dreno o come alimentatore della falda stessa.

I valori di permeabilità indicati nel Profilo Geotecnico caratterizzano l'intero sviluppo del tracciato con la classe K3 (AFTES, 1992). Le classi sono così definite:

K1 <  $10^{-8}$  m/s

K2 da  $10^{-8}$  a  $10^{-6}$  m/s

K3 da  $10^{-6}$  a  $10^{-4}$  m/s

K4 >  $10^{-4}$  m/s

In merito al campo di variazione possibile della classe K3 è indicata la classe K4.

### **3.5 Presenza di altri fluidi**

Nei depositi che compongono il sottosuolo lungo la linea in progetto, anche in relazione alla loro genesi e natura, non sono segnalati accumuli di gas naturali.

E' invece da segnalare la possibile presenza, in particolare a Collegno e lungo tutto corso Francia, di accumuli di gas generati da percolazione nel terreno di idrocarburi e solventi clorurati, provenienti da stazioni di rifornimento carburanti e industrie come evidenziato da alcuni rilevamenti diretti e da monitoraggi intrapresi dal Dipartimento Ambiente della Provincia di Torino. Queste attività hanno immesso in falda, tramite pozzi perdenti, i reflui delle lavorazioni, mentre le stazioni di rifornimento, i cui serbatoi sono interrati, possono aver dato origine alla formazione, nel sottosuolo, di pennacchi di idrocarburi. Una parte di queste attività è stata delocata, ma il grado di persistenza di questi inquinanti è tale da farne ipotizzare la presenza anche adesso.

Il meccanismo di formazione di accumuli di gas è dovuto alla infiltrazione di liquidi a basso punto di evaporazione. L'accumulo di gas può avvenire in coincidenza di lenti o livelli più limosi o cementati, dove l'infiltrazione dei liquidi è rallentata o impedita. Il gas formato tende a "migrare" lateralmente e si concentra in zone non necessariamente in prossimità alla sorgente di inquinamento.

### **3.6 Caratteri sismici**

I territori comunali delle città di Torino e Collegno non sono inseriti nell'elenco delle località sismiche di prima e seconda categoria (legge 25/11/1962 n. 1684, e successive integrazioni) dunque non sono sottoposti a particolari provvedimenti o restrizioni riguardanti la costruzione di opere o manufatti.

#### 4. QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE

Il Lotto 1 comprende:

- gli edifici del Deposito, dell'Officina/Magazzino e degli uffici, del posto di comando e controllo (PCC) che gestisce l'esercizio della linea, la viabilità, il parcheggio, la piattaforma di fondazione della via di corsa e la sistemazione paesaggistica dell'intera area;
- una trincea di 160m di lunghezza che approccia la galleria artificiale prevista nell'adiacente Lotto 2.

L'area ricade interamente nel Comune di Collegno ed è costituita da un vasto terreno agricolo, della superficie di circa 200.000 mq, confinante con il Deposito Comunale e con un'area industriale di recente formazione. Dal punto di vista altimetrico, il terreno presenta lungo l'asse longitudinale e lungo quello trasversale, una doppia pendenza regolare: tra +292,5m slm e +296 lungo l'asse longitudinale e tra +292,5 e +296 lungo l'asse trasversale.

La configurazione generale del nuovo complesso comprende i seguenti principali elementi:

- edificio officina – uffici, suddiviso in due corpi di fabbrica integrati e comunicanti: uno dedicato all'officina manutenzione materiale rotabile, e l'altro, su tre livelli, dedicato a officine e laboratori di manutenzione e riparazioni di componenti di piccole dimensioni, spogliatoi, uffici, locali tecnici di sistema, mensa, ambienti per il pubblico e di rappresentanza, PCC;
- edificio deposito per il rimessaggio dei veicoli e del treno lavori;
- un fabbricato guardiola con relativi servizi;
- fabbricato stoccaggio e compressori;
- pista di prova, via di accesso, fasci deposito e officina;
- stazione di servizio con impianto lavaggio e relativa via di corsa dedicata;
- il sistema di viabilità e parcheggi;
- il sistema di recinzioni esterne e barriere di protezione interne per la sicurezza antintrusione e antinfortunistica dell'area;
- la trincea di approccio alla galleria artificiale

La ricostruzione del modello geologico-geotecnico di riferimento che viene descritta nei paragrafi successivi, è stata realizzata utilizzando informazioni derivanti da tutte le indagini eseguite per il progetto lungo l'intera tratta.

##### 4.1 Geologia e Geomorfologia

Sostanzialmente l'opera si svilupperà attraverso depositi fluvioglaciali e fluviali Rissiani costituiti da ghiaie, ciottoli e sabbie in matrice limosa, caratterizzati da livelli con cementazione variabile da assente a debole e da locale presenza di livelli di ciottoli e blocchi bene addensati e privi di matrice, ed orizzonti francamente sabbiosi.

Superiormente è presente un livello con caratteristiche di terreno di copertura costituito da sabbie limose e sottili livelli di argilla.

## **4.2 Idrogeologia**

La situazione idrogeologica relativa al Lotto in questione mostra la profondità della falda superficiale intorno ai 47m dal piano campagna. Il gradiente medio varia da 0,3 a 0,4 %.

Secondo la classificazione AFTES (1992), sulla base dei dati acquisiti durante la campagna geognostica (prove Lefranc a carico costante) e dall'analisi dei dati bibliografici i terreni interessati dallo sviluppo dell'opera sono compresi nella classe di permeabilità K3 da  $10^{-6}$  a  $10^{-4}$  m/s con possibili variazioni verso la classe K4  $>10^{-4}$  m/s.

## 5. LE INDAGINI

### 5.1 Indagini esistenti

Al momento della redazione del progetto definitivo ed esecutivo, non sono state reperite indagini pregresse fatta eccezione per alcune stratigrafie di pozzi in aree prossime allo sviluppo del Lotto in esame. Tali informazioni sono state indicate, come ubicazione, nella documentazione cartografica allegata al progetto.

### 5.2 Indagini per il progetto definitivo ed esecutivo

Le indagini eseguite nel periodo dicembre 1999-giugno 2000 hanno consentito di:

- acquisire le necessarie conoscenze in termini di ricostruzione della sequenza litostratigrafica e individuazione delle unità geotecniche;
- verificare la situazione idrogeologica (posizione attuale della falda, permeabilità dei depositi);
- caratterizzare geotecnicamente i terreni determinando i parametri fisici e meccanici (deformabilità e resistenza) da utilizzare nelle analisi progettuali.

In relazione alla tipologia delle opere previste nel Lotto (vedi descrizioni precedenti), sono stati eseguiti pozzetti geognostici con prove di carico su piastra e prelievo di macrocampioni per analisi di laboratorio.

Nella tabella seguente vengono riportate le indagini eseguite nel Lotto 1.

**Tabella 5.1** – Indagini in sito eseguite nel periodo dicembre 1999 - aprile 2000

Codice Indagine	Prof.	Profondità falda	Campioni rimaneggiati <sup>(1)</sup>	Prove di carico su piastra
	(m)	(m)	(n°)	(n°)
PZ1	1.20	-	1	1
PZ2	1.15	-	1	1
PZ3	0.60	-	1	1
PZ4	2.15	-	1	1
PZ5	1.95	-	1	1

PZ: pozzetto geognostico;

<sup>(1)</sup> Si tratta di macrocampioni di materiale non cementato di circa  $0.8 \text{ m}^3$  ciascuno. Il materiale prelevato è stato sottoposto ad un'operazione di quartatura per assicurare la rappresentatività del campione da sottoporre ad analisi granulometrica.

Per quanto riguarda l'ubicazione planimetrica dei punti d'indagine si rimanda alla tavola allegata alla documentazione progettuale.

### **5.3 Prove di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica**

Nel Lotto in esame sono state realizzate 5 analisi granulometriche eseguite su macrocampioni prelevati nei pozzetti geognostici. Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni, sono stati utilizzati i risultati derivanti, oltre che dal Lotto in esame, dagli altri lotti sia dai sondaggi che dai pozzi eseguiti lungo la linea

## **6. RISULTATI DELLE INDAGINI E INDIVIDUAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE**

La principale caratteristica dei terreni lungo il Lotto 1 è data dalla presenza del suolo fino ad una profondità massima di 2m circa (rilevata nel sondaggio S2 adiacente al Lotto in esame) ed, in successione stratigrafica, da terreni ghiaiosi con ciottoli (con diametro massimo riscontrato 140mm) in matrice sabbioso-limosa; localmente sono state rilevate lenti di estensione metrica francamente sabbiose.

Durante lo scavo dei pozzetti sono stati individuati livelli di potenza centimetrica di argille e torbe, a diversa profondità.

I terreni ghiaiosi investigati con lo scavo dei pozzetti hanno presentato tracce di cementazione in aderenza ai ciottoli e alla ghiaia.

Da tali evidenze e dai risultati delle indagini eseguite nel Lotto adiacente (diagrafie e sondaggi) si può dedurre che le ghiaie sono caratterizzate da una cementazione che può essere definita da “assente” a “debole”.

### **6.1 Analisi dei dati**

#### **6.1.1 Prove di carico su piastra**

Per la valutazione della deformabilità dei terreni su cui fonderà l'area di deposito sono state eseguite 5 prove di carico su piastra superficiali (al di sotto del terreno di riporto, nei depositi fluvio-glaciali) con piastra di diametro 300mm.

Considerando che il materiale sul quale sono state eseguite le prove di carico, è simile a quello individuato lungo tutto il tracciato, pur con evidenti differenze nel grado di cementazione, i risultati delle prove eseguite nei pozzetti sono stati analizzati congiuntamente agli altri risultati.

I valori ottenuti dalle prove nei pozzetti risultano più bassi rispetto a quelli ottenuti nei pozzi.

Questa variazione è legata, sostanzialmente, alle caratteristiche del terreno meno uniformi nei pozzetti, in particolare legate alla presenza di lenti e livelli di materiale fine

Il valore medio del modulo di deformazione risultato dall'elaborazione dei dati di carico su piastra nei pozzetti è di 33MPa circa, mentre i valori ottenuti dai dati delle prove con piastra di grande diametro in terreni analoghi sono mediamente superiori a 100Mpa. Considerando una maggiore attendibilità delle prove di carico su piastra a grande diametro si sono considerati validi gli intervalli derivati dalle prove di carico su piastra a grande diametro.

#### **6.1.2 Analisi granulometriche**

I dati riportati in allegato documentano le analisi eseguite sui campioni prelevati nei pozzetti geognostici.

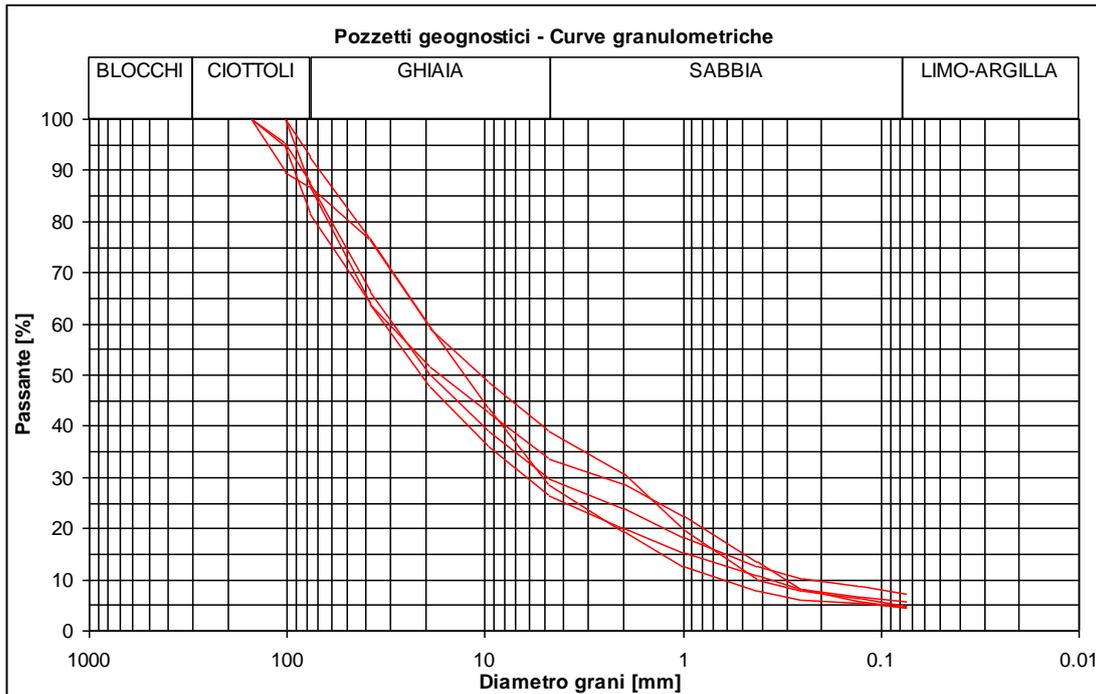
In sintesi sono stati riconosciuti due livelli principali:

- terreno di copertura costituito da sabbia limosa
- ghiaia con ciottoli e trovanti in matrice sabbioso-limosa (gruppo G della classificazione USCS ed A1 secondo la classificazione AASHOM14549); localmente, all'interno di

questo livello, sono state rilevate lenti di estensione metrica francamente sabbiose. E' da segnalare nei pozzetti PZ2 e PZ5 la presenza di livelli di spessore centimetrico di argille.

Il fuso granulometrico integrale (compresa la frazione fine) tipico dei terreni investigati nei pozzetti geognostici è riportato in Figura 6.1.

**Figura 6.1** – Fuso granulometrico integrale (compresa la frazione grossa costituita dai ciottoli) caratteristico dei campioni ricavati durante lo scavo dei pozzetti



**Tabella 6.1** – Sintesi caratteristiche fisiche dei terreni derivanti da campioni prelevati nei pozzetti

Caratteristiche	Min.	Max.	Media
Ciottoli [%]	7.4	18.6	13.0
Ghiaia [%]	47.7	60.6	55.6
Sabbia [%]	20.8	34.0	26.1
Fini [%]	4.4	7.2	5.3

## 6.2 Individuazione e descrizione delle unità geotecniche

Sulla base delle indagini eseguite, sono state riconosciute 2 unità geotecniche tipo in corrispondenza del Lotto 1; le unità vengono descritte e caratterizzate nel seguito. Per la loro caratterizzazione geotecnica si fa riferimento oltre che a quanto eseguito specificatamente per il Lotto 1, anche a quelle realizzate nell'intera tratta Collegno-Porta Nuova.

### 6.2.1 Unità 1: terreno superficiale

Rappresenta l'orizzonte superiore del profilo stratigrafico e si presenta con potenza variabile, lungo tutto il tracciato, da un minimo di 2m ad un massimo di 4m; nel Lotto in esame le indagini eseguite hanno messo in luce uno spessore massimo di circa 2m. Granulometricamente questa unità risulta composta da limi sabbioso-argillosi, limi, e limi argillosi, sabbie con ghiaie, inglobanti materiali derivanti da demolizioni quali frammenti di laterizi, calcestruzzo.

I campioni rimaneggiati prelevati, lungo l'intera tratta Collegno-Porta Nuova, in corrispondenza di tale unità presentano le seguenti caratteristiche fisiche:

Caratteristiche	Min.	Max.	Media
Ciottoli [%]	0.0	18.6	6.2
Ghiaia [%]	5.6	60.6	44.2
Sabbia [%]	20.8	42.7	30.2
Fine [%]	4.4	70.0	19.1
WL	23.8	32.5	29.8
WP	18.3	22.5	20.8
IP	5.4	11.2	9.0

Secondo la classificazione AASHO M 145-49 il materiale è compreso nell'intervallo di classi A1 fino A6 (gruppi da G, ghiaia, a C, argille inorganiche, secondo la classificazione USCS), a testimonianza della sua elevata eterogeneità.

### 6.2.2 Unità 2: ghiaie con sabbie da sciolte a debolmente cementate

Questo livello è caratterizzato da una distribuzione spaziale discontinua sia in senso orizzontale che verticale. Granulometricamente descritta da ghiaie e sabbie non cementate o debolmente cementate con presenza di ciottoli di dimensione pluridecimetrica (gruppo G della classificazione USCS ed A1 secondo la classificazione AASHOM14549), questa unità si ritrova lungo tutta l'estensione del Lotto direttamente al di sotto dell'unità 1.

Nei sondaggi l'unità è stata descritta in base alla presenza sui singoli clasti, di tracce di materiale fine cementato; a questa corrisponde, in base ai risultati delle diagrafie eseguite nei lotti adiacenti, un valore di  $E_s$  compreso tra 70 e 140MJ/m<sup>3</sup> ed una percentuale di cementazione compresa nell'intervallo 0-25%. Il valore medio di  $N_{spt}$  in questa unità è di 49, mentre il modulo di deformabilità derivante dalle prove di carico su piastra di grande diametro è maggiore di 200MPa circa. I campioni rimaneggiati prelevati, lungo l'intera tratta Collegno-Porta Nuova, in corrispondenza di tale unità indicano le seguenti caratteristiche fisiche:

Caratteristiche	Min.	Max.	Media
Ciottoli [%]	0.0	15.6	3.4
Ghiaia [%]	29.1	61.3	46.1
Sabbia [%]	27.3	58.3	37.4
Fine [%]	6.4	27.3	13.1
WL	12.9	29.0	19.3
WP	13.5	19.9	16.3
IP	0.2	9.1	3.2

## 7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per la caratterizzazione geotecnica dei materiali (cfr. Relazione Geotecnica del progetto definitivo MTL1T1A0DGE0GENR002) è stata adottata la metodologia utilizzata per tutta la tratta Collegno-Porta Nuova, e consistente in:

- elaborazione dei risultati delle indagini a disposizione per il riconoscimento, in termini generali, delle unità geotecniche lungo il tracciato;
- interpretazione dei parametri di perforazione a distruzione (in particolare dell'energia specifica), in termini di percentuale di cementazione che caratterizza ciascuna unità individuata. Tale interpretazione si basa su valori soglia dell'energia specifica, definiti da esperienze precedenti sui terreni di Torino (Passante Ferroviario-2° Lotto) e verificati dalla taratura ottenuta con il confronto tra le diagrafie di  $E_s$  e la stratigrafia dei pozzi praticabili;
- modellazione parametrica ad elementi finiti di prove di compressione monoassiale su campioni di materiale, variando opportunamente il grado globale di cementazione del campione tra 0% e 100%; a taratura del modello sono stati considerati i risultati delle prove eseguite in laboratorio e in sito;
- regressione dei risultati della modellazione ad elementi finiti per ricavare l'involuppo di rottura proprio dei terreni di Torino, secondo quanto suggerito dalla letteratura (*Papantonopoulos & D.K. Atmatzidis, 1993*) e per determinare i parametri di deformabilità, variabili in funzione della percentuale di cementazione. Gli involuppi di rottura individuati sono stati approssimanti a un criterio lineare in corrispondenza di due livelli tensionali rappresentativi;
- a verifica dell'attendibilità dei parametri geotecnici assegnati alle varie unità, è stata condotta una back-analysis mediante modellazione ad elementi finiti di una sezione trasversale all'asse delle gallerie della Cittadella.

Per ciascuna delle caratteristiche geotecniche elencate nel seguito viene fornito un campo di variabilità che tiene conto della possibile variabilità del parametro stesso.

L'elaborazione dei risultati di tutte le indagini a disposizione per il Lotto in esame conferma l'individuazione delle 2 unità geotecniche i cui parametri caratteristici di resistenza e di deformabilità sono riassunti in Tabella 7.1.

**Tabella 7.1** – Parametri di resistenza e deformabilità per le unità geotecniche

Unità e descrizione	C <sub>%</sub> (%)	Dr (%)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	E (MPa)	ν (-)	φ' (°)	c' (kPa)	σ <sub>n</sub> ' (MPa)
Unità 1: terreno superficiale (riporto e/o limo sabbioso argilloso)	Non applicabile	50-60	17-19	10-20	0.35	30-35	0	
Unità 2: ghiaie e sabbie da sciolte a debolmente cementate	0-25	50-70	18-21	150-170	0.30	36-37 35-37	0-10 0-15	0.15 0.30

dove:

- C%** : cementazione percentuale  
**Dr** : densità relativa  
 $\gamma$  : peso di volume unitario  
**E** : modulo di deformabilità  
 $\nu$  : coefficiente di Poisson  
 $\phi'$  : angolo di attrito  
 $c'$  : coesione apparente  
 $\sigma_n'$  : tensione normale sul piano di rottura

Per il coefficiente di spinta a riposo  $K_o$  è stata considerata l'espressione seguente, valida per terreni normal-consolidati (*Jacky, 1944*):

$$K_o \approx 1 - \tan \phi'$$

Per quanto attiene ai parametri di resistenza delle unità geotecniche sono riportati i valori istantanei, in funzione di valori delle tensioni  $\sigma_n'$  significativi, dei parametri di resistenza  $c'$  e  $\phi'$ , nonché del modulo di deformabilità  $E$ , valutato indipendentemente dallo stato tensionale.

Ipotizzando, a scopo esemplificativo, per lo scavo della linea una profondità media dell'ordine dei 15 m, un peso di volume di  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$  ed un coefficiente di spinta a riposo compreso tra 0.4 e 0.5, le tensioni naturali assumono valori pari a circa 0.30 e 0.15 MPa, rispettivamente, per la tensione verticale  $\sigma_v'$  e orizzontale  $\sigma_h'$ . Assumendo, dunque, per la tensione normale  $\sigma_n'$  un campo di variazione medio tra i limiti ipotizzati 0.15 e 0.30 MPa, nella Tabella 7.1 sono riportati i parametri di resistenza in termini di coesione  $c'$  e angolo di attrito  $\phi'$ , nonché di modulo di deformabilità  $E$ , per le unità geotecniche riconosciute lungo il tracciato del Lotto 1, ricordando che l'unità geotecnica 1 è costituita da terreno di riporto al quale si attribuiscono parametri di resistenza e deformabilità minimi, stimati mediante i valori  $N_{\text{SPT}}$  delle prove penetrometriche SPT.

I valori di coesione apparente riportati in tabella 7.1 sono stati calcolati ad una profondità media di 15m. Nel Lotto 1 la profondità media di interesse è di circa 7m e, conseguentemente, il valore di  $c'$  è da considerare, in via cautelativa, sui valori minimi (prossimo a 0).

## 8. PROBLEMATICHE DI SCAVO LEGATE ALLA NATURA DEL TERRENO

Nel Lotto 1 è prevista la realizzazione del complesso di opere descritte precedentemente.

### 8.1 Ciottoli e trovanti

Sistematicamente, durante l'esecuzione di sondaggi, diagrafie e pozzi geognostici, (i dati sono riferiti all'intero tracciato e non solo al Lotto 1) sono stati individuati ciottoli e trovanti in una percentuale massima pari al 36% del volume indagato.

In particolare su un campione prelevato nel pozzo P1, all'interno del Lotto 3, le litologie percentualmente più rappresentate sono, nell'ordine, peridotiti, serpentiniti, gabbri ed anfiboliti (65-70%), gneiss, micascisti e granodioriti (15-20%), quarziti (10-15%); solo in minima parte i ciottoli risultano alterati ed il fenomeno è particolarmente evidente sui ciottoli di gneiss e sulle peridotiti e generalmente ha inizio a partire dai 15m circa di profondità.

I ciottoli di maggiori dimensioni (dimensioni massime incontrate), risultano essere costituiti dal gruppo gneiss, micascisti e granodioriti ( $2.2\text{dm}^3$ ), seguiti dal gruppo delle Pietre Verdi ( $1.6\text{dm}^3$ ) e dalle quarziti ( $1.3\text{dm}^3$ ).

Sulla base dell'analisi di alcune sezioni sottili, i litotipi riconosciuti sono stati descritti come nel seguito illustrato:

Quarziti - quarzo in percentuale compresa tra 89-96%, feldspato potassico 2-9%, mica bianca 0-5% con valori di  $C_o$  (resistenza a compressione monoassiale) di 300MPa,  $T_o$  (resistenza a trazione) 9.7-12.8MPa, classe di abrasività (determinata con prova Cerchar) altamente abrasiva.

Serpentiniti - serpentino 70%, magnetite 30%; con valori di resistenza a compressione monoassiale nell'ordine di 240MPa, e resistenza a trazione compresa tra 14.5 e 18.7MPa.

Gneiss albitici - albite 60%, mica bianca 15%, quarzo 20%, valori di  $C_o$  (resistenza a compressione monoassiale) nell'ordine di 80MPa, classe di abrasività estremamente abrasiva.

I risultati completi delle analisi eseguite, in termini di sintesi delle caratteristiche di scavabilità, sono derivati da campioni significativi prelevati durante la realizzazione del pozzo P5 e vengono riportati nella Tabella 8.1 (Allegato).

Nella Tabella 8.2 vengono indicate le variazioni percentuali delle classi granulometriche, riferite alle varie unità, ricavate in base alle analisi eseguite lungo tutto il tracciato.

Per quanto riguarda i trovanti (volumi superiori a  $0.5\text{m}^3$ ) questi risultano, percentualmente, meno rappresentati, e sono stati incontrati indipendentemente dalla profondità e dall'unità di appartenenza.

**Tabella 8.2** –Variazione della composizione granulometrica nelle unità, ricavata dalle prove granulometriche eseguite lungo tutto il tracciato

	<i>Diametro</i>	<i>Unità 1</i>		<i>Unità 2</i>	
	mm	% min	% max	% min	% max
Ciottoli	>75	0.0	18.6	0.0	15.6
Ghiaia	4.75-75	5.6	60.6	29.1	61.3
Sabbia	0.075-4.75	20.8	42.6	27.3	58.3
Fini	<0.075	4.4	70.0	6.4	27.3

Dall'analisi delle Figure 8.1, 8.2 e 8.3 (Allegato) si osserva la distribuzione granulometrica ottenuta da campioni prelevati nei sondaggi (Figura 8.1) e nei pozzi (Figura 8.2).

Nel primo caso (campioni da sondaggi) la frazione fine risulta ben rappresentata mentre la frazione granulometrica >75mm, in relazione al tipo di campionamento, non compare. Viceversa, nei macrocampioni prelevati nei pozzi e quindi rappresentativi della frazione granulometrica più grossolana, la presenza di ciottoli e blocchi arriva fino al 25.6% (con un valore di 36.5% osservato nella campagna di indagini eseguita per il Passante Ferroviario).

In Figura 8.3 sono riportate le curve granulometriche relative ai campioni provenienti dai sondaggi e dai pozzi, realizzati lungo l'intera tratta da Collegno a Porta Nuova; le curve sono state distinte in base all'unità geotecnica riconosciuta per ogni campione. Si osserva che la distribuzione granulometrica per l'unità 1 presenta una discreta omogeneità.

## 8.2 Cementazione e/o addensamento

Il Lotto in esame si sviluppa attraverso le unità 1 e 2; per l'unità 2, in particolare, è stata riconosciuta una cementazione compresa tra 0 e 25%.

Il materiale che verrà interessato dalla realizzazione dell'opera si presenta dunque da sciolto a debolmente cementato. Sono da prevedere livelli e lenti di potenza metrica di ghiaie molto addensate con ciottoli e blocchi.

## 8.3 Presenza di lenti di sabbia

Nel Lotto in esame sono stati incontrati livelli di sabbia e sabbia limosa di estensione metrica e potenza decimetrica; una loro presenza è ipotizzabile in una percentuale del 20-25% circa del volume, con punte localmente più elevate.

## 8.4 Presenza di acqua

La situazione idrogeologica relativa al Lotto in questione mostra la profondità della falda superficiale intorno ai 47m dal piano campagna. Data la profondità dell'opera e la quota della falda superficiale, non si evidenziano problemi di interferenza tra lo scavo dell'opera e il deflusso sotterraneo dell'acqua di falda per tutto lo sviluppo del Lotto.

Vista la presenza di livelli limosi discontinui e di potenza non cartografabile, ubicati a profondità variabile nella zona non satura, è possibile la formazione di falde idriche sospese a limitata potenzialità, direttamente ricaricate dalle acque di infiltrazione meteorica che si esauriscono in breve tempo.

### **8.5 Presenza di gas**

Il terreno, allo stato naturale, non è sede di gas. Purtroppo, in relazione alla presenza di insediamenti industriali e depositi di carburante, è da tenere in conto la possibile presenza di sacche di gas, derivante da sversamenti accidentali e da inquinamenti industriali.

### **8.6 Zone inquinate (acqua e terreno)**

Valgono le considerazioni espresse per il paragrafo relativo alla presenza di gas; quindi sono da prevedere attraversamenti di terreni inquinati in prossimità di impianti distribuzione carburanti, attivi e/o dismessi, e insediamenti industriali. Le interferenze previste con la falda superficiale sono assenti e per tale ragione si considera che le caratteristiche della falda non verranno variate.

### **8.7 Zone disturbate, presenza di cavità**

Allo stato naturale il terreno del Lotto 1 risulta ben addensato e non sono state individuate cavità di alcun tipo. Possibili zone in cui le caratteristiche di addensamento sono state mutate sono da prevedere, essenzialmente in corrispondenza di:

- sottoservizi (quali principalmente condotte fognarie o acquedotti, serbatoi di impianti di distribuzione carburanti) e canalizzazioni storiche e/o abbandonate;
- zone colpite da bombardamenti: danni di guerra.

### **8.8 Danni di guerra**

A quest'ultimo proposito, si ricorda che l'area interessata dal Lotto 1 si sviluppa al margine di zone che furono oggetto, durante la Seconda Guerra Mondiale, di intensi bombardamenti.

Sono quindi possibile interferenza con:

- zone in cui le caratteristiche del terreno risultano variate;
- zone in cui si hanno riempimenti con resti di demolizioni, delle cavità generatesi per l'esplosione degli ordigni.

E' infine da segnalare la possibile eventuale presenza di ordigni bellici inesplosi; per questa eventualità è necessaria la bonifica bellica prima di procedere con ogni opera di scavo.

### **8.9 Presenza di reperti archeologici**

Sulla base delle indagini esperite, non sono risultati resti di rilevanza archeologica. E' necessario tuttavia, come concordato con la Soprintendenza Archeologica del Piemonte, che l'esecuzione degli scavi superficiali a cielo aperto dello strato di riporto avvenga sotto il controllo di operatori archeologi. Nel caso in cui nel corso delle operazioni di scavo si riscontrasse la presenza di reperti archeologici, lo scavo dovrà essere completato da una Ditta specializzata in scavi archeologici.

## **9. NORMATIVA**

D.M. 11 marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e successive istruzioni;

Circolare ANAS, relativa al D.M. 11/3/1988;

Legge Quadro sui Lavori Pubblici n. 109 (Legge Merloni);

D.L. 25/11/1962 n. 1684, e successive modifiche ed integrazioni

**10. BIBLIOGRAFIA**

- BARLA G., MACCHI A., CAVALLERO G., PEDEMONTE S.: *“Il Nodo di Torino. Geologia e geotecnica: misure in corso d’opera”*. Ass.Geot.It. Atti XVIII Conv. Naz. Rimini 1993
- BARLA G., MACCHI A., MATTALIA C., RABAGLIATI U.: *“Mathematical modelling and performance monitoring for the Corso Vittorio Emanuele II underpass in Turin”*. FMGM 95 4<sup>th</sup> Int. Symp, Bergamo, 1995.
- 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 1999.
- BONSIGNORE G., BORTOLAMI G., ELTER G., MONTRASIO A., PETRUCCI F., RAGNI U., SACCHI R., STURANI C. E ZANELLA E.: *“Note illustrative della Carta Geologica d’Italia”* fogli 56 e 57 (TorinoVercelli). Servizio Geologico d’Italia, Roma, 1969.
- BORTOLAMI G., DE LUCA D., FILIPPINI G.: *“Le acque sotterranee della pianura di Torino. Aspetti e problemi”*. Provincia di Torino, Assessorato Ecologia, 1990.
- BOTTINO G., CIVITA M.: *“A computer semi-quantitative model for microzonation of hazard from interconnection of engineering-geological features and urban sub-service network”* 5th International IAEG Congress, Buenos Aires, 1986, pp. 1731-1740
- BOTTINO G., CIVITA M.: *“Engineering geological features and mapping of subsurface in the metropolitan area of Turin, North Italy”*. 5th International IAEG Congress, Buenos Aires, 1986, pp. 1741-1753
- FRANCERI E., BORTOLAMI G., RICCI B.: *“Lineamenti geoidrologici della provincia di Torino con riferimento allo stato idrogeochimico delle falde del sottosuolo dell’area ecologico torinese”*. Provincia di Torino – Assessorato Ecologia. Marzo 1980.

**ALLEGATO ALLA RELAZIONE GEOTECNICA  
DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALLE INDAGINI**