

SATTI
S.p.A. TORINESE TRASPORTI INTERCOMUNALI TORINO

METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 1
TRATTA FUNZIONALE COLLEGNO – TORINO PORTA NUOVA
GALLERIA ARTIFICIALE – TRATTA DEPOSITO - FERMI
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. S Xu | | Ing. P.Grasso | | 15/07/2000 |
| a | | | | | | | |
| b | | | | | | | |
| c | | | | | | | |

INDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | INTRODUZIONE | 1 |
| 2. | STUDIO GEOLOGICO | 2 |
| 2.1 | Aspetti geologico-morfologici..... | 2 |
| 2.2 | La cementazione dei depositi quaternari | 2 |
| 2.3 | Inquadramento idrogeologico | 3 |
| 2.4 | Condizioni di deflusso della falda superficiale..... | 3 |
| 2.5 | Presenza di altri fluidi..... | 5 |
| 2.6 | Caratteri sismici | 5 |
| 3. | QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE | 6 |
| 3.1 | Geologia e Geomorfologia | 6 |
| 3.2 | Idrogeologia..... | 6 |
| 3.3 | Indagini esistenti..... | 7 |
| 3.4 | Indagini per il progetto definitivo..... | 7 |
| 3.5 | Indagini in sito | 7 |
| 3.6 | Prove di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica | 8 |
| 3.7 | Prove di laboratorio per la scelta del metodo di scavo | 8 |
| 4. | RISULTATI DELLE INDAGINI E INDIVIDUAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE | 10 |
| 4.1 | Considerazioni preliminari | 10 |
| 4.2 | Individuazione e descrizione delle unità geotecniche | 10 |
| 4.2.1 | Unità 1: terreno superficiale..... | 10 |
| 4.2.2 | Unità 2: ghiaie con sabbie da sciolte a debolmente cementate | 10 |
| 4.2.3 | Unità 3: ghiaie con sabbie con cementazione da debole a media | 11 |
| 5. | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA..... | 12 |
| 6. | MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO..... | 14 |
| 6.1 | Zonazione geotecnica | 14 |
| 6.2 | Affidabilità del modello..... | 14 |
| 7. | PROBLEMATICHE DI SCAVO LEGATE ALLA NATURA DEL TERRENO..... | 16 |
| 7.1 | Ciottoli e trovanti..... | 16 |
| 7.2 | Cementazione e/o addensamento..... | 17 |
| 7.3 | Presenza di lenti di sabbia..... | 17 |
| 7.4 | Presenza di acqua..... | 17 |
| 7.5 | Presenza di gas..... | 17 |
| 7.6 | Zone inquinate (acqua e terreno) | 17 |
| 7.7 | Zone disturbate, presenza di cavità..... | 18 |
| 7.8 | Presenza di reperti archeologici..... | 18 |
| 8. | NORMATIVA..... | 19 |
| 9. | BIBLIOGRAFIA | 20 |

1. INTRODUZIONE

Questa relazione illustra in sintesi, congiuntamente alla tavola del profilo geologico-geotecnico, la caratterizzazione delle diverse unità geotecniche riconosciute e discretizzate lungo il tracciato del lotto 2.

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 normalmente 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. tratta eseguita a cielo aperto, corrispondente al lotto 2 in esame, che si sviluppa nel Comune di Collegno, lungo via Fratelli Cervi e via De Amicis, tra il Deposito/Officina e la Stazione Fermi;
2. tratta eseguita a foro cieco, dalla stazione Fermi fino alla stazione di Porta Nuova.

2. STUDIO GEOLOGICO

2.1 Aspetti geologico-morfologici

Il territorio comunale di Torino si estende per circa l'80% 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; la restante parte del territorio è costituita dai rilievi collinari posti a est del fiume Po. L'area urbana presenta una debole pendenza procedendo da ovest verso est, passando da 260-270 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 il territorio comunale. 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 una cinquantina di metri 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 del sottosuolo di Torino 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 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.

2.2 La cementazione dei depositi quaternari

Il sottosuolo di Torino, 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_3 disciolto), che alimenta la falda nei periodi di maggior portata. Quando le acque della falda superficiale, cariche di carbonati, si mischiano 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_2 , che combinandosi con l'acqua produce acido carbonico (H_2CO_3) 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 sopraccitati 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.

2.3 Inquadramento idrogeologico

Con riferimento all'assetto litostratigrafico per i primi 150-200m, il sottosuolo di Torino 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-limosa), 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; la sua base è rappresentata da uno strato di argille presente, a seconda delle zone, a circa 150-200 m dal piano campagna.

2.4 Condizioni di deflusso della falda superficiale

La carta delle curve isopiezometriche riferite alle misure del periodo febbraio-marzo 2000 mostra un andamento della superficie piezometrica piuttosto regolare, con gradiente medio pari a circa 3.5×10^{-3} , e direzione di flusso orientata da ovest verso est; lo stesso gradiente aumenta nel settore orientale, in vicinanza del Po, e mostra valori pari a circa 1.0×10^{-2} . 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.

Il confronto con la situazione relativa al giugno 1995, nonostante la restituzione delle curve isopiezometriche si basi su un minor numero di punti di misura (circa 50 tra piezometri e

pozzi) e copra inoltre un'area più limitata di quella attualmente oggetto di studio, evidenzia una situazione di deflusso sotterraneo decisamente simile, dalla quale si possono ricavare le seguenti considerazioni:

- l'andamento della superficie piezometrica appare regolare e confrontabile per entrambe le campagne di misura;
- i gradienti sono decisamente simili, così come le direzioni generali di flusso delle acque sotterranee, le zone di drenaggio e/o di alimentazione;
- appare evidente come la superficie piezometrica definita in base ai dati del febbraio-marzo 2000 abbia subito un abbassamento di circa 1-2 m rispetto a quella relativa al 1995. In particolare, le differenze sono evidenti nelle zone di Piazza Bernini (229 m nel 1995 rispetto ai 227 m nel 2000), Porta Susa (226 m nel 1995 e 225 nel 2000) e Porta Nuova (221 m nel 1995 rispetto ai 220 m nel 2000).

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

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 stata indicata la classe K4, fatta eccezione per la tratta compresa tra le progressive 7+100 km a 8+250 km, dove l'estesa presenza di cementazione dei depositi porta alla locale diminuzione della permeabilità verso i valori della classe K2.

In merito alla possibile variazione del livello di falda nel tempo si possono fare le seguenti considerazioni:

- l'escursione annuale è dell'ordine di 1m, per quanto riguarda la zona di interferenza. Il trend annuale mostra un minimo ad agosto-settembre ed un massimo a gennaio-febbraio;
- il valore attuale risente delle scarse precipitazioni dell'annata in corso, mentre il 1999 (918mm, dato della stazione presso l'Ufficio Idrografico) ha registrato valori di poco superiori alla media (836mm calcolata nel periodo 1913-1999);
- i valori del 1995 sono conseguenti ad un periodo particolarmente umido, dato che nel 1994 le precipitazioni sono state pari a 1195 mm.

Nell'ambito della progettazione di altre opere in sottterraneo presenti nel territorio comunale, si è tentato in passato di calcolare il trend evolutivo della falda partendo dai dati storici riferiti a due pozzi per acqua costruiti in epoca ottocentesca nella zona di Porta Susa, che indicavano il livello della superficie piezometrica a circa 230m s.l.m. Il calcolo dell'andamento evolutivo della falda è stato impostato considerando le misure piezometriche effettuate negli anni 1962-64, 1979, 1982, 1987, 1991, 1995.

Il progressivo decentramento degli insediamenti industriali dal territorio urbano e la conseguente chiusura dei pozzi usati a scopo industriale, agli inizi degli anni '80 ha

determinato un innalzamento della piezometrica che, sulla base dei dati disponibili, avrebbe dovuto coincidere, nel 2010, con la quota dei pozzi ottocenteschi (230m s.l.m.)

I dati piezometrici riferiti al febbraio-marzo 2000, contrariamente a quanto previsto sulla base dell'andamento evolutivo della falda, mostrano un abbassamento della superficie piezometrica rispetto alle misure effettuate nel 1995, indicando probabilmente una stabilizzazione generalizzata delle condizioni piezometriche in ambito urbano.

Infine, considerando che il livello massimo teorico di risalita della falda possa coincidere con quello storico dei pozzi ottocenteschi, e nell'ipotesi che l'andamento della superficie piezometrica (geometria delle curve isopieze) si mantenga simile nel tempo variando unicamente la quota, si potrebbe presupporre un potenziale innalzamento della falda di circa 3.5-4m rispetto al livello del 1995 e di circa 4-5m rispetto al livello attuale.

Questa indicazione è comunque da ritenersi cautelativa in ragione delle mutate condizioni del territorio comunale (impermeabilizzazione per la estensione del territorio urbano), dove la quasi totalità delle precipitazioni viene intercettata e convogliata nella rete di scarico a scapito della ricarica degli acquiferi.

2.5 Presenza di altri fluidi

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

E' invece da segnalare la possibile presenza, soprattutto nella zona di Collegno e lungo tutto Corso Francia, di accumuli di gas generati da percolazione nel terreno di idrocarburi e solventi clorurati, provenienti dalla concentrazione di 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.

2.6 Caratteri sismici

Il territorio comunale della città di Torino non è inserito nell'elenco delle località sismiche di prima e seconda categoria (elenco allegato alla legge 25/11/1962 n. 1684 aggiornato ed integrato fino al D.M. 14/7/1984) dunque non è sottoposto a particolari provvedimenti o restrizioni riguardanti la costruzione di opere o manufatti.

3. QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE

Il tracciato del 2° lotto si sviluppa per 750m circa, interamente nel Comune di Collegno, in galleria a cielo aperto, dalla zona Deposito fino alla stazione Fermi esclusa.

Il tracciato si dispone, oltre il limite dello scatolare scoperto previsto nel lotto 1, in galleria artificiale dalla prog. 0+160.000m, quota progetto di 294m sml, quota terreno 292.6 m slm fino a Corso Fratelli Cervi, quindi, con una curva, si porta in via De Amicis percorrendola fino alla stazione Fermi (prog. 0+912,089m, quota progetto 277m slm, quota terreno 289m sml), attraverso una zona popolata sia da insediamenti industriali che, in misura secondaria, abitativi.

Nel lotto, oltre alla galleria a cielo aperto, è presente una serie di opere accessorie:

- camino di ventilazione;
- pozzo di aggotamento;
- manufatto speciale per il futuro prolungamento verso Rivoli;
- spostamento dei sottoservizi, in particolare condotte fognarie profonde (8-10m da p.c.) e sifone stazione Fermi (lotto 3) che interferisce nella sua deviazione con il lotto in oggetto.

3.1 Geologia e Geomorfologia

La ricostruzione dell'andamento dei principali livelli litologici riconosciuti è stata realizzata utilizzando informazioni derivanti dalle indagini eseguite appositamente per il progetto e da altre indagini (pozzi) archiviate e messe a disposizione dal Comune di Collegno, entro il cui ambito si sviluppa il lotto in oggetto.

Sostanzialmente la galleria artificiale si svilupperà attraverso depositi fluvioglaciali e fluviali Rissiani costituiti da ghiaie, ciottoli e sabbie in matrice limosa. Localmente sono presenti livelli di ciottoli o sabbie privi di matrice fine e blocchi. La continuità laterale di questi livelli è altamente discontinua e variabile.

Più dettagliatamente l'opera si troverà ad attraversare depositi ghiaiosi con ciottoli e sabbie in matrice limosa, caratterizzati da livelli con cementazione variabile da assente a media.

I ciottoli campionati durante l'esecuzione dei sondaggi risultano sostanzialmente composti da quarziti, gneiss, serpentiniti e metagabbri e raramente presentano un'alterazione tale da comprometterne la struttura. La forma varia da sub-arrotondata ad arrotondata. Le dimensioni sono variabili da pochi centimetri fino a un massimo osservato di 50cm di diametro. Il diametro di 15-20cm è quello maggiormente osservato; sono inoltre presenti livelli di ciottoli privi di matrice sabbioso limosa fine. La locale presenza di concrezioni di calcite e cemento calcareo prevalentemente sulla parte superiore dei ciottoli, avvalorata l'ipotesi che vede la cementazione legata al fenomeno della percolazione delle acque di infiltrazione (zona non satura).

3.2 Idrogeologia

La situazione idrogeologica relativa al lotto in questione mostra la profondità della falda superficiale variabile dai 44 a 45m dal piano campagna. La direzione di deflusso sotterraneo, come evidenziata dalla carta delle isopiezometriche relativa alla campagna di misure febbraio-marzo 2000, è orientata da ovest a est (N100E) e mostra un gradiente medio di 0.5%. Dai dati

acquisiti durante la campagna geognostica e dall'analisi dei dati bibliografici si può attribuire la classe di permeabilità K3 (AFTES, 1992) ai terreni interessati dallo sviluppo dell'opera.

Data la quota di progetto 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.

3.3 Indagini esistenti

Al momento della redazione del progetto definitivo, prima ed esecutivo quindi, non sono state reperite indagini pregresse.

3.4 Indagini per il progetto definitivo

Le indagini eseguite nel periodo dicembre 1999-aprile 2000, articolate nelle diverse metodologie descritte nel seguito, hanno consentito di acquisire informazioni omogeneamente rappresentative, in termini di quantità e qualità del dato.

Sono stati, in tal modo, perseguiti i seguenti obiettivi:

- affinamento del grado di conoscenza dei terreni in termini di ricostruzione della sequenza litostratigrafica e individuazione delle unità geotecniche (con particolare riferimento a grado di cementazione dei livelli cementati e loro disposizione spaziale);
- verifica della situazione idrogeologica e delle caratteristiche della falda (posizione attuale, permeabilità).
- caratterizzazione geotecnica dei terreni con determinazione dei parametri fisici e meccanici (deformabilità e resistenza) da utilizzare nelle analisi progettuali;
- valutazione degli stessi terreni in rapporto alla scelta delle tecnologie di scavo da adottare.

3.5 Indagini in sito

Le indagini in sito, eseguite nel periodo dicembre 1999-aprile 2000, sono le seguenti:

- 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, aventi diametro di 101 mm e profondità comprese tra 20m a 30m, con esecuzione di prove penetrometriche in foro (Standard Penetration Test) ogni 3m, esecuzione di 2 prove Lefranc ed installazione di 2 piezometri a tubo aperto;
- 1 sondaggio geognostico a distruzione di nucleo con registrazione in continuo dei parametri di perforazione (diagrafia), profondità 15m, con installazione di un piezometro del tipo a tubo aperto per il monitoraggio della eventuale falda;

In tabella 3.1 sono mostrati i dati sintetici delle indagini eseguite, con i risultati della misura della profondità della falda e l'indicazione delle prove effettuate e dei campioni prelevati.

Tabella 3.1 – Indagini in sito eseguite nel periodo dicembre 1999 - aprile 2000

| Codice Sondaggio | Tipologia Indagine | Prof. (m) | N _{SPT} (n° prove) | Profondità Falda (m) | Campioni Rimaneg. | Strument. in foro | Prova Lefranc (n°) |
|------------------|--------------------|-----------|-----------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| D1 | Diagrafia | 15 | - | Assente | - | p.t.a. | - |
| S2 | Sondaggio | 30 | 10 | Assente | 9 | p.t.a. | 22,0m-22,5m |
| S3 | Sondaggio | 20 | 6 | Assente | 6 | p.t.a. | 15,0m-15,5m |

p.t.a.: piezometro a tubo aperto

D: diagrafia

S: sondaggio

Per quanto riguarda l'ubicazione planimetrica dei punti d'indagine si rimanda alla tavola "Ubicazione delle indagini" (MTL1T1A2EGEOGARS001).

3.6 Prove di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica

Sui campioni prelevati durante l'esecuzione delle indagini in sito prelevate nell'adiacente lotto 1, sono state eseguite prove di laboratorio e prove in sito, relative a determinazioni del contenuto d'acqua e delle curve granulometriche.

In particolare sono stati utilizzati i risultati di:

5 pozzetti esplorativi eseguiti nell'adiacente lotto 1;

5 prove di carico su piastra eseguite all'interno di pozzetti geognostici;

4 analisi granulometriche eseguite su campioni prelevati nel corso dei sondaggi e dei pozzetti geognostici.

3.7 Prove di laboratorio per la scelta del metodo di scavo

Al fine di caratterizzare i terreni per una corretta individuazione delle tecnologie di scavo e della relativa progettazione di dettaglio sono state eseguite prove di laboratorio mirate alla determinazione delle caratteristiche mineralogiche e petrografiche, di abrasività, di durezza e perforabilità e di resistenza meccanica. Le prove sono state eseguite su campioni prelevati nei pozzi P1, P2, P5 e P7. La valenza di tali prove è comunque effettiva per il lotto in oggetto riferita alla discretizzazione lungo il tracciato secondo le unità geotecniche riconosciute. In particolare sono stati utilizzati i risultati di:

- sezioni sottili;
- prove Cone Indenter;
- prove Cerchar;
- prove Sievers;
- prove Drop Test.

In tabella 3.2 viene fornita una sintesi delle tipologie e dello scopo delle prove di laboratorio eseguite.

Tabella 3.2: Tipologia e scopo delle prove di laboratorio per la scelta dei metodi di scavo

| PROVE DI LABORATORIO | | |
|-----------------------------|---|---|
| | Tipologia | Scopo |
| 1 | VAGLIATURA DI MACROCAMPIONI | Classificazione completa e dettagliata descrizione della parte ciottolosa. Determinazione del Dmax e determinazione del passante al setaccio di 75µm |
| 2 | PROVE DI ABRASIVITA' (Cerchar) | Determinazione dell'abrasività dei ciottoli in funzione della valutazione del consumo degli utensili e delle prestazioni di scavo |
| 3 | PROVE DI DUREZZA E PERFORABILITA' (Cone Indenter NCB, Sievers, Drop Test) | Determinazione della durezza e perforabilità dei ciottoli in funzione della valutazione della disposizione degli utensili sulla testa di scavo, del consumo degli utensili e delle prestazioni di scavo |
| 4 | ANALISI MINERALOGICHE E PETROGRAFICHE (Sezioni sottili) | Determinazione composizione mineralogica, tessitura e struttura intrinseca; classificazione litologica dei ciottoli in funzione della valutazione del consumo degli utensili e delle prestazioni di scavo |

4. RISULTATI DELLE INDAGINI E INDIVIDUAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE

4.1 Considerazioni preliminari

La principale caratteristica del materiale componente il sottosuolo della città di Torino è data dalla presenza di lenti e livelli a differente grado e diffusione di cementazione.

In particolare, da quanto è stato possibile osservare direttamente, soprattutto nei pozzi ispezionabili realizzati in altri lotti, la cementazione si presenta in livelli di spessore da centimetrico a decimetrico, cui sono intercalati livelli sciolti di varia potenza. Ne risulta, conseguentemente, un insieme omogeneo a grande scala che, nel dettaglio, è costituito da alternanze ripetute di materiali a diverso grado di cementazione.

4.2 Individuazione e descrizione delle unità geotecniche

Sulla base delle indagini descritte sono state riconosciute tre unità geotecniche tipo in corrispondenza del lotto 2; le unità vengono descritte e caratterizzate nel seguito.

4.2.1 Unità 1: terreno superficiale

Rappresenta l'orizzonte superiore del profilo stratigrafico e si presenta con potenza variabile da un minimo di 2m ad un massimo di 4m. Questa unità è stata ritrovata in tutte le verticali di indagine. Granulometricamente 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 in corrispondenza di tale unità presentano le seguenti caratteristiche fisiche:

| Caratteristiche | Media | Min. | Max. |
|-----------------|-------|------|------|
| Ciottoli [%] | 2.5 | 0.00 | 7.8 |
| Ghiaia [%] | 38.2 | 5.6 | 58.4 |
| Sabbia [%] | 35.0 | 24.3 | 42.6 |
| Fine [%] | 24.7 | 7.5 | 70.0 |
| WL | 29.2 | 23.7 | 32.5 |
| WP | 20.5 | 18.3 | 22.5 |
| IP | 8.7 | 5.4 | 11.6 |

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.

4.2.2 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 locale presenza di ciottoli di dimensione pluridecimetrica, questa unità si ritrova nel tratto finale al di sotto dell'unità 3, caratterizzata da maggiore cementazione e/o addensamento.

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, un valore di Es compreso tra 70 e 140MJ/m³ ed una percentuale di cementazione compresa nell'intervallo

0-25%. Questo livello ha spessori massimi rilevati nell'estesa del lotto in corrispondenza alla verticale S3, di 10m circa.

I campioni rimaneggiati prelevati in corrispondenza di tale unità indicano le seguenti caratteristiche fisiche:

| Caratteristiche | Media | Dev. Stand. | Min. | Max. |
|--------------------|-------|-------------|------|------|
| W _n [%] | 5.7 | 1.5 | 4.6 | 7.4 |
| Ciottoli [%] | 3.4 | 3.9 | 0.00 | 15.6 |
| Ghiaia [%] | 46.1 | 7.7 | 29.1 | 61.3 |
| Sabbia [%] | 37.4 | 6.0 | 27.3 | 58.3 |
| Fine [%] | 13.2 | 4.4 | 6.4 | 27.3 |
| WL | 19.3 | 3.2 | 12.9 | 29.0 |
| WP | 16.3 | 1.5 | 13.5 | 19.9 |
| IP | 3.3 | 2.1 | 0.2 | 9.1 |

4.2.3 Unità 3: ghiaie con sabbie con cementazione da debole a media

Questa unità è presente lungo la maggior parte del lotto, inferiormente all'unità 1 e con spessore massimo determinato di 27m circa misurati nel sondaggio S2.

L'unità è stata definita in base alla presenza di una patina carbonatica diffusa sui clasti rilevata nei sondaggi mentre nelle diagrafie viene segnalata da valori di Es compresi nell'intervallo 140-210MJ/m³ (cementazione in tracce-diffusa), cui corrisponde una percentuale di cementazione C% tra 25 e 50%.

Granulometricamente sono presenti ghiaie e sabbie con livelli più francamente limoso sabbiosi. E' da segnalare la presenza di trovanti inglobati nella massa più francamente ghiaiosa.

I campioni rimaneggiati prelevati in corrispondenza di tale unità indicano le seguenti caratteristiche fisiche:

| Caratteristiche | Media | Dev. Stand. | Min. | Max. |
|--------------------|-------|-------------|------|------|
| W _n [%] | 6.1 | 2.6 | 1.7 | 2.6 |
| Ciottoli [%] | - | - | - | - |
| Ghiaia [%] | 40.3 | 11.8 | 22.9 | 67.9 |
| Sabbia [%] | 38.1 | 6.4 | 24.4 | 49.5 |
| Fine [%] | 21.6 | 6.8 | 7.7 | 21.3 |
| WL | 17.6 | 5.0 | 8.9 | 21.7 |
| WP | 11.8 | - | - | - |
| IP | 6.8 | - | - | - |

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base dei risultati delle indagini svolte, presentati nel precedente capitolo, è stata condotta la caratterizzazione geotecnica delle unità riconosciute ed individuate lungo il tracciato del lotto 2, definendo per ciascuna di queste i criteri di resistenza ed i parametri connessi, nonché le caratteristiche di deformabilità.

Tabella 5.1 - Parametri di resistenza e deformabilità per le unità geotecniche

| Unità e descrizione | C% (%) | Dr (%) | γ (kN/m ³) | E (MPa) | ν' | ϕ' (°) | c' (kPa) | σ_n' |
|--|-----------|-----------|----------------------------------|------------|--------|----------------|----------------|--------------|
| Unità 1: terreno superficiale (riporto e/o limo sabbioso argilloso) | | 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 |
| Unità 3: ghiaie e sabbie con cementazione da debole a media | 25-50 | 60-80 | 19-22 | 170-200 | 0,30 | 36-40 35-37 | 10-25 15-40 | 0.15 0.30 |

dove:

C% : cementazione percentuale

Dr : densità relativa

γ : peso di volume unitario

E : modulo di deformabilità

ν' : coefficiente di Poisson

ϕ' : angolo di attrito

c' : coesione apparente

σ_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*):

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

Per quanto attiene i parametri di resistenza e deformabilità delle unità geotecniche sono riportati i valori istantanei, in funzione delle tensioni σ_3 e σ_n , dei parametri di resistenza c e ϕ , nonché del modulo di deformabilità E_d , valutato indipendentemente dallo stato tensionale.

Per la definizione dei parametri che caratterizzano la resistenza al taglio del terreno, si è fatto riferimento ad un criterio di rottura non lineare che si è deciso di approssimare ad un criterio lineare in corrispondenza a due livelli tensionali rappresentativi.

Ipotizzando, a scopo esemplificativo, per lo scavo della linea una profondità media dell'ordine dei 15 m, un peso di volume di $\gamma = 20$ kN/m³ 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 σ_v e orizzontale σ_h . Assumendo, dunque, per la tensione normale σ_n un campo di variazione medio tra i limiti ipotizzati 0.15 e 0.30 MPa, nella Tabella 5.1 sono riportati i parametri di resistenza in termini di coesione c e angolo di attrito ϕ , nonché di deformabilità E_d , per le unità geotecniche riconosciute lungo il tracciato del lotto 2, 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_{SPT} delle prove penetrometriche SPT.

6. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

6.1 Zonazione geotecnica

La definizione delle unità geotecniche e la loro caratterizzazione, in termini di caratteristiche fisiche e parametri di deformabilità e resistenza, ha condotto alla discretizzazione del tracciato in corrispondenza del lotto 2.

Inizialmente, nel tratto compreso tra la progr.0m e la progr.350m, il tracciato si sviluppa attraverso le unità 1 e 2. La potenza dell'unità 1, che raggiunge i 4m in corrispondenza della diagrafia D1, tende a diminuire man mano che ci si sposta verso progressive crescenti. Dalla progr.350m sino alla progr.840m l'opera si sviluppa attraverso le unità 1 e 3. Il materiale osservato durante l'esecuzione delle indagini è costituito prevalentemente da ghiaie e sabbie ben addensate, con una presenza di fine intorno al 20%. Dall'esame del materiale estratto con la perforazione S2, in corrispondenza alla progr.625m circa, sono stati rilevati ciottoli con diametro maggiore di 10cm a diverse profondità, come è messo in luce nel profilo geotecnico.

Nell'ultima parte del tracciato, prima di arrivare alla stazione Fermi, la galleria artificiale attraverserà le unità 3 e 2. L'unità 3 è costituita da ghiaie e sabbie con cementazione da debole a media, l'unità 2 è invece caratterizzata da un livello di cementazione inferiore (da nulla a debole).

Relativamente alla scavabilità dell'unità 3 si osserva che la percentuale di energia specifica maggiore del limite di scavabilità risulta statisticamente significativa; l'analisi dei dati relativi alla diagrafia D1 evidenzia infatti, nei primi 15m, livelli di spessore metrico con percentuali di energia specifica maggiori del limite di scavabilità (cfr. Allegato indagini in sito).

La falda superficiale si ritrova ad una quota di 245m slm (-45m circa da p.c.), non è dunque ipotizzabile un'interferenza con l'opera.

Campioni prelevati nei 5 pozzetti eseguiti nell'adiacente area del Deposito (prospiciente il lotto 2), hanno consentito di ricavare curve granulometriche integrali (compresa la frazione più grossolana costituita da ciottoli) che, mediamente, hanno fornito le seguenti indicazioni:

| | Media | Min. | Max. |
|--------------|-------|------|------|
| Ciottoli [%] | 13 | 7 | 19 |
| Ghiaia [%] | 56 | 48 | 61 |
| Sabbia [%] | 26 | 21 | 34 |
| Fine [%] | 5 | 4 | 7 |

6.2 Affidabilità del modello

Per la stima del grado di affidabilità delle indagini, esteso di conseguenza indirettamente al modello geotecnico precedentemente descritto, si è fatto ricorso ai criteri dettati dalla Fuzzy Logic.

Il concetto di Fuzzy Logic si basa sull'assunto che due condizioni opposte (vero o falso), possono essere verificate entrambe nello stesso momento, in differente misura, in relazione ad una transizione graduale da una classe di appartenenza all'altra. Il metodo della Fuzzy Logic permette di affrontare il grado di incertezza come un'estensione del concetto di intervallo di confidenza: invece di considerare l'intervallo di confidenza ad unico livello, lo si considera a tutti i livelli compresi tra 0 e 1, laddove 0 è la non appartenenza ad una classe ed 1 rappresenta il 100% dell'appartenenza.

Nella valutazione dell'affidabilità dei dati relativi al caso in esame, gli intervalli di confidenza sono rappresentati dai gradi di cementazione, e i dati esaminati e discretizzati secondo i criteri delle "Fuzzy arithmetic" sono l'energia specifica, E_s , il numero di colpi N_{spt} , e la descrizione stratigrafica.

Il valore del grado di affidabilità delle singole verticali di indagine è espresso da definizioni qualitative che sono riportate, per ogni punto di indagine, nell'allegato indagini in sito.

7.PROBLEMATICHE DI SCAVO LEGATE ALLA NATURA DEL TERRENO

Nel lotto 2 è prevista la realizzazione di una galleria artificiale scavata tra paratie.

Le problematiche di scavo sono quindi principalmente collegate alla scavabilità del materiale in relazione al grado di addensamento ed alla percentuale di materiale cementato presente. Vengono comunque affrontati anche altri aspetti caratteristici del terreno che possono originare ulteriori problemi.

7.1 Ciottoli e trovanti

Sistematicamente, durante l'esecuzione di sondaggi, diagrafie, pozzi geognostici e pozzetti esplorativi (queste ultime due tipologie di indagine riferite agli adiacenti lotti 1 e 3), sono stati individuati ciottoli e trovanti in una percentuale massima pari al 25% del volume indagato (vedi figura 7.1).

In particolare su un campione prelevato nel pozzo P1, 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 (2,2dm³), seguiti dal gruppo delle Pietre Verdi (1,6dm³) e dalle quarziti (1,3dm³).

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 Co (resistenza a compressione monoassiale) di 300MPa, To (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 Co (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 riportati nella tabella 7.1.

Nella tabella 7.2 vengono indicate le variazioni percentuali delle classi granulometriche, riferite alle varie unità, ricavate in base alle analisi eseguite lungo tutto il tracciato. In corrispondenza dell'unità 2 non sono stati prelevati macrocampioni.

Per quanto riguarda i trovanti (volumi superiori a 0,5m³) questi risultano, percentualmente, meno rappresentati, e sono stati incontrati indipendentemente dalla profondità e dall'unità di appartenenza.

Tabella 7.2 –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> | | <i>Unità 3</i> | |
|----------|-----------------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|
| | Mm | %min | %max | %min | %max | %min | %max |
| Ciottoli | >75mm | 7 | 25 | - | - | 0 | 13 |
| Ghiaia | 4.75-75 | 43 | 61 | 35 | 53 | 23 | 68 |
| Sabbia | 0.075-4.75 | 21 | 34 | 35 | 38 | 24 | 49 |
| Fini | <0.075 | 4 | 7 | 12 | 27 | 2 | 31 |

7.2 Cementazione e/o addensamento

Il lotto in esame si sviluppa prevalentemente attraverso l'unità 3, fatta eccezione per il tratto terminale di un centinaio di metri circa, in cui si ha presenza contemporanea di unità 3 e 2.

Per le due unità menzionate sono state riconosciute diverse percentuali di cementazione:

- unità 2 cementazione compresa tra 0 e 25%
- unità 3 cementazione compresa tra 25 e 50%

Il materiale che verrà interessato dalla realizzazione della galleria artificiale si presenta dunque, secondo la descrizione resa nel profilo geotecnico e nella relazione geotecnica, da sciolto a mediamente cementato, con una netta prevalenza di quest'ultimo termine.

Inoltre, come evidenziato dal sondaggio S2 e dal pozzo P1, realizzato nell'adiacente lotto 3, sono da prevedere livelli di potenza metrica di ghiaie molto addensate con ciottoli.

7.3 Presenza di lenti di sabbia

Nel lotto in esame non sono stati incontrati livelli di sabbia e sabbia limosa; è comunque ipotizzabile una loro presenza in una percentuale del 20-25% massimo sul volume di scavo.

7.4 Presenza di acqua

Nel lotto in esame l'opera, che si sviluppa ad una quota variabile da 294m, ad inizio lotto, a 277m slm, in prossimità della stazione Fermi, non interferisce con la falda superficiale che si ritrova ad una quota di 245m slm.

7.5 Presenza di gas

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

7.6 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 da precedenti insediamenti industriali. Non essendo prevista alcuna interferenza planoaltimetrica o di lavorazioni, con la falda superficiale, si considera che le sue caratteristiche non verranno variate.

7.7 Zone disturbate, presenza di cavità

Allo stato naturale il terreno del lotto 2 risulta ben addensato e non sono state individuate cavità di alcun tipo. In relazione all' interferenza tra l'opera in progetto e preesistenti sottoservizi (quali principalmente condotte fognarie o acquedotti), sono da prevedere, al contorno di questi ultimi, zone in cui il materiale si presenta allentato o in cui le caratteristiche di addensamento sono state mutate, e sono stati creati dei vuoti al contorno dello scavo.

7.8 Presenza di reperti archeologici

Sulla base delle indagini esperite, non sono risultati resti di rilevanza archeologica.

8.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);

C.M.L.P. n. 2535 e applicazione delle norme 25/11/1962 n. 1684, legge 2 febbraio 1974 n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".

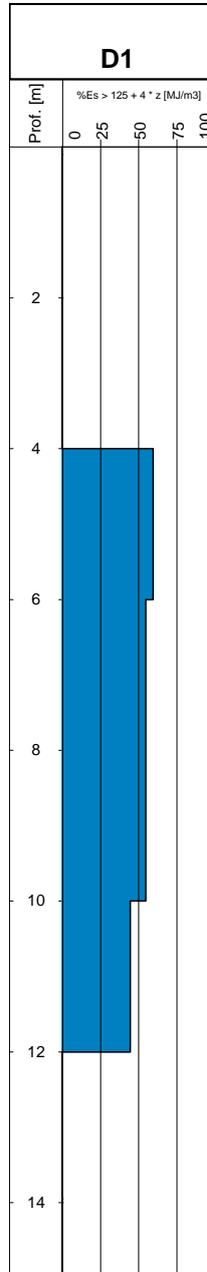
D.L. 5 Febbraio 1997, N.22 – Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio. (G.U. 15-2-1997, n.38-suppl) modificato ed integrato ai sensi del: D.L. 8 Novembre 1997, N.389 (G.U. 8-11-1997, n.261)

D. L. 5 Febbraio 1998 – Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli artt.31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n.22 (G.U. 16-4-1998, n.88 – suppl.)

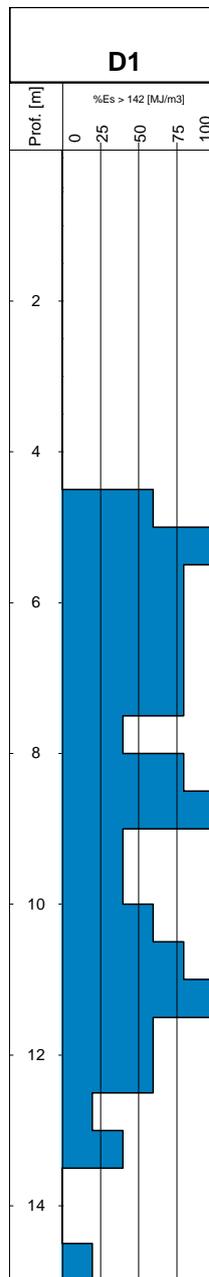
9. BIBLIOGRAFIA

- 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 4th 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.

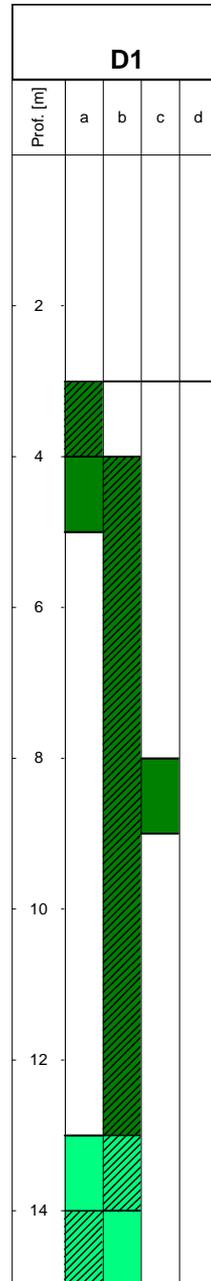
ALLEGATO ALLA RELAZIONE GEOTECNICA
DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALLE INDAGINI



Diagrafia D1 - Andamento della cementazione con la profondità



Diagrafia D1 – Andamento della scavabilità con la profondità



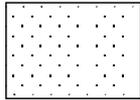
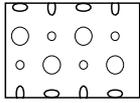
LEGENDA

- AFFIDABILITA' ELEVATA ($p \geq 0.5$)
- AFFIDABILITA' MEDIA ($0.3 < p < 0.5$)
- AFFIDABILITA' BASSA ($p \leq 0.3$)
- SITUAZIONE PIU' PROBABILE
- a NON CEMENTATO O CEMENTAZIONE DEBOLE
- b CEMENTAZIONE MEDIA
- c CEMENTAZIONE MEDIO-ALTA
- d CEMENTAZIONE ELEVATA

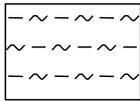
Diagrafia D1 – Andamento dell'affidabilità con la profondità

ghiaia eterometrica con ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa medio-grossolana; (possibili) locali intercalazioni di limi sabbiosi.(137)

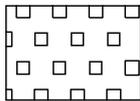
LEGENDA



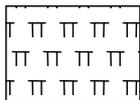
sabbia medio-fine da debolmente limosa a limosa con ghiaia; (possibili) locali alternanze di ghiaia a matrice limoso/argillosa.



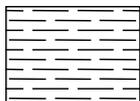
limo - limo argilloso.



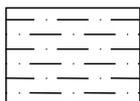
Conglomerati (puddinghe): ghiaie, ciottoli e trovanti cementati.



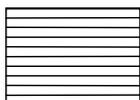
limi sabbiosi - argillosi, con resti carboniosi e talvolta frammenti di laterizi.



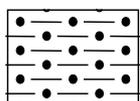
argilla compatta del substrato - argilliti.



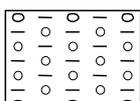
limo sabbioso - sabbia limosa.



Argilla - argilla limosa.



ghiaia eterometrica con ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa con cementazione diffusa.



ghiaia eterometrica con ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa con tracce di debole cementazione.