

ACCORDO DI PROGRAMMA FINALIZZATO ALL'ATTUAZIONE DI UN PROGRAMMA DI INTERVENTI, NELL'AMBITO DELLE AREE EX FIAT AVIO E R.F.I., PER LA REALIZZAZIONE DEL PALAZZO DEGLI UFFICI REGIONALI, DEI NUOVI COMPARTI EDILIZI E DELLE OPERE INFRASTRUTTURALI CONNESSE

# NUOVO PALAZZO PER UFFICI REGIONE PIEMONTE LOTTO 3



## PROGETTO PRELIMINARE

REVISIONE	DATA	NOTE	OGGETTO	DIS	CON	APP
1	12/12/07	REV. PER VALIDAZIONE		ABr	LSO	AEu/LPi
0	26/10/07	PRIMA EMISSIONE		ABr	LSO	AEu/LPi

Titolo:

Scala:

## RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Raggruppamento di progetto:

Mandatario:

**m fuksas ARCH**

Piazza del Monte di Pietà, 30  
00186 Roma  
Tel +39 06 6880 7871  
Fax +39 06 6880 7872  
fukzasitalia@fukzas.it

85, rue du Temple  
F-75009 Paris  
Tel +33 1 446 18383  
Fax +33 1 446 18389  
m.fukzas@fukzas.fr

Schleusenstrasse 17  
D-60327 Frankfurt am  
Tel +49 69 24005 0  
Fax +49 69 24005 199  
office-FFM@fukzas.de

Responsabile del procedimento:

**Dott.sa Maria Grazia FERRERI**  
Patrimonio Tecnico Regione Piemonte

Mandanti:



**AI Studio**  
Architettura, Ingegneria, Urbanistica  
Via Lamarmora, 80 - 10128 Torino  
E-mail posta@ai-group.it



**AI Engineering s.r.l.**  
Via Lamarmora, 80 - 10128 Torino  
E-mail posta@ai-group.it



**Manens Intertecnica s.r.l.**  
Via Campofiore, 21 - 37129 Verona  
E-mail manens@manens.com



**Geodata S.p.A.**  
Corso Duca degli Abruzzi, 48/E - 10129 Torino  
E-mail geodata@geodata.it

Co-responsabile del procedimento:

**Arch. Claudio FUMAGALLI**  
Pianificazione e gestione urbanistica  
Regione Piemonte

Identificazione file:

Codice generale elaborato:	Codice opera	Lotto	Settore	Livello progetto	Area progettazione	Tipo documento	Numero elaborato	Versione
	PR	3	0	P	G	CG	005	1

**REGIONE PIEMONTE**

**NUOVO PALAZZO PER UFFICI REGIONE PIEMONTE  
LOTTO 3**

**PROGETTO PRELIMINARE**

**ELABORATI GENERALI**

***RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA***

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO GENERALE</b> .....	<b>8</b>
<b>4.1</b>	<b>Geologia e geomorfologia</b> .....	<b>8</b>
4.1.1	La cementazione dei depositi quaternari .....	9
4.1.2	Depositi fluvioglaciali e fluviali Rissiani.....	9
4.1.3	Depositi lacustri e fluviolacustri del Villafranchiano Autoctono.....	10
4.1.4	Depositi d'ambiente marino neritico del Pliocene .....	10
<b>4.2</b>	<b>Idrogeologia</b> .....	<b>10</b>
4.2.1	Complessi idrogeologici .....	10
4.2.2	Caratteristiche di permeabilità dei complessi idrogeologici.....	11
4.2.3	Variazioni del livello di falda superficiale .....	12
4.2.4	Ricostruzione della geometria di flusso della falda superficiale .....	13
4.2.5	Tendenze evolutive a lungo termine della falda superficiale.....	14
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE</b> .....	<b>16</b>
<b>5.1</b>	<b>Progetto di indagine per il Progetto Definitivo (2007)</b> .....	<b>16</b>
<b>5.2</b>	<b>Indagini geognostiche e caratterizzazione geotecnica per il progetto della Metropolitana Automatica di Torino</b> .....	<b>20</b>
5.2.1	Caratteristiche fisiche del terreno .....	22
5.2.2	Individuazione e descrizione delle unità geotecniche .....	25
5.2.3	Sintesi della caratterizzazione geotecnica.....	33
<b>6</b>	<b>QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE</b> .....	<b>35</b>
<b>6.1</b>	<b>Geologia e geotecnica per le opere in progetto</b> .....	<b>35</b>
<b>6.2</b>	<b>Idrogeologia</b> .....	<b>37</b>
6.2.1	Valutazione della potenzialità di emungimento dell'acquifero superficiale .....	38
6.2.2	Valutazione dell'effetto di abbassamento dinamico della superficie piezometrica prodotto dai pozzi degli impianti tecnici .....	38
<b>6.3</b>	<b>Interazione delle opere in progetto con l'assetto geologico-geotecnico</b> .....	<b>39</b>
<b>6.4</b>	<b>Valutazioni preliminari del cedimento medio delle fondazioni</b> .....	<b>40</b>
6.4.1	Ipotesi per il calcolo dei cedimenti.....	41
6.4.2	Risultati di calcolo dei cedimenti.....	46
6.4.3	Capacità portante.....	53

6.4.4	Coefficienti di sottofondo.....	54
<b>6.5</b>	<b>Approfondimenti per la fase di Progetto Definitivo .....</b>	<b>55</b>
6.5.1	Carichi e vincoli applicati applicati.....	56
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>59</b>

## ALLEGATI

### ALLEGATO 1

- Tavola 1: Inquadramento geografico dell'area del Progetto Preliminare
- Tavola 2: Ubicazione delle indagini geognostiche reperite ed utilizzate ai fini dell'inquadramento geologico ed idrogeologico
- Tavola 3: Estratto dalla Carta Geologica foglio n. 56 "Torino" alla scala 1:100.000
- Tavola 4: Carta del pannello piezometrico della falda superficiale
- Tavola 5: Sezione geologico tecnica di riferimento con indicazione delle opere in progetto
- Tavola 6: Profilo geologico per il Progetto Definitivo - Bozza

### ALLEGATO 2

Stratigrafie delle indagini geognostiche preesistenti utilizzate ai fini dell'inquadramento geologico ed idrogeologico.

### ALLEGATO 3

Stratigrafie delle indagini geognostiche realizzate durante la campagna geognostica 2007 (settembre –novembre 2007).

### ALLEGATO 4

RICCI, G., ENRIONE, R., EUSEBIO, A., CROVA, R. 2007. "Numerical modelling of the interference between underground structures and aquifers in urban environment. The Turin subway – Line 1". Underground Space – the 4<sup>th</sup> Dimension of Metropolises.

## 1 PREMESSA

La presente Relazione Geologica e Geotecnica è redatta nell'ambito del Progetto Preliminare del Nuovo Palazzo della Regione Piemonte, di cui è prevista la realizzazione nell'area industriale dismessa denominata "ex-Fiat Avio", sita nel Comune di Torino.

La presente relazione tratta le opere di pertinenza del Lotto 3, ovvero il Palazzo della Regione per la Giunta e gli Uffici, il Centro Servizi/Congressi a fianco del Palazzo, il complesso dei parcheggi interrati, i locali tecnici a servizio delle varie funzioni.



*Figura 1.1: Vista aerea dell'area oggetto degli interventi di trasformazione urbana- Lotto 3.*

Nella relazione vengono sintetizzate le informazioni relative al contesto geologico, idrogeologico e geotecnico e vengono forniti gli indirizzi utili alle successive fasi di approfondimento in relazione alle opere da realizzare.

Sono stati quindi inquadrati il contesto stratigrafico di riferimento per l'area del Progetto, le caratteristiche idrogeologiche dei terreni presenti, con particolare riferimento alla presenza del livello di falda e delle sue variazioni stagionali.

Nell'ambito della presente fase progettuale, sulla base dei riscontri sintetizzati in questa relazione, è stato impostato uno specifico "Piano delle Indagini Geognostiche in sito e prove di laboratorio" (elaborato rif. PR-3-0-P-S-CI-015-1), finalizzato alla raccolta dei dati necessari alla caratterizzazione geologica, idrogeologica e geotecnica, così come previsto dal D.M. 11/03/1988 e successiva Circolare esplicativa.

I dati utilizzati nella presente fase progettuale provengono da ricerche bibliografiche, analisi e studi effettuati in zone adiacenti all'area, in particolare per la realizzazione della limitrofa Linea 1 della Metropolitana di Torino, dalla consultazione degli studi geologici e idrogeologici ai sensi della Circolare P.R.G. n. 7/LAP dell'8 maggio 1996, a corredo della Variante n. 100 del P.R.G. del Comune di Torino ed integrati dai primi risultati delle indagini in sito in corso di svolgimento e finalizzate alla caratterizzazione geologica, idrogeologica e geotecnica dei terreni interessati dal Progetto Preliminare.

La Tavola 1 (Allegato 1) riporta l'inquadramento geografico dell'area oggetto della presente relazione, nel territorio urbano di Torino.

## 2      **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La presente relazione è stata redatta in accordo ai criteri generali stabiliti dalle Normative vigenti fra cui in particolare:

- Legge 11.02.1994 n° 109, “Legge quadro in materia di lavori pubblici” e successive modificazioni.
- D.P.R. 21.12.1999 n°554, “Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11.2.1994 n°109 e successive modificazioni”.
- D.M. LL. PP. 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”.
- Circ. Min. LL.PP. 24-9-1988 n. 30483 - Istruzioni relative alle “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”.
- UNI 10006 (Giugno 2002): Costruzione e manutenzione delle strade. Tecniche di impiego delle terre.
- D.M.LL.PP. 14 febbraio 1997 - “Direttive tecniche per l’individuazione e la perimetrazione, da parte delle Regioni, delle aree a rischio idrogeologico”.
- D.M. LL. PP. 16 gennaio 1996 – “Norme tecniche per la costruzione in zone sismiche”.
- Ordinanza Presidenza Consiglio dei Ministri 20/03/2003 n. 3274, “ Primi criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale di normativa tecnica per le costruzioni in zone sismiche”, e s.m.i.
- Eurocodice 7, “Geotechnical design” (EN 1997-1:2002).
- Eurocodice 8, “Design of structures for earthquake resistance” (EN 1998-1/6:2002-2003).

### 3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Per la redazione della presente relazione sono state utilizzate diversi fonti relative sia a studi territoriali specifici (P.R.G. e varianti) sia a progetti di infrastrutture recentemente progettate ed in via di realizzazione nel territorio urbano torinese, oltre che documenti specificatamente realizzati nell'ambito del progetto degli interventi di bonifica dell'area di interesse. Tali fonti sono qui di seguito elencate:

- Progetto Definitivo dell'intervento di messa in sicurezza e bonifica dell'area denominata "ex-FIAT AVIO" in via Nizza, redatto dallo Studio Tedesi di Milano per il Gruppo Zunino RI Investimenti s.r.l., terminato nel marzo 2006. Sono allegate allo studio n.12 stratigrafie relative ai sondaggi geognostici eseguiti nell'ottobre 2005 (codice S56-S65 e PM12 e PM13);
- Progetto Definitivo ed Esecutivo della Linea 1 della Metropolitana, tratta Porta Nuova-Lingotto, redatto dal raggruppamento temporaneo di imprese Systra S.A., Geodata S.p.A., Metropolitana Milanese S.p.A. e Studio Quaranta per il Gruppo Torinese Trasporti (GTT) nel periodo 2004-2006;
- Stratigrafie relative ad indagini geognostiche a carotaggio continuo, eseguite in occasione del progetto e dell'esecuzione di diversi lavori nell'area immediatamente adiacente all'area oggetto della variante:
  - prolungamento del sottopasso del Lingotto al Corso Unità d'Italia (stratigrafie SOT1 e SOT2);
  - esecuzione del parcheggio interrato nell'area Lingotto (stratigrafie Spi1-Spi5);
  - lavori di sistemazione della rampa sud del centro fiere del Lingotto S.p.A. (stratigrafie S1-S5);
  - progetto di riuso dell'area Lingotto (stratigrafie SP1-SP3 e A-C).

Le indagini per la progettazione della Linea 1 della metropolitana e le indagini eseguite in tempi diversi per la trasformazione dell'area Lingotto sono state utilizzate per la definizione del quadro geologico ed idrogeologico generale (Capitolo 4). I primi risultati delle indagini geognostiche in corso e quelle eseguite all'interno dell'area del Progetto (Progetto Definitivo dell'intervento di bonifica dell'ex Fiat Avio), sono state prese come riferimento per la definizione del quadro geologico ed idrogeologico di riferimento progettuale (Capitolo 6).

L'ubicazione di quest'ultime indagini, con i relativi codici identificativi, è riportata nell'elaborato "Planimetria indagini geognostiche" (rif. PR\_3\_0\_P\_S\_AA\_001\_1). Nell'allegato 2 alla presente relazione sono riportate le stratigrafie sopra citate.

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO GENERALE

### 4.1 Geologia e geomorfologia

Il territorio comunale di Torino si estende per gran parte 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 (Po, Stura di Lanzo, Dora Riparia e Sangone), (cfr. *Bonsignore, G., Bortolami, G., et al. 1969*, in Allegato 1-Tavola 3).

I clasti costituenti i depositi fluvioglaciali sono derivati dai litotipi del bacino idrografico di alimentazione: il Massiccio Ultrabasico di Lanzo (serpentiniti, ultrabasiti) per la Stura di Lanzo ed il Complesso del Dora Maira (gneiss, quarziti), Calcescisti a Pietre Verdi, Serie dell'Ambin (micascisti, quarziti) per la Dora Riparia ed il Sangone.

Gli apporti di materiali a granulometria più fine (limi sabbiosi e/o argillosi), presenti in lenti all'interno delle ghiaie, sono attribuibili alle dinamiche legate all'azione dei corsi d'acqua nei tratti caratterizzati da una limitata energia deposizionale.

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

- depositi fluvioglaciali e fluviali continentali quaternari (periodo glaciale Riss): ghiaie, ciottoli e sabbie in matrice limosa, in genere sciolte, salvo che per la presenza di livelli discontinui di conglomerato;
- depositi lacustri e fluviolacustri del Villafranchiano (Sacco, 1886): limi argillosi e livelli sabbioso ghiaiosi, debolmente coesivi;
- depositi d'ambiente marino neritico del Pliocene: limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie grigio azzurre con fossili, piuttosto coesivi.

I depositi fluviali e fluvioglaciali presentano, al loro interno, orizzonti e livelli ad andamento discontinuo ed a vario grado di cementazione o comunque di addensamento; 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, desunta da informazioni bibliografiche, varia molto in relazione alla zona di riferimento, da un massimo di 140 metri (Piazza Marmolada) a

pochi metri nella zona nord di Torino, nelle vicinanze della Stura di Lanzo. Il contatto tra la base del complesso Villafranchiano ed i depositi Pliocenici è di eteropia di facies.

#### 4.1.1 La cementazione dei depositi quaternari

Il sottosuolo di Torino, nella fascia superiore costituita dai depositi fluvioglaciali quaternari (ghiaia, ciottoli e sabbie in matrice limosa) all'interno della quale si svilupperà il progetto, da un punto di vista geologico generale può essere definito relativamente semplice ed omogeneo; tuttavia, ad una scala di osservazione più ridotta, questo terreno può talora presentare variazioni rilevanti, sia lateralmente, sia lungo la profondità, sia da un punto di vista granulometrico sia per quanto riguarda il grado di cementazione e/o addensamento.

La 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 provengono principalmente dalle acque della Dora Riparia, che alimenta la falda superficiale nei periodi di maggior portata. Le acque di precipitazione meteorica, infiltrandosi nel suolo, si arricchiscono di CO<sub>2</sub>. Questa, combinandosi con l'acqua, produce acido carbonico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) determinando una diminuzione del pH. Le acque, divenute quindi aggressive, riescono a portare in soluzione il carbonato di calcio e magnesio presente nei depositi. All'aumentare della profondità, il variare della temperatura rimodifica il pH e dà origine, di conseguenza, alla precipitazione dei carbonati in soluzione.

#### 4.1.2 Depositi fluvioglaciali e fluviali Rissiani

I depositi di origine fluvioglaciale e fluviale formano, come detto, lo strato superficiale di vasta parte del territorio comunale di Torino. Le ghiaie, che rappresentano la frazione avente la maggior rilevanza in termini percentuali, si accompagnano a ciottoli (anche di dimensioni pluridecimetriche), sabbie medio-grossolane e livelli lentiformi limoso-argillosi. I ciottoli 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, ma sono frequenti anche ciottoli discoidali: questa forma appiattita è anche assai frequente nella ghiaia e nel ghiaietto. Le dimensioni dei ciottoli sono molto variabili, potendo raggiungere, talvolta, carattere di veri e propri trovanti (osservati sia durante i lavori del Passante Ferroviario-1° Lotto, sia nella prima tratta della Linea 1 della metropolitana). Il diametro di 10-30cm è quello maggiormente rappresentato. Sono inoltre qua e là presenti livelli lenticolari di ciottoli e ghiaie discoidali privi di matrice sabbioso limosa fine.

La peculiarità di questi depositi è data dalla eventuale presenza di cementazione, che varia sia in grado sia in profondità. La presenza di concrezioni di calcite e cemento calcareo, prevalentemente sulla parte superiore dei ciottoli può avvalorare l'interpretazione che vede la cementazione legata al fenomeno della percolazione delle acque di infiltrazione (zona non satura).

#### 4.1.3 Depositi lacustri e fluviolacustri del Villafranchiano Autoctono

Tali depositi, sottostanti ai precedenti depositi fluvioglaciali e fluviali, sono costituiti da alternanze di sedimenti di ambiente fluviale (ghiaie e sabbie) e di ambiente lacustre-palustre (limi e argille). Nei materiali più francamente grossolani e permeabili sono contenute varie falde idriche in pressione confinate dai livelli limoso argillosi, che funzionano da setti impermeabili.

I dati delle indagini eseguite lungo l'asse di via Nizza, per il progetto della linea 1 della Metropolitana (tratta Porta Nuova-Lingotto) evidenziano che questi depositi sono presenti fino all'intersezione con corso Marconi; localmente risultano assenti come confermato dal fatto che, in corrispondenza dei sondaggi eseguiti in zona Piazza Carducci, si è osservato il passaggio diretto tra i depositi fluvioglaciali ed i depositi d'ambiente marino.

#### 4.1.4 Depositi d'ambiente marino neritico del Pliocene

I litotipi che caratterizzano questo complesso vanno dalle sabbie alle argille, con predominanza dei depositi più fini in corrispondenza della pianura torinese. Le argille, tipicamente di colore azzurrognolo, risultano alquanto siltose nella parte più alta della formazione e contengono frequentemente resti fossiliferi. I depositi argillosi, come accennato al paragrafo precedente, sono stati ritrovati nei sondaggi profondi per la Linea 1 della metropolitana a partire dall'intersezione con Corso Marconi e procedendo verso sud (direzione Lingotto).

## 4.2 Idrogeologia

### 4.2.1 Complessi idrogeologici

I recenti studi geologici ed idrogeologici generali (2000-2006) eseguiti in sede di Progetto Definitivo ed Esecutivo della Linea 1 della Metropolitana di Torino, unitamente alla ricerca di dati bibliografici estesa a tutto il territorio comunale di Torino hanno permesso di delineare un approfondito quadro idrogeologico di riferimento. Con riferimento alla zona urbana del territorio comunale di Torino, ubicata in sinistra orografica del fiume Po, si schematizza il seguente assetto idrogeologico, partendo da piano campagna e procedendo in profondità:

- complesso ghiaioso-sabbioso; sede dell'acquifero libero principale, è costituito da depositi grossolani riferibili al Quaternario (ciottoli, ghiaie e sabbie in matrice sabbioso-limoso) potenti 30÷40 m. Lo spessore della zona satura è variabile tra 15 e 25 m. La soggiacenza della falda varia da zona a zona e si attesta mediamente sui -12 ÷ -18m da p.c.;
- complesso argilloso-limoso-ghiaioso; sede di un acquifero profondo del tipo multifalda, è situato indicativamente tra 40 e 200 m dal p.c., come desunto dalle informazioni provenienti da diversi pozzi profondi presenti nell'area torinese. Tale acquifero è costituito da alternanze di depositi medio grossolani (livelli di ghiaie e sabbie) costituenti livelli acquiferi in pressione, compartimentati da orizzonti fini (limi argillosi e argille limose). Tale complesso è riferibile ai depositi fluviolacustri riferibili al Villafranchiano (Auct.) del Pliocene Superiore-Pleistocene Inferiore ed è isolato idraulicamente dal soprastante complesso da uno strato, posto al tetto, costituito da depositi argillosi, spesso compatti e potenti 20÷30 m.

Il secondo complesso idrogeologico è presente, sotto i depositi quaternari, solo in determinate porzioni del territorio comunale torinese. Per le restanti parti, le indagini geognostiche hanno permesso di identificare i depositi limoso-sabbiosi debolmente argillosi compatti, riferibili al Pliocene. Tali depositi non sono sede di livelli acquiferi e svolgono il ruolo d'impermeabile relativo nei confronti del soprastante acquifero superficiale.

L'assetto idrogeologico sopra riportato determina la presenza di un acquifero freatico superficiale contenuto nel complesso ghiaioso-sabbioso confinato inferiormente dai depositi argillosi compatti del Villafranchiano o dai depositi limoso-sabbiosi debolmente argillosi compatti del Pliocene.

#### 4.2.2 Caratteristiche di permeabilità dei complessi idrogeologici

In relazione alle caratteristiche di permeabilità di tali complessi si può ritenere, sulla scorta delle numerose prove di permeabilità eseguite per il progetto della linea 1 della Metropolitana (circa 50 prove Lefranc e 2 prove di pompaggio a lunga durata), che il complesso ghiaioso-sabbioso superiore sia caratterizzato da una permeabilità medio-elevata, mentre i sottostanti depositi fini limosi, che costituiscono il limite impermeabile dell'acquifero freatico sia che essi appartengano al Villafranchiano che al Pliocene, sono caratterizzati da bassa-molto bassa permeabilità. La tabella sotto riportata riassume gli intervalli dei valori di permeabilità evidenziati dalle prove idrauliche eseguite.

Complesso idrogeologico	Complesso ghiaioso-sabbioso	Complesso argilloso-limoso-ghiaioso
Permeabilità (m/s)	$1.0E^{-05} \div 3.0E^{-03}$	$5.0E^{-06} \div 1.0E^{-08}$

*Tabella 4.1: Caratteri di permeabilità dei complessi idrogeologici*

Relativamente ai livelli grossolani (livelli di ghiaie e sabbie) presenti nel complesso idrogeologico argilloso-limoso-ghiaioso del Villafranchiano, non si dispone di risultati di prove idrauliche recenti, tuttavia è ragionevole, in base alla granulometria di tali livelli, attendersi valori di permeabilità medio-elevati.

#### 4.2.3 Variazioni del livello di falda superficiale

I dati provenienti dal monitoraggio della falda superficiale nelle verticali di indagine eseguite per il progetto della linea 1 della Metropolitana hanno evidenziato che l'oscillazione della superficie di falda è limitata, nel corso dell'anno, a un valore massimo di 1÷1.5m. Il massimo si colloca solitamente nella stagione invernale ma può spostarsi nei mesi primaverili in seguito a prolungati periodi di precipitazione. I dati provenienti dal monitoraggio automatico mostrano come la falda reagisca in ritardo rispetto agli input di ricarica della precipitazione. Tale ritardo, causato dall'estensiva impermeabilizzazione del territorio urbano, si può quantificare in circa 1÷1.5 mesi. Qualitativamente si può affermare che il livello di falda risente in misura maggiore dell'apporto causato da un prolungato periodo di precipitazioni rispetto a un singolo evento, pur d'elevata entità.

La figura 4.1 riporta la relazione tra le precipitazioni totali giornaliere ed il livello della falda superficiale, monitorata con letture bi-giornaliere durante il periodo ottobre 2001-luglio 2002. Il dato è stato misurato nel piezometro S33, ubicato all'angolo tra C.so Dante e Via Madama Cristina, relativo alle indagini della fase di Progetto Definitivo della linea 1 della Metropolitana. Come si può osservare l'incremento delle precipitazioni nel periodo primaverile (aprile-maggio) si riflette in un innalzamento del livello piezometrico che raggiunge il suo picco verso la fine di maggio 2002.

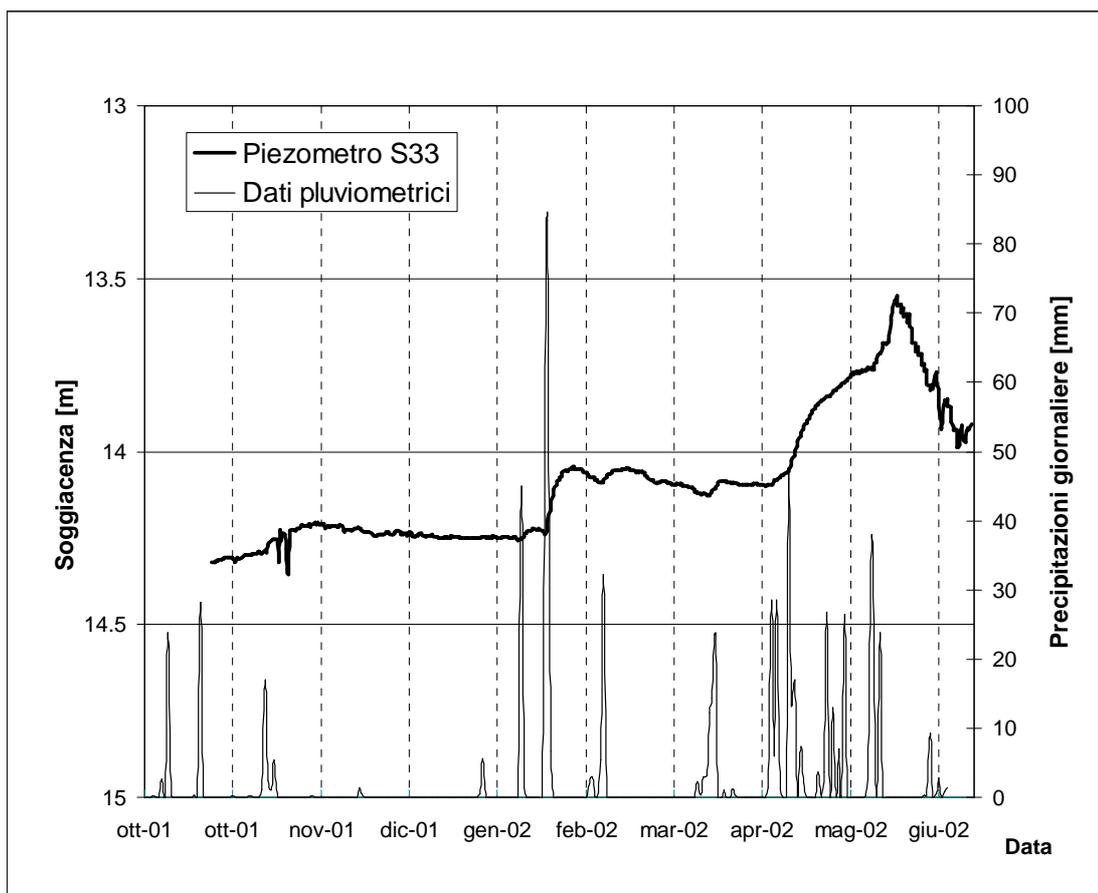


Figura 4.1: Grafico dei dati provenienti dal monitoraggio automatico della falda superficiale in relazione con i dati pluviometrici giornalieri – periodo ottobre 2001-luglio 2002.

#### 4.2.4 Ricostruzione della geometria di flusso della falda superficiale

L'acquifero superficiale è alimentato principalmente dagli apporti provenienti da ovest, considerando che l'infiltrazione, sul territorio urbano di Torino è perlopiù intercettata dalla rete di drenaggio superficiale. Studi recenti (*Bortolami, De Luca e Filippini, 1990*) definiscono biunivoci i rapporti tra la falda superficiale ed i corsi d'acqua (torrente Sangone e Dora Riparia) in quanto dipendenti dalle oscillazioni stagionali. Il fiume Po rappresenta il livello di base locale dell'acquifero e, per il tratto di scorrimento nel territorio di Torino, funge da recettore delle acque della falda superficiale. La condizione drenante del Po nel tratto urbano è sostanzialmente confermata dall'andamento delle isopiezometriche e dalle quote del fiume. La brusca rottura di pendio che si osserva in prossimità dell'alveo del Po è responsabile del drenaggio delle acque sotterranee.

La direzione di flusso media è ESE ( $120^\circ$  N) e localmente varia secondo il grado di permeabilità dei depositi, creando zone di convergenza (o divergenza) delle direttrici di flusso.

Il gradiente idraulico della falda superficiale varia da 0.25%-0.28% (valore medio nella zona centrale di Torino) a 0.7%-0.8% in prossimità del fiume Po.

Non è da escludere che in relazione ad eventi alluvionali di natura eccezionale (come quello registrato nell'ottobre 2000) il livello del Po raggiunga un'altezza tale da alimentare localmente la falda superficiale. Il fenomeno, osservato da alcuni proprietari di pozzi privati localizzati nelle vicinanze del fiume, è di durata limitata e tende ad esaurirsi in pochi giorni.

#### 4.2.5 Tendenze evolutive a lungo termine della falda superficiale

Le tendenze evolutive a medio-breve termine sono sostanzialmente influenzate dalla distribuzione delle precipitazioni durante l'anno e dal succedersi di anni a piovosità superiore alla media (la media per Torino è valutabile in 830-840 mm/h totali). Un trend di crescita pluriennale è stato osservato negli anni 1996-1997, al contrario gli anni 1987-1988 avevano un livello di falda inferiore alla media. In ogni caso, tale trend pluriennale di crescita comporta un incremento di  $+1.2\div 1.5$  m rispetto al livello di partenza.

Per quanto riguarda le tendenze evolutive della falda superficiale a lungo termine i dati storici indicano che:

- alcuni dati di pozzi ritrovati nella zona di Porta Susa consentono di ipotizzare il livello della falda storica posto ad una quota di  $4\div 5$  metri superiore a quella misurata attualmente;
- la differenza di quota è stata calcolata nella zona di Porta Susa, mancando indicazioni affidabili sul resto del territorio urbano; data tale assenza di dati, si deve ipotizzare che le condizioni generali di deflusso non siano variate nel corso delle epoche storiche e che dunque il valore differenziale di  $+4\div 5$  metri possa applicarsi alla superficie di falda identificata in tempi recenti;
- il progressivo decentramento delle attività produttive dal territorio urbano e la conseguente chiusura dei pozzi usati a scopo industriale fino agli inizi degli anni '80 ha determinato un innalzamento della falda che, in via teorica, avrebbe dovuto riallinearsi ai livelli dell'ottocento. I dati recenti (campagna misure 2000-2005 per il progetto della linea 1 della Metropolitana) mostrano che l'effetto di innalzamento indotto dalla dismissione dei pozzi collegati alle attività produttive si è sostanzialmente ridotto. Attualmente il livello della falda dipende in maniera più diretta dalle precipitazioni meteoriche che cadono sui bacini idrogeologici della Dora Riparia e della Stura di Lanzo che contribuiscono all'alimentazione della falda superficiale di Torino.

A commento di tali dati storici si deve osservare come le condizioni di infiltrazione del territorio di Torino siano variate rispetto all'epoca storica di riferimento dei pozzi osservati

(fine 1700) in quanto l'urbanizzazione del territorio ha praticamente azzerato la ricarica diretta. Attualmente, la gran parte dell'acqua che cade sul territorio urbano è intercettata dalla rete di drenaggio delle acque bianche e convogliata nel fiume Po e non contribuisce alla ricarica della falda. Tuttavia, a livello cautelativo, si ritiene che il dato del livello di falda storica sia da tenere in conto per la definizione del livello di falda superficiale da valutare nella progettazione dell'opera.

## **5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE**

L'area di progetto è stata notevolmente investigata dal punto di vista geognostico nell'ambito dello studio dell' "Intervento di messa in sicurezza e bonifica dell'Area ex FIAT AVIO" e, ad una scala più vasta, per la caratterizzazione geotecnica della progettazione della linea 1 della Metropolitana di Torino, nella tratta Porta Nuova-Lingotto.

Gli interventi previsti per la realizzazione del Palazzo della Regione Piemonte comportano opere di fondazione che data l'elevazione dei manufatti, saranno necessariamente spinte in profondità nel sottosuolo.

Al fine di fornire gli elementi per una caratterizzazione geotecnica preliminare del terreno interessato dalla realizzazione delle opere in progetto, viene esposta nel seguito la metodologia adottata, oltrechè i risultati ottenuti, per la caratterizzazione geotecnica nell'ambito della progettazione definitiva ed esecutiva della seconda tratta funzionale (Porta Nuova-Lingotto) della Metropolitana Automatica di Torino. I risultati di tale caratterizzazione geotecnica sono quindi stati assunti, in via del tutto preliminare come base per le assunzioni dei calcoli e verranno ridefiniti, in fase di Progettazione Definitiva, sulla base dei risultati delle indagini geognostiche descritte di seguito.

### **5.1 Progetto di indagine per il Progetto Definitivo (2007)**

Per quanto riguarda la pianificazione della campagna di indagini geognostiche gli aspetti tenuti in considerazione sono i seguenti:

- indagini esistenti.
- assetto litostratigrafico previsto, caratteristiche geotecniche dei materiali e soggiacenza della falda;
- tipologia prevista per le fondazioni;
- estensione spaziale del "bulbo di sollecitazione" indotto dall'edificio;
- tecniche di miglioramento del terreno (es. jet-grouting);

La pianificazione delle indagini ha tenuto, infatti, conto di parametri progettuali come i carichi e le caratteristiche strutturali previste per l'edificio. D'altronde le risultanze della campagna di indagini potranno fornire elementi utili anche per la valutazione delle migliore tipologia di fondazione da adottare. La scelta della tipologia di fondazioni andrà ovviamente eseguita in parallelo agli esiti della campagna di indagini geognostiche.

Per quanto riguarda la scelta delle profondità da investigare si è scelto, in via preliminare, di spingere alcune delle indagini fino ad una profondità pari al doppio della lunghezza

dell'edificio in progetto, sulla base di valutazioni legate alla estensione del bulbo di pressione (cfr. soluzione di Boussinesq, in Bowles cap. 5.3).

Per quanto riguarda gli aspetti geologico-tecnici, particolare attenzione sarà posta nella verifica del grado di omogeneità dell'assetto litostratigrafico relativamente alla zona in oggetto. E' documentata, come descritto precedentemente, la presenza di trovanti e lenti di materiali fini all'interno dei depositi ghiaioso-sabbiosi.

Gli aspetti geotecnici da investigare comprendono le caratteristiche di resistenza e deformabilità del terreno. In secondo luogo andranno verificate le caratteristiche di rigidità in condizioni statiche e dinamiche del terreno e dell'insieme edificio-terreno.

Sono previsti e in corso di realizzazione, per la caratterizzazione delle fondazioni dell'edificio principale, 13 sondaggi a carotaggio continuo (St1-13), spinti fino ad una profondità di 80m. Durante l'esecuzione delle indagini saranno eseguite prove in sito volte a determinare le caratteristiche di resistenza e deformabilità del terreno. Sono inoltre previsti 3 sondaggi (St14-16) per la caratterizzazione dell'adiacente edificio adibito a Centro Servizi/Congressi a fianco del Palazzo, spinti fino alla profondità di 40 m.

In particolare è prevista l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT, prove pressiometriche, prove dilatometriche e prove di emungimento (prove Lefranc, eventuali Lugeon a livello dei settori cementati e nei materiali coesivi). Durante la perforazione è previsto il prelievo di campioni rimaneggiati ed indisturbati sui quali verranno eseguite le prove di laboratorio descritte nel paragrafo successivo. Una serie dei fori saranno utilizzati per la esecuzione di indagini geofisiche mediante rilievi di sismica cross-hole.

Sono altresì previsti 3 sondaggi (Sp1-3) per la caratterizzazione del terreno dove sarà realizzato il parcheggio interrato, fino alla profondità di 30m. E' prevista, inoltre, la realizzazione di 9 sondaggi (Sv1-9) a carotaggio continuo compresi tra 20 e 30m dal p.c., per investigare le aree ove è prevista la nuova viabilità di superficie ed in sotterraneo.

**Tabella 5.1** – Tipologie e scopi delle indagini

Tipo di indagine	Scopo dell'indagine
Sondaggi a carotaggio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stratigrafia</li> <li>• Distribuzione dei livelli cementati e presenza di trovanti</li> <li>• Prelievo di campioni per prove di laboratorio</li> <li>• Installazione di strumenti in foro</li> <li>• Esecuzione di prove in sito</li> </ul>
SPT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densità relativa (orizzonti sciolti/addensati), caratteristiche di resistenza del terreno</li> </ul>
Prove pressiometriche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caratteristiche di deformabilità del terreno</li> </ul>

Prove dilatometriche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caratteristiche di resistenza e deformabilità del terreno</li> </ul>
Sismica cross-hole	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caratterizzazione geotecnica spaziale, con particolare attenzione alla verifica di potenza e andamento spaziale tridimensionale dei livelli cementati</li> </ul>
Prove e misure idrogeologiche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinazione delle caratteristiche dell'acquifero</li> </ul>
Prove di laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinazione delle caratteristiche fisiche e di deformabilità del terreno</li> </ul>

Nella tabella seguente sono riepilogate le tipologie e le quantità delle indagini previste in corrispondenza dell'edificio in progetto.

**Tabella 5.2** – Indagini previste per l'area di fondazione del Palazzo della Regione per la Giunta e dell'adiacente edificio adibito a Centro Servizi/Congressi

Cod.	Fase	Tip.	Prof. [m]	Prove in sito					Equipaggiamento foro
				SPT	Pressiometriche	Dilatometriche	Lefranc /Lugeon	Tomografia sismica	
St1	1	S.c.c.	80	5	1	1	1	-	-
St2	1	S.c.c.	80	5	2	1	1	C.H.1	Tubo cieco PVC/ABS
St3	1	S.c.c.	80	5	1	1	1	C.H.3	Tubo cieco PVC/ABS
St4	1	S.c.c.	80	5	1	1	1	-	Piezometro t. aperto
St5	1	S.c.c.	80	5	1	1	1	C.H.2	Tubo cieco PVC/ABS
St6	1	S.c.c.	80	5	1	1	1	C.H.2	Tubo cieco PVC/ABS
St7	1	S.c.c.	80	5	2	-	1	-	Piezometro t. aperto
St8	1	S.c.c.	80	5	2	-	1	C.H.3	Tubo cieco PVC/ABS
St9	1	S.c.c.	80	5	1	-	1	C.H.1	Tubo cieco PVC/ABS
St10	1	S.c.c.	80	5	1	1	1	C.H.2	Tubo cieco PVC/ABS
St11	1	S.c.c.	80	5	1	1	1	C.H.3	Tubo cieco PVC/ABS
St12	1	S.c.c.	80	5	2	1	1	C.H.1	Tubo cieco PVC/ABS
St13	1	S.c.c.	80	5	1	1	1	C.H.2	Tubo cieco PVC/ABS
St14	1	S.c.c.	40	5	1	-	1	-	Piezometro t. aperto
St15	1	S.c.c.	40	5	1	-	1	-	-
St16	1	S.c.c.	40	5	1	-	1	-	-
<b>Totale</b>			<b>1160</b>	<b>80</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>200m</b>

S.c.c. Sondaggio a carotaggio continuo; C.H.: cross-hole sismico

Nella tabella seguente sono, invece, riepilogate le tipologie e le quantità delle indagini previste in corrispondenza delle aree ove è previsto il parcheggio sotterraneo e la nuova viabilità.

**Tabella 5.3** – Indagini previste per le aree di nuova viabilità e a parcheggio pubblico

Codice sondaggio	Fase	Tipologia	Profondità [m]	Prove in sito
Sv1	2	S.c.c.	30	SPT, Lefranc
Sv2	2	S.c.c.	30	SPT, Lefranc
Sv3	2	S.c.c.	30	SPT, Lefranc
Sv4	2	S.c.c.	30	SPT, Lefranc
Sv5	2	S.c.c.	20	SPT, Lefranc
Sv6	2	S.c.c.	20	SPT, Lefranc
Sv7	2	S.c.c.	20	SPT, Lefranc
Sv8	2	S.c.c.	30	SPT, Lefranc
Sv9	2	S.c.c.	30	SPT, Lefranc
Sp1	2	S.c.c.	30	SPT, Lefranc
Sp2	2	S.c.c.	30	SPT, Lefranc
Sp3	2	S.c.c.	30	SPT, Lefranc
<b>Totale</b>			<b>330</b>	

S.c.c. Sondaggio a carotaggio continuo

L'ubicazione dei sondaggi è riportata nella Tavola "Planimetria indagini geognostiche" (rif. PR\_3\_0\_P\_S\_AA\_001\_1).

Durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio è previsto il prelievo di campioni di materiale in corrispondenza ai depositi fluvioglaciali ed all'interno delle sottostanti formazioni limoso-sabbiose e limoso-argillose. A causa delle evidenti difficoltà legate alle caratteristiche granulometriche, in corrispondenza dei depositi fluvioglaciali è prevedibile il recupero quasi esclusivo di campioni rimaneggiati (eccettuati quelli eventualmente recuperabili nei livelli sabbioso-limosi), mentre le formazioni limoso-sabbiose e limoso-argillose consentiranno il prelievo di campioni indisturbati.

Sui campioni saranno eseguite le prove di laboratorio che nel seguito vengono elencate in dettaglio, sia per quanto riguarda il tipo che il numero; tali prove permetteranno di determinare le caratteristiche fisiche, il fuso granulometrico ed i limiti di plasticità, nonché valutare le caratteristiche di resistenza e deformabilità (prove edometriche e prove triassiali) dei terreni.

Nel complesso saranno realizzate:

- 54 analisi granulometriche eseguite su campioni prelevati durante i carotaggi (di cui 10 relative a campioni per i quali è stata condotta un'analisi aerometrica);
- 10 determinazioni dei limiti di Atterberg;
- 16 prove triassiali;
- 8 prove edometriche.

## **5.2 Indagini geognostiche e caratterizzazione geotecnica per il progetto della Metropolitana Automatica di Torino**

La complessità del progetto ha richiesto la realizzazione di una serie di indagini geognostiche al fine di integrare il quadro conoscitivo di base ed indirizzare le scelte progettuali e i dimensionamenti delle opere, secondo quanto previsto dalla normativa vigente, in particolare il D.M. 11/3/1988.

Le indagini sono state eseguite per mezzo delle tre campagne geognostiche di luglio-ottobre 2001 (Progetto Definitivo - ipotesi di tracciato lungo via Madama Cristina), febbraio-aprile 2003 (Progetto Definitivo - integrazione delle indagini esistenti con nuove verticali, in particolare lungo Via Nizza, in adiacenza al nuovo tracciato) e ottobre-novembre 2004 (Progetto Definitivo – ipotesi di tracciato lungo Via Nizza) e sono articolate nelle diverse tipologie descritte nel seguito.

Tali indagini hanno fornito importanti informazioni per:

- affinare il grado di conoscenza dei terreni (ricostruzione della sequenza litostratigrafica, definizione meno approssimata della distribuzione areale dei livelli cementati e delle lenti di materiali fini, caratteristiche fisico-mineralogiche);
- caratterizzare le unità geotecniche (in particolar modo per quanto riguarda i parametri di deformabilità, di resistenza e di permeabilità);
- ricostruire l'assetto idrogeologico e le caratteristiche della falda (quantificazione dei parametri idrodinamici dell'acquifero, monitoraggio e studio del livello e delle relative oscillazioni della falda nel breve e nel lungo periodo, determinazione delle caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua);
- caratterizzare i terreni per l'individuazione delle tecnologie di scavo e consolidamento più idonee (per esempio idrofrescatura per lo scavo dei diaframmi, scudi a pressione per scavo galleria e relativi utensili di taglio, frantumazione ed evacuazione dei materiali scavati ecc.).

Le indagini sono state realizzate in corrispondenza delle principali opere in progetto (stazioni) e lungo la galleria, tenendo conto dei notevoli vincoli imposti in superficie dall'attuale assetto viario ed urbanistico e in sotterraneo dalla disposizione della rete di

sottoservizi (acquedotto, fognatura nera e bianca, gas, telecomunicazioni, illuminazione pubblica, energia elettrica, ecc.).

I risultati di tutte le fasi di indagine sono stati utilizzati per la caratterizzazione geotecnica dei terreni.

Complessivamente sono state realizzate:

- 22 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, aventi diametro di 101 mm e profondità comprese tra 26 e 47m, con esecuzione di prove penetrometriche in foro (Standard Penetration Test) ogni 3m, esecuzione di prove Lefranc, esecuzione di prove pressiometriche ed installazione di piezometri del tipo a tubo aperto;
- 17 sondaggi geognostici a distruzione di nucleo con registrazione in continuo dei parametri di perforazione (diagrafia), aventi profondità variabili tra 28 e 41m, con installazione di piezometri del tipo a tubo aperto per il monitoraggio della falda;
- 2 pozzi pilota (diametro rivestimento 275mm) realizzati per l'esecuzione delle prove di pompaggio, aventi profondità di 40m.

Le prove di laboratorio effettuate hanno permesso di determinare le caratteristiche fisiche (contenuto d'acqua, densità totale, grado di saturazione, densità del terreno secco, peso specifico dei grani, indice dei vuoti, porosità), il fuso granulometrico e i limiti di plasticità, nonché valutare le caratteristiche di resistenza e deformabilità (prove edometriche e prove triassiali) dei terreni.

Al fine di caratterizzare i terreni per fornire parametri utili all'individuazione della più appropriata tecnologia di scavo, sono state eseguite anche prove di laboratorio sui ciottoli, mirate alla determinazione delle caratteristiche mineralogiche e petrografiche, di abrasività, durezza, perforabilità e di resistenza meccanica degli elementi di maggiori dimensioni campionati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio.

I risultati ottenuti hanno permesso di ricostruire, per il progetto della Metropolitana, Linea 1, una ideale verticale del terreno, nella quale si sono distinte 6 unità geotecniche. Nell'ambito del presente progetto si ritrovano, per ora, le unità 1, 2 e 6. Nel prosieguo sarà descritto l'iter progettuale, tuttavia si è valutata l'opportunità di mantenere tale suddivisione e le relative caratteristiche per non perdere informazioni, in questa fase, rinviando al Progetto Definitivo, l'opportuna omogeneizzazione di tutti i dati in nostro possesso. Nella tabella seguente è riportato il confronto tra le unità geotecniche individuate per la caratterizzazione geotecnica della Metropolitana di Torino e quelle riconosciute, allo stato attuale, per il nuovo Palazzo della Regione Piemonte.

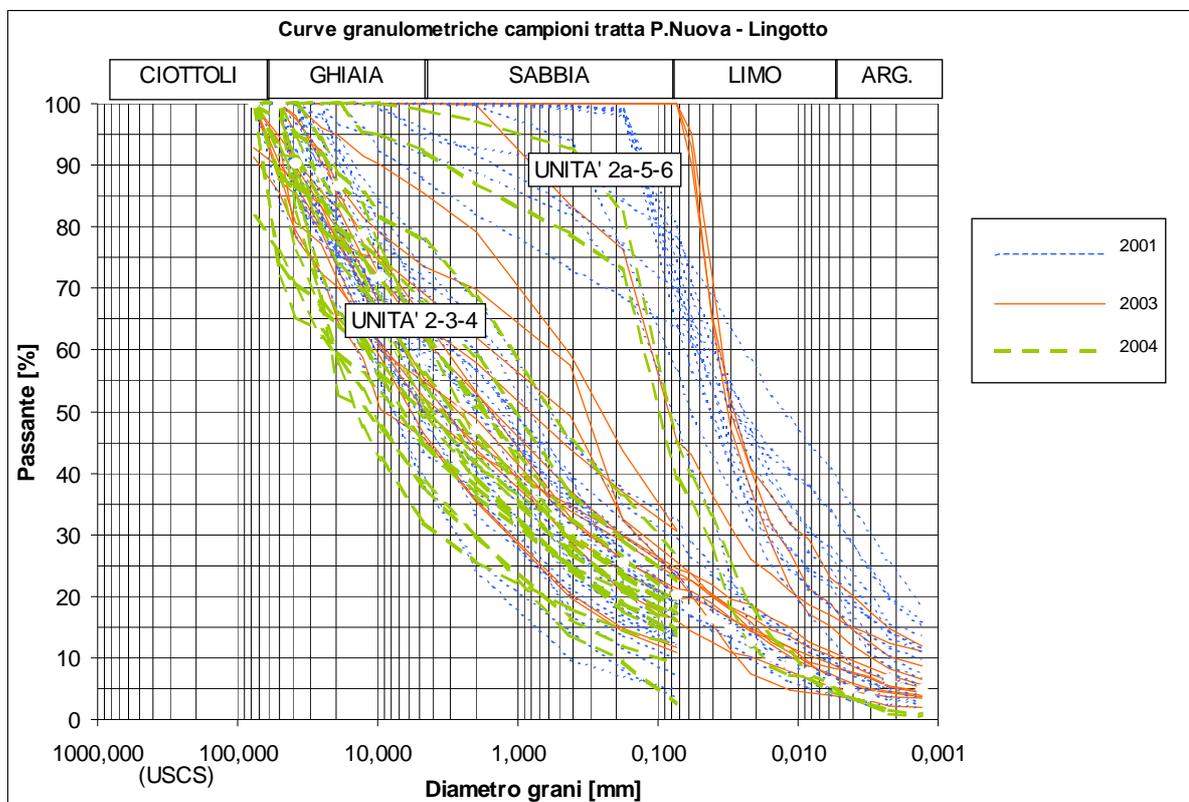
<b>Unità geotecnica: descrizione</b>	<b>Metropolitana Torino</b>	<b>Nuovo Palazzo Regione Piemonte</b>
<b>Unità 1:</b> terreno superficiale (riporto e/o limo sabbioso argilloso)	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Unità 2:</b> ghiaie e sabbie da sciolte a debolmente cementate	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Unità 3:</b> ghiaie e sabbie con cementazione da debole a media	X	-
<b>Unità 4:</b> ghiaie e sabbie con cementazione da media ad elevata	X	-
<b>Unità 5:</b> limi argilloso-sabbioso-ghiaiosi	X	-
<b>Unità 6:</b> limi sabbiosi debolmente argillosi	<b>X</b>	<b>X</b>

### 5.2.1 Caratteristiche fisiche del terreno

I risultati delle analisi granulometriche, eseguite sui campioni provenienti dai sondaggi a carotaggio realizzati in occasione della campagna di indagini geognostiche realizzate per l'ipotesi di tracciato lungo Via Madama Cristina, unitamente ai campioni prelevati durante le campagne di indagini integrative del 2003 e 2004, per le successive ipotesi di tracciato lungo Via Nizza, mostrano che:

- nel suo insieme (trascurando il terreno di riporto) il terreno risulta eterogeneo ed è caratterizzato dalla presenza di tutte le frazioni granulometriche, con la netta prevalenza di quelle grossolane. Secondo la classificazione USCS i terreni ricadono nei gruppi G (ghiaia), S (sabbie) ed, in minor misura, M (limi);
- l'indice di plasticità relativo ai campioni di terreno con frazione fine compresa tra il 20% e il 50% è compreso tra 0.5 e 10.4 (materiale da non plastico a poco plastico);
- l'indice di plasticità, relativo ai campioni di terreno coesivo, è compreso tra 1.1 e 7.1 (materiale da non plastico a poco plastico).

Nella figura 5.4 sono rappresentate le curve granulometriche dei campioni prelevati dai sondaggi effettuati lungo la tratta oggetto di questa relazione, compresi i campioni pertinenti le unità Villafranchiano e Pliocene, dalle caratteristiche sabbioso-limoso-argillose.



**Figura 5.4** – Curve granulometriche relative ai campioni (di materiale non coesivo e coesivo) prelevati nella tratta P.Nuova-Lingotto in occasione delle campagne geognostiche 2001, 2003 e 2004 (campionamento esclusivamente da sondaggio).

Essendo tutti campioni provenienti da sondaggi a carotaggio è evidente che le curve granulometriche sono rappresentative della parte meno grossolana (ciottoli < 10 cm circa); la parte più grossolana viene infatti persa in quanto di dimensioni maggiori rispetto al diametro del carotaggio. Per quanto concerne, invece, la presenza di materiali fini, il grafico di figura 5.4 illustra come la frazione limoso-argillosa vari da quasi assente (<5%) a presente in percentuale intorno al 30%.

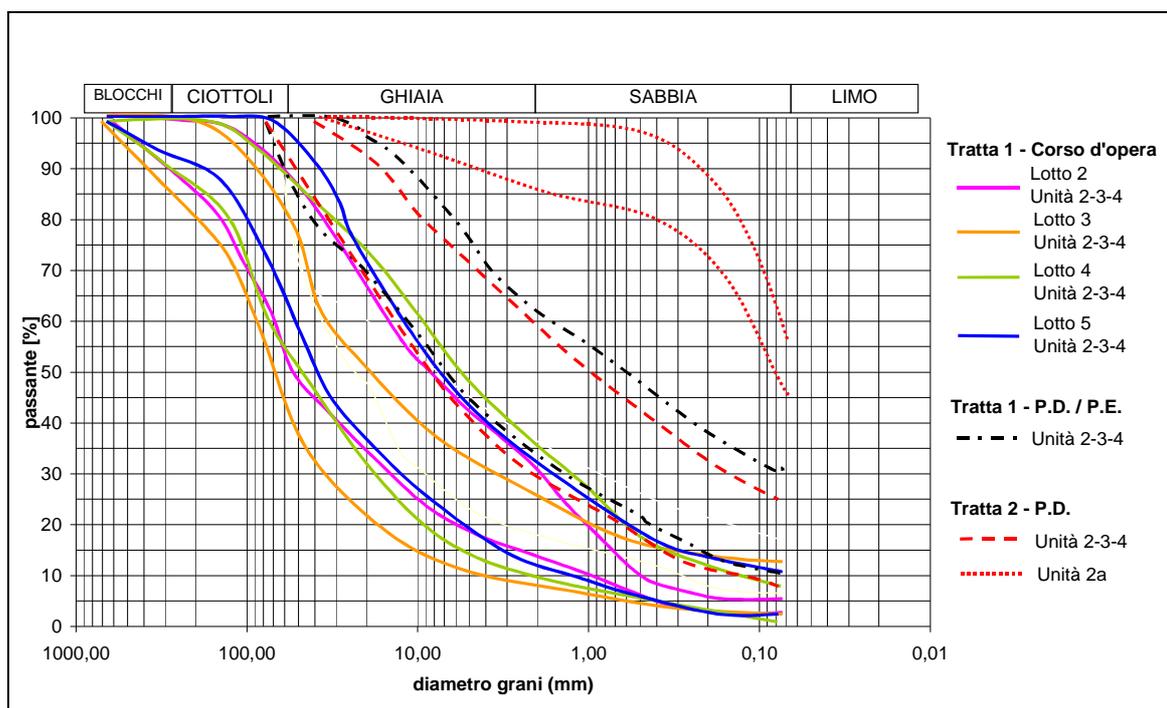
Ai fini della descrizione e corretta caratterizzazione del materiale nel suo complesso, si è inoltre tenuto conto anche di quanto rilevato durante il corso d'opera della Tratta 1 relativamente alle analisi granulometriche effettuate su macrocampioni.

E' stato quindi effettuato il confronto tra i campioni di materiale relativo alle unità geotecniche 2, 3 e 4, costituiti da ghiaia con sabbia e diversa percentuale di frazione fine, prelevati nei sondaggi realizzati nelle Tratte 1 e 2. I campioni sottoposti ad analisi per la Tratta 2 (relativamente alle diverse varianti plano-altimetriche) risultano in totale 88 (prelevati a

profondità variabili tra 7,5 e 47m da p.c.); per quanto riguarda la Tratta 1 i campioni prelevati durante le campagne di indagini geognostiche e sottoposti ad analisi sono in totale 27 (prelevati a profondità variabili tra 6 e 45m da p.c.).

I due fusi granulometrici di cui sopra sono infine stati messi a confronto con i fusi granulometrici ricavati dalle analisi condotte sui macrocampioni prelevati durante la realizzazione delle opere (stazioni e galleria con TBM) della tratta di galleria compresa tra Stazione Paradiso e Stazione Porta Nuova (per un totale di 112 campioni prelevati).

I risultati di tale confronto sono riportati nella figura 5.5, dove sono tracciati i fusi granulometrici, relativi alle unità 2-3-4, per le Tratte 1 e 2.



**Figura 5.5** – Fusi granulometrici relativi ai campioni delle unità 2, 2a, 3 e 4 prelevati durante il corso d’opera della tratta 1 Collegno-P.Nuova (stazioni e pozzi dei lotti 2, 3, 4 e 5) e in occasione delle campagne geognostiche dei Progetti Definitivo ed Esecutivo delle Tratte 1 e 2.

Dall’analisi del grafico si evidenziano variazioni legate al tipo di campionamento (macrocampioni e campioni da sondaggio a carotaggio), in quanto nel campionamento da sondaggio è risultata in genere essere sottostimata la percentuale di materiale più grossolano e sovrastimata la presenza di fine rispetto alla reale granulometria del terreno.

L’esperienza acquisita durante l’esecuzione dei lavori della prima tratta funzionale, ha confermato la presenza di un terreno granulometricamente molto variabile, in particolare a scala di dettaglio. L’esame delle analisi granulometriche, effettuate sui macrocampioni prelevati nella tratta Collegno-Porta Nuova, ha consentito di verificare come i campioni delle

unità 2-3-4 siano esclusivamente costituiti da ghiaia e sabbia con una bassa percentuale di materiale fine (il passante al setaccio a maglia 0.074mm raggiunge al massimo il 10%).

Il prelievo di macrocampioni dalle opere realizzate nei lotti in corso di realizzazione della Tratta 1 (stazioni e galleria con TBM) ha quindi consentito di accertare la granulometria “reale” dei terreni, permettendo di “tarare” indirettamente anche le granulometrie ottenute dai campioni prelevati dai sondaggi della Tratta 2 (stante il fatto che la linea in tale tratta è per la maggior parte immersa al di sotto della falda rendendo difficoltosa la realizzazione di pozzi geognostici).

### 5.2.2 Individuazione e descrizione delle unità geotecniche

La suddivisione tra le varie unità geotecniche è stata attuata, in prima istanza, differenziando i terreni non coesivi a granulometria prevalente grossolana (ghiaie e sabbie limose a differente grado di cementazione) dai terreni coesivi a granulometria prevalente fine (limi sabbiosi e limi argillosi). Successivamente, per quanto riguarda i terreni non coesivi, si è proceduto ad un'ulteriore suddivisione in funzione del diverso grado di cementazione. Va sin da ora anticipato che le unità 2, 3 e 4, costituite da ghiaie e sabbie con cementazione da assente ad elevata, si differenziano essenzialmente in base al grado di cementazione e/o addensamento, variabile da assente ad elevato, definito anche sulla base della valutazione degli intervalli caratteristici di energia specifica, presentati nel paragrafo 5.2.2., ai quali corrispondono differenti gradi percentuali di cementazione, secondo quanto riepilogato nel seguito:

**Tabella 5.4** – Intervalli di Es e C% per le unità geotecniche 2-3-4.

Unità	Es (MJ/m <sup>3</sup> )	C%
2	70-140	0-25
3	140-210	25-50
4	210-280	50-75

Per la caratterizzazione geotecnica di queste unità si è fatto riferimento alla metodologia già adottata dai progettisti geotecnici in occasione della progettazione della prima tratta funzionale, i cui punti salienti sono sintetizzati nel seguito:

- 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 Es e la stratigrafia dei pozzi praticabili realizzati per la tratta Collegno-Torino P.N.;

- 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 & Atmatzidis, 1993) e per determinare i parametri di deformabilità, variabili in funzione della percentuale di cementazione. Gli involuppi di rottura individuati sono stati approssimati a un criterio lineare in corrispondenza di un livello tensionale rappresentativo lungo la linea (profondità media 20m) pari a 0.4MPa;

Per quanto riguarda le caratteristiche fisiche e granulometriche, comuni alle tre unità nel loro insieme, si è fatto riferimento alle prove eseguite sui campioni rimaneggiati, ottenendo i risultati riepilogati nella seguente tabella 5.5.

**Tabella 5.5** – Caratteristiche fisiche e granulometriche delle unità 2-3-4.

<b>Caratteristiche</b>	<b>Media</b>	<b>Dev. Stand.</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
Ghiaia [%]	53.7	11.6	20.8	75.8
Sabbia [%]	28.9	7.7	13.3	48.4
Limo e Argilla [%]	17.4	6.3	2.7	32.3
Limite liquido WL	19.5	2.0	17.3	24.1
Limite plastico WP	16.4	2.7	12.6	21.6
Indice plastico IP	2.6	2.7	0.5	10.4

I parametri WL, WP e IP sono stati ricavati per la frazione granulometrica passante al setaccio di apertura 4.76 mm.

#### Unità 1 – Terrreno superficiale

Rappresenta l'orizzonte superiore del profilo stratigrafico ed è stata ritrovata in tutte le verticali di indagine. Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica di questa unità, di limitata rilevanza ai fini della realizzazione dell'opera, si è fatto riferimento ai risultati delle prove Nspt

Dal punto di vista granulometrico tale unità presenta una notevole eterogeneità, essendo composta da limi sabbioso-argillosi, limi e limi argillosi, sabbie con ghiaie, inglobanti materiali di origine antropica quali frammenti di laterizi e calcestruzzo.

I valori ottenuti per i parametri di resistenza dell'Unità 1 sono del tutto analoghi a quelli ricavati in corrispondenza della prima tratta funzionale (Collegno-Porta Nuova).

#### Unità 2 - Ghiaia e sabbia da sciolta a debolmente cementata

Questa unità è caratterizzata da una distribuzione spaziale discontinua sia in senso orizzontale che verticale. Granulometricamente rappresentata da ghiaie e sabbie, con frazione limosa variabile, non cementate o debolmente cementate con locale presenza di ciottoli di dimensione pluridecimetrica, questa unità si ritrova lungo l'intera estesa del tracciato, in misura comunque predominante tra Stazione Molinette e Stazione Lingotto. Sono presenti livelli di potenza decimetrica di ghiaia pressoché priva di matrice sabbioso limosa.

Nei sondaggi è stata descritta in base alla presenza, sui singoli clasti, di tracce di materiale fine cementato; a queste corrisponde, in termini di energia specifica, un valore compreso tra 70 e 140MJ/m<sup>3</sup> ed una percentuale di cementazione compresa nell'intervallo 0-25%.

Dall'elaborazione dei dati di Nspt si desumono i valori delle caratteristiche meccaniche riportati in tabella 5.6. I valori a rifiuto non sono stati presi in considerazione ai fini della determinazione dei parametri di seguito presentati.

**Tabella 5.6 – Risultati dell'elaborazione dei dati di Nspt.**

	SPT	Densità relativa		Angolo di attrito		Modulo di Young	
		Skempton, 1986	Yoshida, 1988	Japanese National Railway (Shioi e Fukui, 1982)	Schmertman, 1977	D'Apollonia et al., 1970	Jamiolkowski et al., 1988
	Nspt	Dr [%]	Dr [%]	$\phi'$ [°]	$\phi'$ [°]	E [MPa]	E <sub>25'</sub> [MPa]
media	53	68	66	43	39	59	38
min-max	14-83	35-96	40-95	31-52	35-43	29-81	13-58

#### Unità 2a - Limo e sabbia debolmente argilloso

Questa unità caratterizza i livelli francamente limoso-sabbiosi presenti all'interno dell'unità 2, con spessori significativi ( $\geq 5m$ ) ed è stata individuata in corrispondenza delle stazioni Nizza e tra le Stazioni Spezia e Lingotto, con una persistenza, in termini di lunghezza rispetto alla lunghezza della galleria di circa il 5%. L'unità si ritrova a stazione Nizza dove occupa circa metà della sezione di scavo della galleria con uno spessore di circa 3-4m; la si ritrova poi a valle di Stazione Spezia, con spessori di 2-3m al di sopra della calotta della galleria.

Come anticipato, tale unità è costituita da materiale a granulometria medio-fine, da debolmente a mediamente addensato, con colore variabile da grigio a marrone.

La sintesi delle caratteristiche fisiche è riportata in tabella 5.8.

**Tabella 5.8** – Caratteristiche fisiche e granulometriche dell'unità 2a.

<b>Caratteristiche fisiche</b>	<b>Intervallo caratteristico</b>
% Ghiaia	0-13
% Sabbia	0-55
% Limo+Argilla	39-100
Limite liquido WL	22.7-31
Limite plastico WP	18.9-25.7

In corrispondenza di tale unità sono state effettuate 9 prove penetrometriche standard, utilizzate per la stima dei parametri di resistenza, riportati in tabella 5.9.

**Tabella 5.9** - Valori statistici delle misure di N<sub>spt</sub> e loro interpretazione.

<b>Valori</b>	<b>SPT</b>	<b>Densità relativa</b>	<b>Angolo di attrito</b>	<b>Modulo di Young</b>
		Skempton 1986	Road Bridge Specification	Schultze e Menzenbach, in Bowles (1991)
	N <sub>spt</sub>	D <sub>r</sub> [%]	φ' [°]	E [MPa]
Media	11	30	24	13
Min-Max	2-31	16-53	20-31	8-23

Il valore stimato della densità relativa D<sub>r</sub>, pari mediamente al 30%, indica che il deposito è definibile mediamente addensato secondo la classificazione di Terzaghi basata sui valori di N<sub>spt</sub>.

I valori ottenuti dai limiti di Atterberg mostrano come tali materiali siano definibili come poco plastici (I<sub>p</sub> pari a circa 5) e non siano caratterizzati da tendenza al comportamento coloso.

### Unità 3 - Ghiaia e sabbia con cementazione da debole a media

Questa unità è presente a un livello più superficiale nella prima parte del tracciato. In profondità la si ritrova a partire dalla Stazione Marconi fino a Spezia.

Nei sondaggi viene identificata sulla base della presenza di una patina carbonatica diffusa sui clasti; nelle diagrafie questa unità è segnalata da valori di E<sub>s</sub> compresi nell'intervallo 140-210MJ/m<sup>3</sup> (cementazione in tracce-diffusa), cui corrisponde una percentuale di cementazione C<sub>%</sub> tra 25 e 50%.

Granulometricamente sono presenti ghiaie e sabbie con una componente limosa variabile da assente, in alcuni livelli di spessore decimetrico, a presente in percentuali massime misurate del 32%. E' da segnalare, inoltre, la possibile presenza di trovanti.

Dall'elaborazione dei dati di Nspt si è ottenuto un valore medio di 64 con un intervallo di minimo e massimo pari a 28-90. Poichè l'unità 3 è caratterizzata dalla presenza non trascurabile di livelli cementati, le misure di Nspt sono state trattate solo come verifica delle scelte intraprese e non è sembrato opportuno utilizzarle per ricavare informazioni sulle caratteristiche geotecniche dell'unità stessa.

#### Unità 4 - Ghiaia e sabbia con cementazione da media a elevata

Il materiale appartenente a tale unità (ghiaie e sabbie limose con la presenza di trovanti e ciottoli, con cementazione da media ad elevata) è presente, in maniera continua, a partire dall'inizio della tratta funzionale fino a poco oltre stazione Marconi. La sua presenza decresce procedendo verso la fine della tratta.

Nei sondaggi la presenza di questa unità veniva evidenziata dall'estrazione di materiale "bruciato" e ridotto in polvere; nelle diagrafie sono stati calcolati valori di Es generalmente compresi tra 210 e 280MJ/m<sup>3</sup>, con punte superiori. A questi valori di Es corrisponde, secondo quanto esposto precedentemente, una percentuale di cementazione C<sub>%</sub> compresa generalmente tra 50 e 75% (cementazione da diffusa ad elevata) con locali superamenti di tale soglia.

Dall'elaborazione dei dati di Nspt si è ottenuto un valore medio di 73 con un intervallo di minimo e massimo pari a 59-81. Analogamente all'unità precedente, i valori di Nspt non sono stati utilizzati per la caratterizzazione della presente unità.

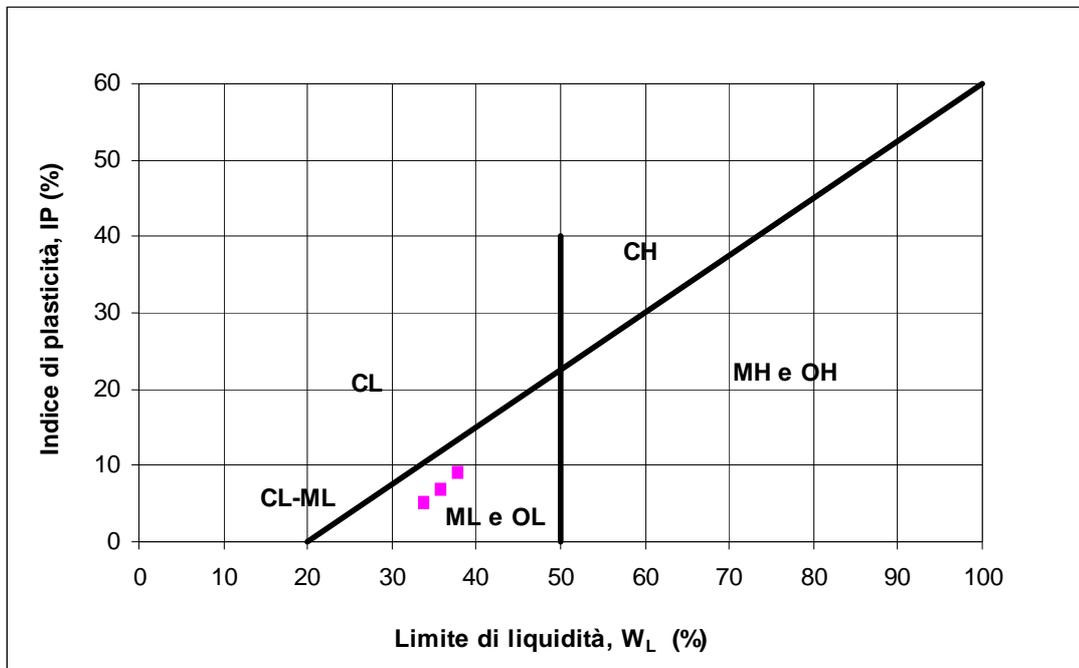
#### Unità 5 - Limo argilloso-sabbioso-ghiaioso

Il materiale che caratterizza questa unità è granulometricamente classificabile come limo argilloso-sabbioso debolmente ghiaioso; l'esame dei campioni ricavati dal sondaggio a carotaggio S31 ha permesso di rilevare come tale materiale assuma caratteristiche granulometriche diverse, presentando una frazione ghiaiosa abbastanza significativa ed una maggiore presenza di argilla rispetto ai suddetti limi sabbiosi; il colore marrone chiaro di questo materiale si differenzia, inoltre, nettamente da quello degli altri campioni di natura limoso-sabbiosa prelevati in altri sondaggi.

In tabella 5.11 sono riportate le caratteristiche fisiche e granulometriche relative all'unità 5 mentre nella figura 5.6 è raffigurata la carta di plasticità di Casagrande.

**Tabella 5.11 - Caratteristiche fisiche dell'unità 5.**

Caratteristiche	Min	Max
% Ghiaia	7.09	17.76
% Sabbia	14.80	22.58
% Limo	43.46	52.83
% Argilla	19.64	25.28
$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	16.00	19.20
$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19.10	21.40
w <sub>n</sub> [%]	15.06	19.59
n [%]	37.64	37.64
e	0.60	0.60
Limite liquido W <sub>P</sub>	5.09	9.22
Limite plastico W <sub>L</sub>	33.76	37.83
Indice plastico IP [%]	28.61	29.42
G <sub>s</sub>	83.10	83.10



**Figura 5.6 - Carta di plasticità con valori relativi all'unità 5.**

Per la caratterizzazione di questa unità, su tre campioni indisturbati sono state effettuate prove di laboratorio. In particolare sono state effettuate due prove triassiali (una del tipo CU e una del tipo UU) e una prova edometrica.

In tabella 5.12 sono riportati i valori dei parametri di resistenza meccanica ottenuti da tali prove.

**Tabella 5.12** – Parametri di resistenza al taglio per l'unità 5, ottenuti da prove triassiali.

Triassiale di tipo <b>CU</b>		Triassiale tipo <b>UU</b>
c' [kPa]	$\phi'$ [°]	cu [kPa]
43	19	110

#### Unità 6 - Limi sabbiosi debolmente argillosi

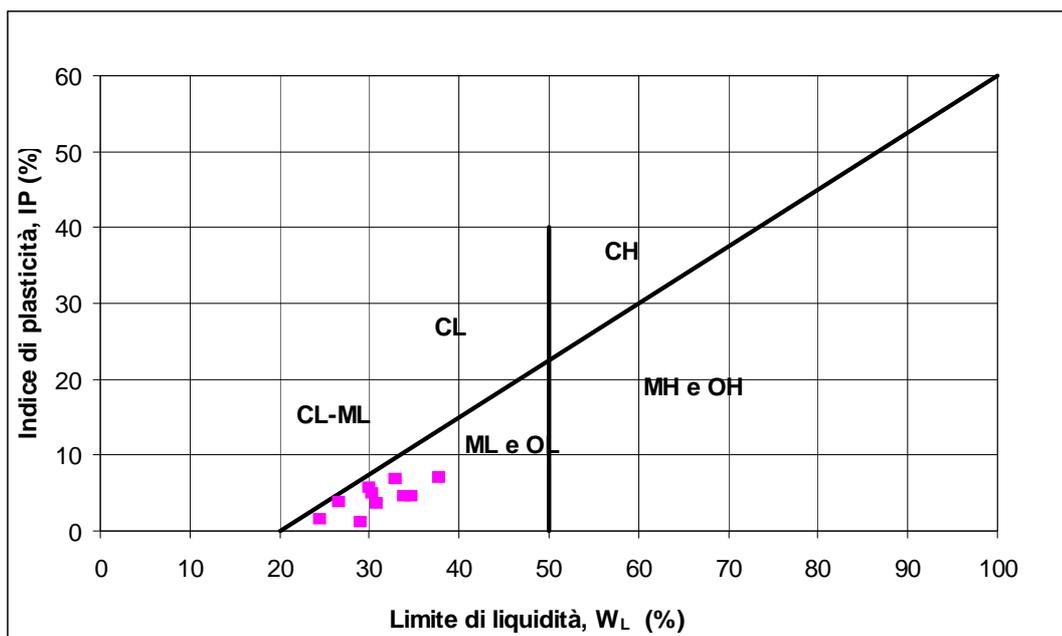
Il materiale appartenente a tale unità è granulometricamente classificabile come limo sabbioso a tratti argilloso.

La natura prevalentemente limosa è testimoniata dai bassi indici di plasticità IP, che fanno classificare il materiale come non plastico o poco plastico. La consistenza dell'unità è dimostrata dai valori dell'indice di consistenza maggiori di 1, che ne fanno definire lo stato fisico come semisolido.

La sintesi delle caratteristiche fisiche e granulometriche è riportata in tabella 5.13 mentre nella figura 5.7 è raffigurata la carta di plasticità di Casagrande.

**Tabella 5.13** - Caratteristiche fisiche e granulometriche dell'unità 6.

Caratteristiche fisiche	Min	Max
% Ghiaia	0.00	0.25
% Sabbia	23.04	35.69
% Limo	55.43	62.46
% Argilla	8.63	15.62
$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	14.80	19.15
$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.10	22.00
w <sub>n</sub> [%]	17.65	22.68
N [%]	35.39	43.05
e	0.55	0.76
Limite liquido W <sub>L</sub> [%]	24.48	37.69
Limite plastico W <sub>P</sub> [%]	22.66	30.63
Indice plastico IP [%]	1.10	7.06
Indice consistenza IC [%]	1.50	8.55
Peso specifico dei grani	2.58	2.61



**Figura 5.7** - Carta della plasticità con valori relativi all'unità 6.

All'interno dell'unità 6, nei fori di sondaggio eseguiti nella fase di aggiornamento della progettazione definitiva della Metropolitana di Torino- Linea 1 e posizionati lungo il tracciato della galleria, sono state condotte alcune prove pressiometriche.

I valori delle grandezze geotecniche risultanti dall'elaborazione dei dati sono riassunti in tabella 5.14.

**Tabella 5.14** - Risultati delle prove pressiometriche condotte all'interno dell'unità 6 e loro interpretazione.

Sondaggio di prova	Pressione limite [MPa]	Modulo pressiometrico [MPa]	Modulo di Young [MPa]
S32	25.97	86.11	129.16
S34	9.5	33.98	50.97

Data la natura fine del materiale i parametri ricavati sono da considerare non drenati.

In tabella 5.15 è riportata una sintesi dei valori ricavati dalle prove triassiali.

**Tabella 5.15** – Parametri di resistenza al taglio per l'unità 6, ottenuti da prove triassiali.

Variabili statistiche	Triassiale di tipo CU		Triassiale tipo CD		Triassiale tipo UU
	c' [kPa]	$\phi'$ [°]	c' [kPa]	$\phi'$ [°]	cu [kPa]
Min	51.60	29.50	-	-	105
Media	53.83	33.93	36.4	35.9	240
Max	56.00	37.80	-	-	320

### 5.2.3 Sintesi della caratterizzazione geotecnica

Nel complesso i terreni interessati dalle indagini svolte, presentate nelle pagine precedenti, appartengono a depositi di natura continentale con granulometria variabile. La cementazione si presenta perlopiù con disomogenea distribuzione verticale e scarsa continuità orizzontale, in accordo alla genesi stessa del fenomeno. Da un punto di vista granulometrico, i depositi mostrano repentine variazioni a scala di dettaglio, che a macro-scala vengono invece parzialmente a perdere significato.

Indipendentemente dallo stato di addensamento, i terreni in esame possono essere classificati in funzione del loro grado di cementazione, parametro che ha notevole influenza sul comportamento meccanico, tanto a livello di resistenza che di deformabilità. Non solo, la presenza di cementazione condiziona la scelta della metodologia di scavo, degli eventuali interventi di consolidamento e la definizione dei parametri geotecnici del terreno, insieme alle caratteristiche granulometriche.

Sarebbe ragionevole descrivere le unità geotecniche riconosciute in termini di un volume rappresentativo dello stesso terreno in funzione del grado di cementazione e quindi anche del livello di energia specifica corrispondente, mentre in questa fase, risulta difficile evidenziare differenze granulometriche significative tra le unità.

Per quanto attiene i parametri di resistenza e deformabilità delle unità geotecniche sono riportati i valori, in funzione delle tensioni  $\sigma_3$  e  $\sigma_n$ , dei parametri di resistenza c' e  $\phi'$ , nonché del modulo di deformabilità  $E_d$ , valutato indipendentemente dallo stato tensionale.

Per quanto attiene i parametri di resistenza e deformabilità delle unità geotecniche sono riportati i valori, in funzione delle tensioni  $\sigma_3$  e  $\sigma_n$ , dei parametri di resistenza c' e  $\phi'$ , nonché del modulo di deformabilità  $E_d$ , valutato indipendentemente dallo stato tensionale.

Con riferimento alla caratterizzazione geotecnica sopra descritta, nella tabella 5.16 sono riportati i parametri di resistenza in termini di coesione c' e angolo di attrito  $\phi'$ , nonché di deformabilità  $E'$ , per le diverse unità geotecniche.

**Tabella 5.16** - Parametri di resistenza e deformabilità per le unità geotecniche.

<b>Unità e descrizione</b>	<b><math>\gamma_n</math> [kN/m<sup>3</sup>]</b>	<b>E' [MPa]</b>	<b><math>\nu</math> [-]</b>	<b><math>\phi'</math> [°]</b>	<b>c' [kPa]</b>	<b>cu [kPa]</b>
<b>Unità 1:</b> terreno superficiale (riporto e/o limo sabbioso argilloso)	17-19	8-17	0.20-0.30	30-38	0	-
<b>Unità 2:</b> ghiaie e sabbie da sciolte a debolmente cementate	18-21	150-170	0.30-0.40	35-37	0-20	-
<b>Sottounità 2a:</b> limi e sabbie debolmente argillosi	18-20	5-15	0.30-0.35	28-30	5-15	50-80
<b>Unità 3:</b> ghiaie e sabbie con cementazione da debole a media	19-22	170-200	0.30-0.40	35-37	20-50	-
<b>Unità 4:</b> ghiaie e sabbie con cementazione da media ad elevata	19-22	200-260	0.30-0.40	36-42	50-140	-
<b>Unità 5:</b> limi argilloso-sabbioso-ghiaiosi	19-21	50-100	0.30-0.35	20-25	40-45	100-150
<b>Unità 6:</b> limi sabbiosi debolmente argillosi	18-20	60-120	0.30-0.35	27-36	25-35	100-300

\*quelle evidenziate sono le unità geotecniche riconosciute, allo stato attuale, per l'area interessata dalle opere del Palazzo Regione Piemonte

## 6 QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE

La presente relazione tratta le opere di pertinenza del Lotto 3, ovvero il Palazzo della Regione per la Giunta e gli Uffici, il Centro Servizi/Congressi a fianco del Palazzo, il complesso dei parcheggi interrati, i locali tecnici a servizio delle varie funzioni.

### 6.1 Geologia e geotecnica per le opere in progetto

L'esame approfondito delle stratigrafie reperite nell'area di sviluppo del Progetto Preliminare ed in aree immediatamente adiacenti ad essa, ha permesso di delineare il seguente assetto geologico-stratigrafico dell'area (cfr. Tavola 5 in Allegato 1), da p.c. in profondità:

**Terreni di riporto (Unità 1):** tali terreni hanno una granulometria variabile da una sabbia debolmente limosa ad una ghiaia debolmente sabbiosa (condizione prevalente) con ciottoli e inglobati frammenti di laterizi e materiali vari di riempimento. Sono stati segnalati localmente (cfr. Relazione di Progetto Definitivo di bonifica, Studio Telesi) frammenti di lavorazione delle attività dell'ex area industriale. Lo spessore di questi terreni varia da pochi decimetri ad un massimo di 6m di profondità dal piano campagna, variabile in quest'area, intorno alla quota 234m÷235m s.l.m.

**Sabbie ghiaiose, ghiaie sabbiose e ghiaie sabbioso-limose con ciottoli (Unità 2):** questi terreni sono riferibili ai depositi fluviali e fluvioglaciali rissiani (Quaternario). Tali depositi sono costituiti da classi grossolane prevalenti. Sono tuttavia presenti livelli a granulometria fine (sabbia fine limosa, limo sabbioso), generalmente di spessore inferiore al metro, localizzate in profondità del deposito (indicativamente tra 20 e 40m da p.c.). Sono inoltre presenti sporadiche lenti di materiale cementato, il cui grado di cementazione può arrivare ad essere molto elevato (livelli da centimetrici a metrici di conglomerato).

Il limite inferiore di questi depositi è, dalle prime risultanze delle indagini geognostiche in corso e da quelle condotte per lo studio di bonifica, valutato a circa -38m ÷ -40m da p.c.

Lo spessore di questi depositi varia dunque, in relazione allo spessore dello strato soprastante di riporto, da un minimo di 32m a circa un massimo di 39m.

Dal punto di vista geotecnico le caratteristiche di questi terreni sono assimilabili, in via preliminare, a quelle dell'unità 2, descritta al paragrafo 5.2.

**Limo sabbioso debolmente argilloso grigio (Unità 6):** questi depositi di ambiente marino di età pliocenica sono stati rinvenuti ad una quota simile a quella indicata per l'area ex-Fiat Avio nei sondaggi (serie SP1-3) eseguiti poco più a nord nell'area del Lingotto, ossia valutato a circa -38m ÷ -40m da p.c.. Il loro spessore, dalle indagini eseguite nell'area, non è valutabile. Dal punto di vista geotecnico le caratteristiche di questi terreni sono assimilabili, in via preliminare, a quelle dell'unità 6, descritta al paragrafo 5.2.



- 10÷15 m da p.c.



- 15÷20 m da p.c.



- 20÷25 m da p.c.



- 25÷30 m da p.c.



- 30÷35 m da p.c.



- 35÷40 m da p.c.

Figura 6.1 : Sondaggio ST15 (Campagna indagini geognostiche 2007) – Unità 2

## 6.2 Idrogeologia

I terreni ghiaioso-sabbiosi riferibili ai depositi fluviali e fluvioglaciali rissiani sono sede di un acquifero freatico. I dati di soggiacenza misurati di recente nei sondaggi in via di esecuzione confermano il quadro delineato dalle letture eseguite nei piezometri installati per il Progetto Definitivo dell'intervento di bonifica (cfr. bonifica area ex-FIAT AVIO) ed unitamente ai dati del monitoraggio sui piezometri installati per la progettazione della Linea 1 della metropolitana hanno permesso di ricostruire il pannello piezometrico della falda superficiale.

Tale ricostruzione ha preso in considerazione una porzione di territorio più estesa dell'area interessata dal Piano in quanto necessaria per definire la direzione media di deflusso sotterraneo ed inoltre, all'atto pratico, avendo dovuto interpolare punti di misura localizzati su una più vasta area.

I dati reperiti sono relativi ad un intervallo temporale che varia dal 2004-2005 (monitoraggio per la progettazione della linea 1 della metropolitana e Progetto Definitivo dell'intervento di bonifica dell'area ex-FIAT AVIO) e la data di redazione della presente Relazione. La scelta dei dati da interpolare è stata fatta cercando di utilizzare dati relativi allo stesso periodo (autunno-inverno) in modo da evidenziare uno scenario prossimo ai livelli massimi relativi al periodo (anni 2004-2006). I dati a disposizione non permettono di valutare univocamente il livello di falda massimo possibile, tuttavia rappresentano uno scenario di partenza sul quale valutare possibili incrementi differenziali in ragione del tipo di opera e di eventuali dati integrativi che saranno acquisiti nelle successive fasi progettuali.

L'esame dei risultati forniti dai modelli numerici eseguiti per valutare l'interferenza con la falda della realizzazione delle opere connesse al prolungamento Porta Nuova – Lingotto della linea 1 della metropolitana (cfr. *Ricci, G. et al., 2007, cfr. Allegato 4*) permettono di stimare in +0.2m l'innalzamento del livello piezometrico a monte della galleria di linea e in circa +1.0m quello in corrispondenza delle stazioni profonde, escludendo quindi interferenze a livello delle opere oggetto della presente relazione.

Il pannello piezometrico è riportato nella Tavola 4 (Allegato 1). La superficie piezometrica è ubicata ad una profondità dal p.c. di circa -14.5m ÷ -15.0m da p.c. in quote assolute, a circa 220m s.l.m., relativamente all'area oggetto del Progetto. La direzione media di flusso idrico sotterraneo è orientata da ovest verso est ed il gradiente idraulico medio è pari a 0.4%.

La temperatura dell'acqua monitorata nel periodo novembre 2001-febbraio 2002 nel piezometro S31 ubicato in C.so Marconi ang Via Madama Cristina relativamente al monitoraggio della falda per la Metropolitana di Torino ha mostrato una temperatura media di 15.7 °C. Le variazioni registrate nell'ambito del periodo considerato oscillano nell'intervallo 15.6-16.5 °C.

Misure puntuali eseguite nell'ottobre 2001 in pozzi e piezometri ubicati lungo l'asse di via Nizza (es. pozzo P1 in C.so Spezia e piezometro S38 in Via Nizza 277, confermano il dato precedente con valori di temperatura compresi tra 15,3 e 16,9 °C.

#### 6.2.1 Valutazione della potenzialità di emungimento dell'acquifero superficiale

L'acquifero superficiale presente nell'area di progetto ha le stesse caratteristiche riscontrate in buona parte del territorio urbano di Torino. Tale acquifero è stato investigato in dettaglio nell'ambito del progetto della Linea 1 - Tratta 2 della Metropolitana di Torino, in aree limitrofe a quella di progetto, tramite due prove di pompaggio a lunga durata (C.so Marconi e P.zza Bozzolo) nelle quali sono state emunte portate rispettivamente di 67l/s e 59l/s da un singolo pozzo. Gli abbassamenti registrati a regime (livello dinamico stabilizzato) sono stati di 3.8m e 2m all'interno del pozzo di emungimento. E' stata inoltre eseguita una prova di pompaggio a lunga durata nell'ambito del progetto di bonifica dell'area (Progetto Studio Tedesi), che ha fornito valori di permeabilità paragonabili a quelli valutati per il progetto della metropolitana ( $k=1.6E-03m/s$ ).

I parametri peculiari della falda di Torino ( $k=1E-04 - 1E-03 m/s$ , spessore dell'acquifero 20-25m) permettono l'emungimento previsto da progetto (ca 100÷120l/s) distribuito su n.4÷6 pozzi senza causare alcun depauperamento irreversibile dell'acquifero. Occorre segnalare che il campo pozzi previsto comprende, inoltre, due pozzi di restituzione che permettono l'infiltrazione delle acque estratte ed utilizzate, mitigando ulteriormente il temporaneo e localizzato impatto creato dal campo pozzi stesso.

#### 6.2.2 Valutazione dell'effetto di abbassamento dinamico della superficie piezometrica prodotto dai pozzi degli impianti tecnici

La collocazione degli impianti tecnici prevede n.4 pozzi di produzione e n.2 di restituzione. L'allineamento dei pozzi è orientato da est verso ovest su entrambi i lati maggiori del Parcheggio Pubblico (Lotto 2). I 4 pozzi di produzione sono posti al margine est dell'area ad una distanza minima tra loro (pozzi dallo stesso lato) di circa 36m. I 2 pozzi di restituzione sono messi di seguito, procedendo da est verso ovest, ad una distanza di 46m. La distanza tra i pozzi di restituzione e lo spigolo del Palazzo della Regione è di circa 82m, mentre dal più vicino pozzo di emungimento al Palazzo della Regione ci sono circa 128m. Prendendo in considerazione la geometria più sfavorevole (punto di mezzo tra due pozzi di emungimento contemporaneo) l'abbassamento può essere valutato tramite l'equazione di Dupuit valida per il regime stabilizzato. Tale valutazione evidenzia un abbassamento nel punto di mezzo di circa 5.4m (distanza tra i due pozzi di 18m,  $k=1E-04m/s$ , spessore acquifero 24,7m, portata 25l/s).

Tuttavia, data la geometria dei pozzi (i n.4 pozzi di emungimento posti in posizione più distante rispetto a quelli di infiltrazione) l'abbassamento del livello di falda ed i cedimenti relativi per questo fenomeno, nell'area di fondazione del Palazzo della Regione, sono praticamente nulli in quanto:

- la distanza è di circa 128m dal punto di pompaggio più vicino. Utilizzando le formulazioni analitiche sopra menzionate, l'abbassamento calcolabile è di pochi centimetri
- tra i pozzi di emungimento e il Palazzo della Regione ci sono i pozzi di restituzione che, infiltrando le acque utilizzate, annullano, in pratica, i pur minimi abbassamenti causati;

In relazione alle fondazioni dei fabbricati (parcheggio pubblico) posti in corrispondenza della zona di imposta dei pozzi, valutazioni effettuate mediante la soluzione di Dupuit, portano a stimare in circa 1cm il cedimento differenziale massimo, a seguito dell'azione del pompaggio.

### **6.3 Interazione delle opere in progetto con l'assetto geologico-geotecnico**

Le opere comprese nel Progetto Preliminare sono relative a manufatti per uso pubblico (il Palazzo della Regione per la Giunta e gli Uffici, il Centro Servizi/Congressi a fianco del Palazzo, il complesso dei parcheggi interrati, i locali tecnici a servizio delle varie funzioni) le cui opere di fondazione, data l'elevazione dei manufatti (circa 220m per il Palazzo della Regione), saranno necessariamente spinte in profondità nel sottosuolo. Sono inoltre previsti altri manufatti ad uso commerciale e pubblico di elevazione inferiore.

Prendendo in considerazione le opere che interferiscono direttamente con i terreni del sottosuolo si evidenzia la presenza di aree di parcheggio privato e pubblico/privato spinte fino a due livelli interrati (piano carrabile a circa -8.25m da p.c.).

Sono inoltre previste due direttrici di viabilità in profondità, che raccordano il sottopasso del Lingotto con via Nizza tramite una rotatoria anch'essa in profondità. La profondità massima di questi collegamenti (piano viario) è di circa -7.20m da p.c. Le fondazioni di tali opere sono approfondite rispetto ai valori indicati di circa 1.5m.

Ne risulta quindi che tali opere interferiscono con i depositi ghiaioso sabbiosi dei depositi fluviali e fluvioglaciali rissiani (Quaternario), per i quali, allo stato attuale delle conoscenze, non si evidenziano particolari problemi di tipo fondazionale.

Il quadro idrogeologico delineato dai dati a disposizione, evidenzia che le opere scavate in profondità (in particolare le aree di parcheggio sotterraneo su 2 livelli) si avvicinano al livello di escursione massima della falda superficiale, con un franco residuo di circa 4-5m.

Sulla base di una valutazione preliminare è ragionevole ipotizzare che l'interferenza tra opere e falda, data la modesta profondità delle opere più profonde e la buona permeabilità

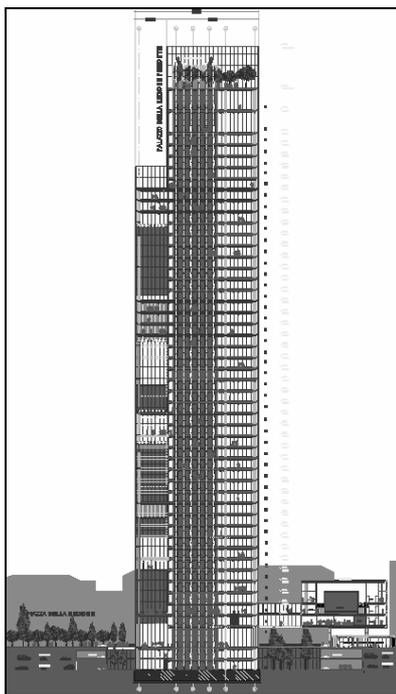
generale dei depositi, non possa causare fenomeni rilevanti di innalzamento del livello di falda in seguito a parziale ostruzione della sezione idraulica di deflusso.

#### **6.4 Valutazioni preliminari del cedimento medio delle fondazioni**

Si riporta di seguito la sintesi dei risultati di calcolo preliminari per la stima del cedimento medio delle fondazioni nel nuovo Palazzo della Regione. Tale valutazione è stata condotta già in questa fase per la particolare importanza dell'opera e, sebbene condotta con metodi già sofisticati (codici di calcolo ad elementi finiti bidimensionali), sarà realizzata in fase di Progetto Definitivo con modellizzazioni con codice di calcolo 3D che consentiranno una volta acquisito il quadro geologico e geotecnico di dettaglio una stima rigorosa dei cedimenti dell'edificio in oggetto, specie differenziali.

Questa modellizzazione con l'utilizzo di codici di calcolo 3D (FLAC ed ANSYS) consentirà di simulare le effettive condizioni di carico della fondazione in termini di distribuzione di forze e momento flettenti alla base dei pilastri.

Nella figura 6.2 si riporta il profilo del nuovo Palazzo della Regione, che prevede 47 piani (+2 interrati) per 220m d'altezza totale.



*Figura 6.2. Profilo del nuovo Palazzo della Regione.*

La figura 6.3 riporta la vista planimetrica (55x55 m) della platea dell'edificio con distribuzione di pilastri e setti. L'interasse tra i pilastri varia nell'intervallo 6.0÷10.5m.

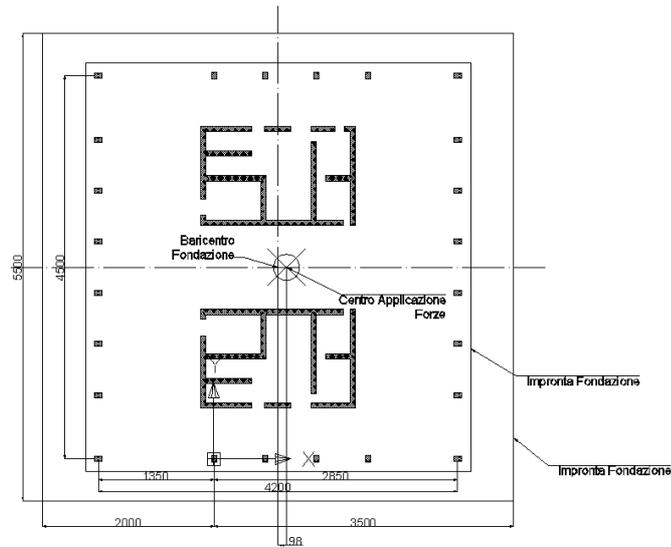


Figura 6.3. Pianta del nuovo Palazzo della Regione.

Il calcolo strutturale dell'edificio eseguito con il codice SAP2000 è sintetizzato, al fine delle analisi geotecniche per la platea di fondazione, nel seguente prospetto:

**Tabella 6.1** - Dati di input strutturali per il modello.

TABLE: Section Cut Forces - Design										
SectionCut	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	M2	M3	GlobalX	GlobalY	GlobalZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	m	m	m
SC-Base	DEAD	LinStatic	-615700	0	0	6670	-206996	8.484	22.5	-7.8
SC-Base	pp+perm	LinStatic	-465647	0	0	49645	1559625	8.484	22.5	-7.8
SC-Base	VARIABILI	LinStatic	-187848	0	0	18594	623326	8.484	22.5	-7.8
SC-Base	Wind-X	LinStatic	0	32153	0	0	3992772	8.484	22.5	-7.8
SC-Base	Wind-Y	LinStatic	0	0	29137	3634737	0	8.484	22.5	-7.8
SC-Base	Wind-Xecc+	LinStatic	0	32153	0	0	3992772	8.484	22.5	-7.8
SC-Base	Wind-Yecc+	LinStatic	0	0	29137	3634737	0	8.484	22.5	-7.8
SC-Base	Wind-Xecc-	LinStatic	0	32153	0	0	3992772	8.484	22.5	-7.8
SC-Base	Wind-Yecc-	LinStatic	0	0	29137	3634737	0	8.484	22.5	-7.8

Di particolare rilevanza è la sommatoria dei carichi verticali (P) dovuti a pesi propri ed accidentali che incidono direttamente sull'entità dei cedimenti "medi" di fondazione.

Di seguito si riportano i risultati delle analisi progettuali in termini di:

- cedimenti della platea di fondazione nel breve e lungo periodo (LT) con relative rotazioni angolari ( $\beta$ );
- capacità portante della platea di fondazione.

#### 6.4.1 Ipotesi per il calcolo dei cedimenti

E' stato utilizzato il codice di calcolo agli elementi finiti PHASE2 (versione 6.025), sviluppato dall'Università di Toronto e dalla Rocscience (Toronto, Canada), con il quale sono stati generati differenti modelli con mesh ad elementi triangolari a 6 nodi.

I modelli riproducono la geometria del problema in termini di:

- stratigrafia del terreno;
- consolidamento con colonne jet-grouting del terreno sottostante la fondazione;
- dimensioni ed approfondimento della platea di fondazione;
- pressione uniforme trasmessa alla platea dalla sovrastruttura in elevazione (1).

Le posizioni dei bordi modello sono state scelte in modo tale da ridurre il disturbo arrecato alla soluzione numerica in prossimità della fondazione dell'edificio.

In particolare i modelli consentono di valutare non solo l'entità dei cedimenti ma anche l'efficacia o meno di interventi di consolidamento del terreno di fondazione mediante colonne di jet-grouting.

Per tener conto della geometria effettiva della fondazione è stata utilizzata l'opzione di assial-simmetria, con la quale si simula un'area di carico con impronta circolare di raggio equivalente funzione dell'area rettangolare della platea. L'asse verticale di simmetria è posizionato in corrispondenza dell'ascissa  $x=0$ .

Nella seguente figura è riportata la vista globale della mesh di calcolo e la geometria di input in termini di stratigrafia, dimensioni platea ed intervento con jet-grouting.

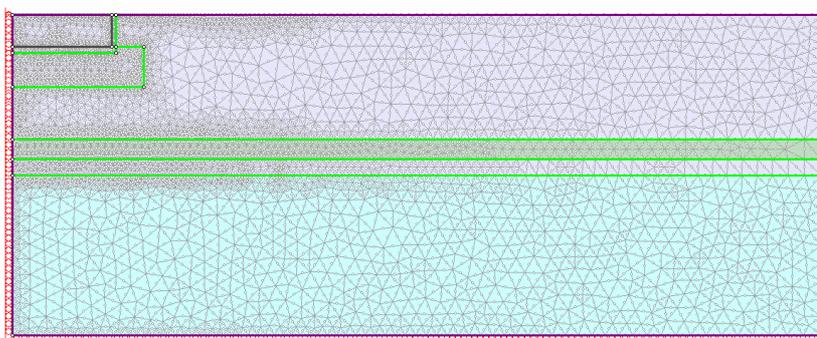


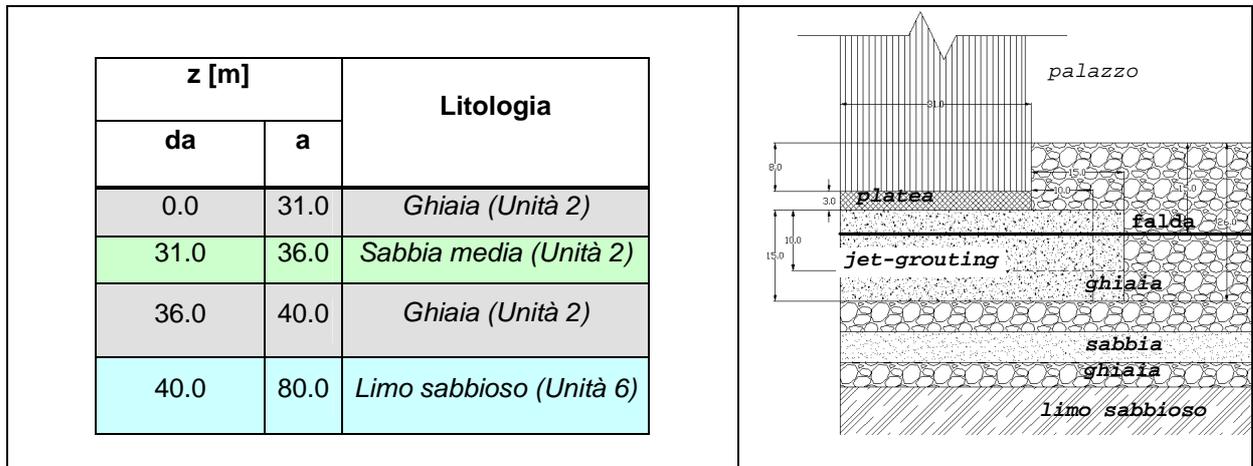
Figura 6.4. Mesh di calcolo.

Per quanto concerne la stratigrafia (ricavata dai log dei sondaggi a disposizione ad oggi eseguiti) vale quanto segue:

---

(<sup>1</sup>) L'assunzione di pressione uniforme sulla platea, non realistica per la presenza di una distribuzione di forze orizzontali (vento e sisma) che rendono eccentrica la risultante dei carichi verticali, si rende necessaria vista l'ipotesi di calcolo in condizioni di simmetria assiale. Da qui un rafforzamento della necessità di passare a modellazioni 3D.

**Tabella 6.2** - Stratigrafia di calcolo.



I terreni sono prettamente granulari, specie per gli strati immediatamente sottostanti la platea di fondazione (ghiaie e sabbie). I cedimenti che si sviluppano in seguito alla costruzione del palazzo si esauriscono praticamente a tempo zero, in ogni caso entro il completamento dell'edificio. Il comportamento è di tipo drenato con sviluppo di cedimenti immediati ( $s_i$ ) ed assenza significativa di fenomeni di consolidazione nel tempo; questi ultimi potrebbero presentarsi, tutt'al più, negli strati profondi limoso-sabbiosi allorchè la componente limosa fosse preponderante in modo marcato rispetto alla sabbiosa. Solo l'esecuzione di sondaggi profondi *ad hoc* e prelievo di campioni può fornire informazioni aggiuntive su tali litologie. Al momento si ipotizza un comportamento granulare anche per i limi-sabbiosi.

Non si ravvisa nei materiali litologici in esame, trattandosi per lo più di terreni granulari (ghiaie e sabbie), un comportamento viscoso nel lungo periodo in seguito allo sviluppo di una consolidazione secondaria. Tuttavia per stimare l'eventuale evoluzione del cedimento nel lungo periodo, si può assumere un decadimento del modulo di elasticità assegnato al jet-grouting almeno del 50%.

Il coefficiente di spinta a riposo ( $K_0$ ) è stato assunto pari a 0.5. Lo stato tensionale iniziale è gravitativo ottenuto per applicazione dei pesi di volume degli strati di terreno e della gravità, in accordo al valore di  $K_0$  sopra ipotizzato.

Nel calcolo non è stata implementata la falda, prevista a -15 m dal piano campagna, per limiti di modellazione Phase in condizioni di simmetria assiale. In ogni caso per il calcolo elastico dei cedimenti è incidente la variazione tensionale  $\Delta\sigma_v$  conseguente all'applicazione del

carico, coincidente con la variazione tensionale totale  $\Delta\sigma_v$ . E' ovvio che tale assunzione non inficia in alcun modo i risultati.

Il calcolo è eseguito in condizioni elastico-lineari con riferimento ai seguenti parametri di elasticità in termini di modulo di Young ( $E'$ ) e coefficiente di Poisson ( $\nu$ ). Si indicano inoltre in tabella i pesi di volume ( $\gamma$ ).

**Tabella 6.3** -. Parametri elastici di calcolo.

z [m]		Litologia	E' [MPa]	$\nu$ [-]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
da	a				
0.0	31.0	Ghiaia	150	0.25	20.0
31.0	36.0	Sabbia media	100	0.30	19.0
36.0	40.0	Ghiaia	150	0.25	20.0
40.0	80.0	Limo sabbioso	60	0.30	19.0

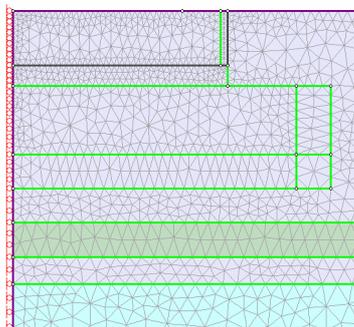
Per i materiali strutturali ed il terreno consolidato è stato assunto quanto segue:

**Tabella 6.4** - Parametri di calcolo per fondazione e jet-grouting.

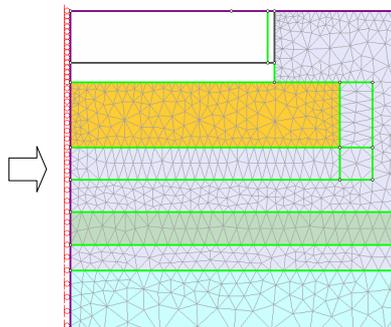
Materiale	E' [MPa]	$\nu$ [-]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
Fondazione	32500	0.20	25.0
Jet-Grouting	2500	0.25	22.0

Per la platea di fondazione in calcestruzzo armato si considera uno spessore medio di prima approssimazione pari a 3.0m.

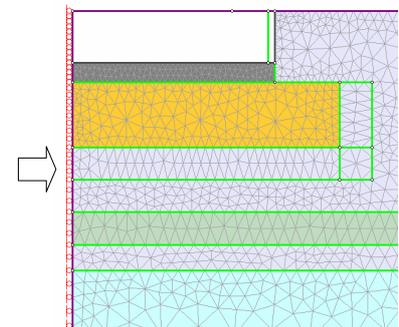
Di seguito si riporta la sequenza di calcolo assunta:



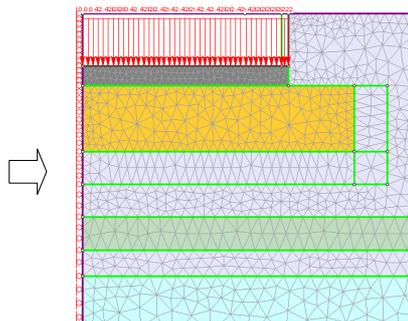
Fasi 1 – inizializzazione



Fase 2 – Scavo di fondazione e attivazione consolidamento



Fase 3 – Simulazione platea



Fase 4 – Applicazione pressioni sulla fondazione

Figura 6-5. Mesh di calcolo.

La pressione media applicata sulle fondazioni dall'edificio è stata estrapolata dai risultati del calcolo con il codice SAP2000 (vedere tabella 6.1). Si ricava un valore di forza verticale globale trasmessa alla platea di fondazione (DEAD+pp+perm+VARIABILI) pari a ~1270000 kN. Essendo l'impronta della platea dell'edificio di forma rettangolare e dimensioni 55x55 m, si deduce la pressione lorda ( $p_l$ ):

$$p_l = \frac{1270000}{55 \times 55} = 420 \text{ kPa}$$

Tenendo conto dell'approfondimento della fondazione di circa 11m dal piano campagna, la pressione netta ( $p_n$ ) risulta pari a:

$$p_n = p_l - \sigma_{v0} = 420 - 11 \cdot 20 \cong 200 \text{ kPa}$$

Non è stata considerata la pressione trasmessa dalla platea di fondazione con il suo peso proprio (dell'ordine dei 25·3: 75 kPa, essendo rispettivamente 25 kN/m<sup>3</sup> il peso di volume del cls e 3 lo spessore della platea) in quanto direttamente simulata nel calcolo numerico.

Sono stati generati 3 differenti modelli aventi le seguenti peculiarità:

- *Analisi 1: assenza del consolidamento del terreno di fondazione;*
- *Analisi 2: presenza del consolidamento con spessore medio di 10 m al di sotto della fondazione;*
- *Analisi 3: presenza del consolidamento con spessore medio di 15 m al di sotto della fondazione.*

La seguente figura mostra la geometria di calcolo in corrispondenza della platea di fondazione per le suddette analisi:

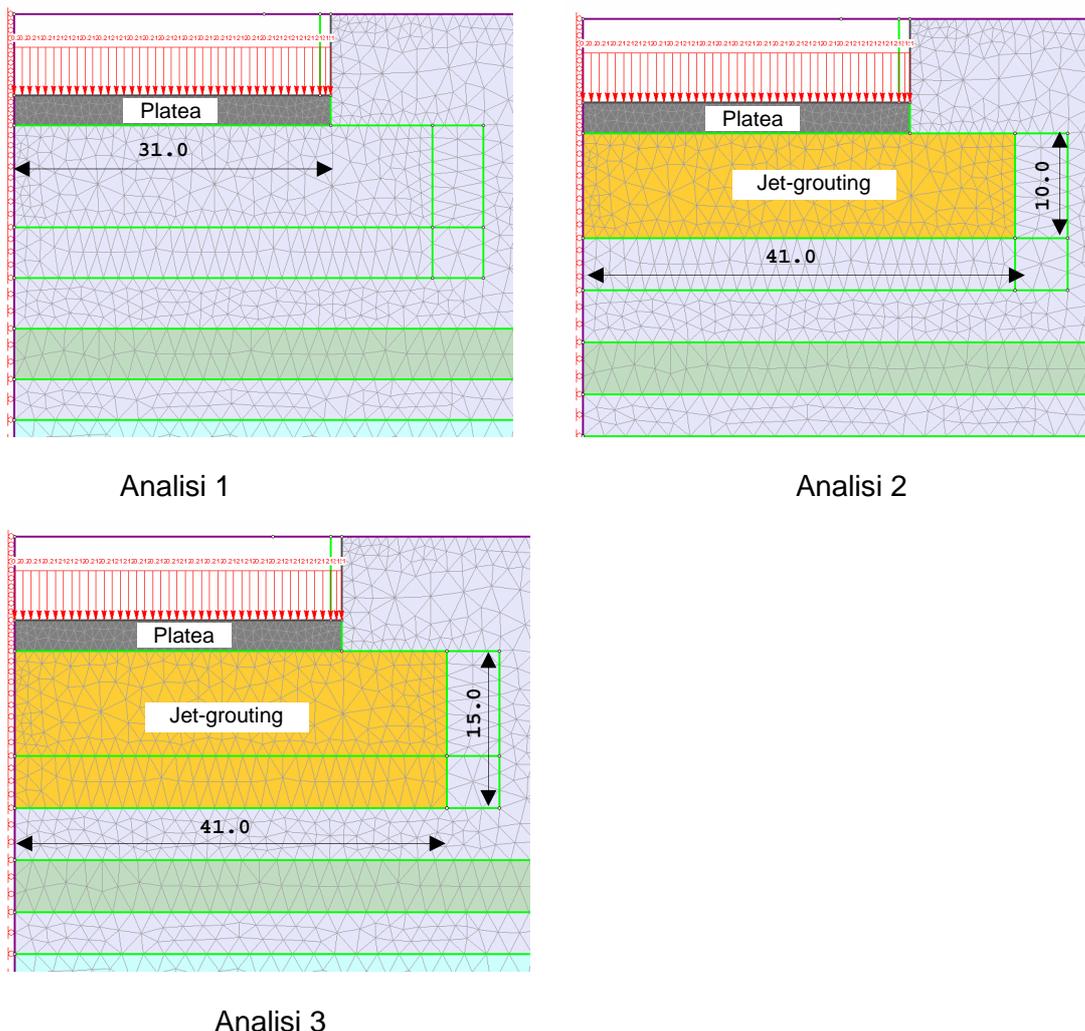


Figura 6.6. Geometrie del trattamento jetting.

Come anticipato in precedenza, per la platea è stata ipotizzata una forma circolare approssimata di raggio equivalente ( $R_{eq}$ ) pari a:

$$R_{eq} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4 \cdot B \cdot L}{\pi}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4 \cdot 55 \cdot 55}{\pi}} \sim 31 \text{ m}$$

#### 6.4.2 Risultati di calcolo dei cedimenti

Sono riportati di seguito i risultati di calcolo in termini di spostamenti verticali nel terreno sotto il piano di fondazione della platea per le tre analisi citate.

Gli spostamenti sono relativi alla fase 4 di applicazione della pressione rispetto alla fase 2 (fase di scavo sino al piano di posa della fondazione).

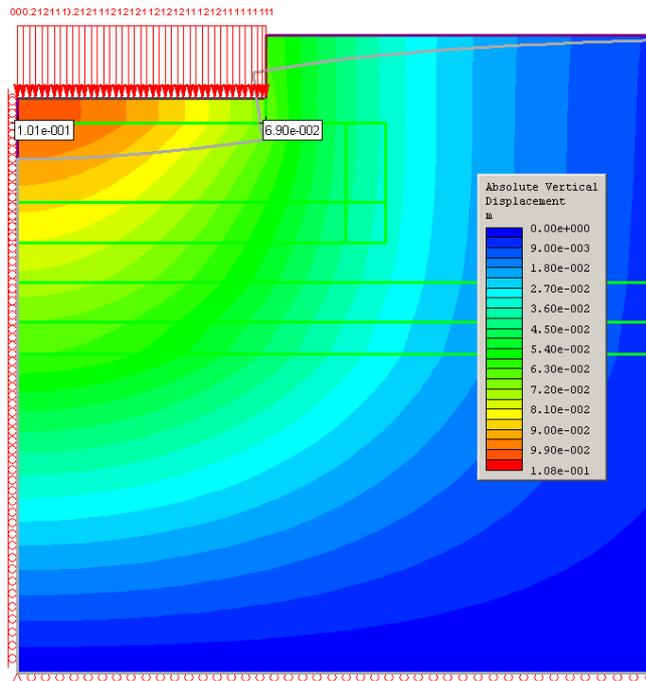


Figura 6.7. Analisi 1. Spostamenti verticali (fase4-fase2).

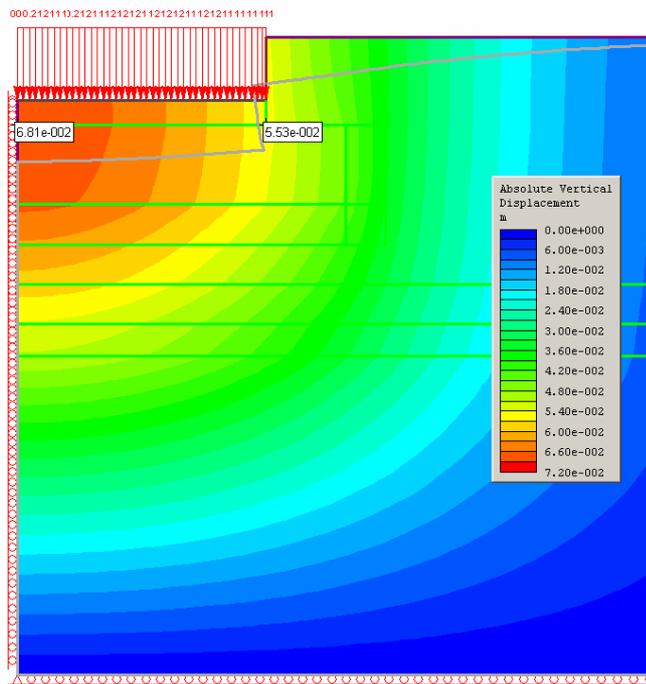


Figura 6.8. Analisi 2. Spostamenti verticali (fase4-fase2).

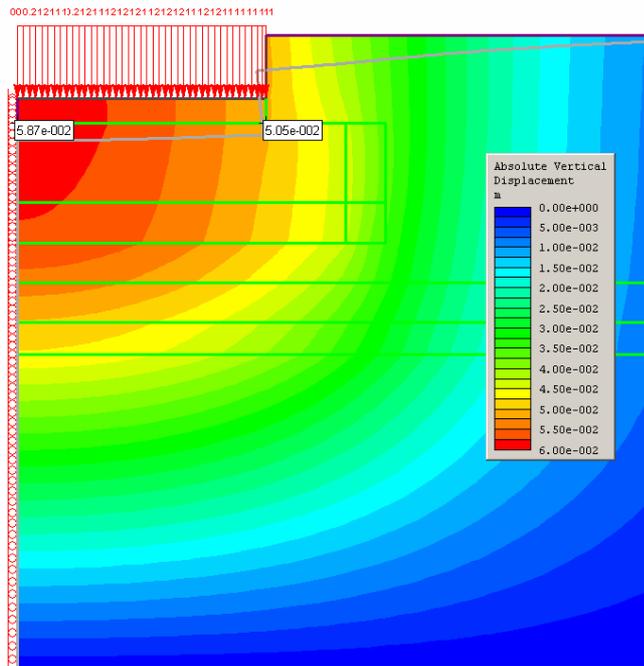


Figura 6.9. Analisi 3. Spostamenti verticali (fase4-fase2).

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori di rotazione relativa ( $\beta$ ) e cedimento differenziale ( $\Delta s$ ) per le condizioni di analisi assunte. Si ipotizza un interasse dei pilastri P1÷P4 pari a 6.0-7.5 m, come indicato nello schema che segue:

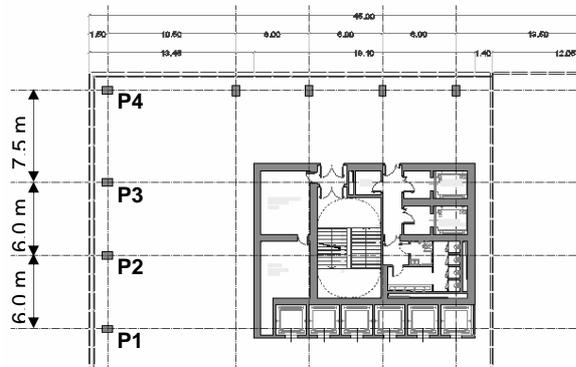


Figura 1. Pianta pilastri edificio.

**Tabella 6.5** - Analisi 1. Rotazioni relative e cedimenti differenziali.

Pilastro	s [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta s$ [m]	$\beta$ [rad]
P1	0.101	-	-	-
P2	0.098	6.0	0.003	1/2213
P3	0.093	6.0	0.005	1/1127
P4	0.083	7.5	0.010	1/756

(\*)  $\Delta s$ :  $s_i - s_j$ ;  $\beta = \Delta s / (X_i - X_j)$ .

**Tabella 6.6** - Analisi 2. Rotazioni relative e cedimenti differenziali.

Pilastro	s [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta s$ [m]	$\beta$ [rad]
P1	0.068	-	-	-
P2	0.067	6.0	0.001	1/5446
P3	0.065	6.0	0.002	1/2772
P4	0.061	7.5	0.004	1/1858

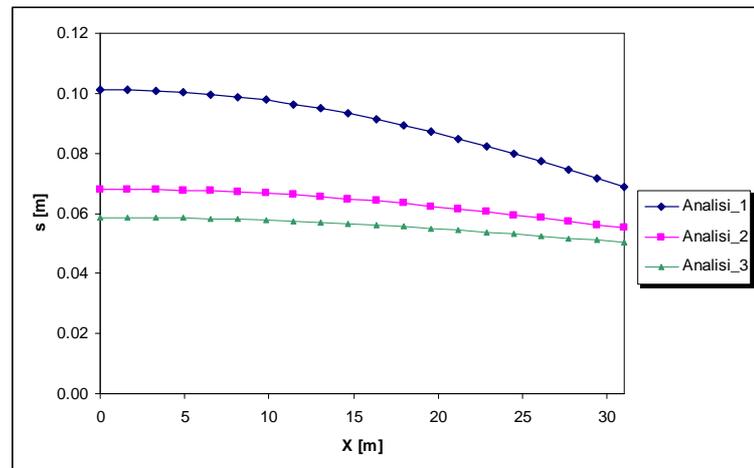
(\*)  $\Delta s: s_i - s_j; \beta = \Delta s / (X_i - X_j)$ .

**Tabella 6.7** - Analisi 3. Rotazioni relative e cedimenti differenziali.

Pilastro	s [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta s$ [m]	$\beta$ [rad]
P1	0.059	-	-	-
P2	0.058	6.0	0.001	1/8516
P3	0.057	6.0	0.001	1/4305
P4	0.054	7.5	0.003	1/2872

(\*)  $\Delta s: s_i - s_j; \beta = \Delta s / (X_i - X_j)$ .

La seguente figura riporta il confronto tra i profili di cedimento del piano di fondazione per le analisi eseguite:



*Figura 6-11. Profili di cedimento del piano di fondazione.*

La presenza del consolidamento oltre a determinare una significativa riduzione nei valori massimi di cedimento comporta anche un'omogeneizzazione dello stesso ravvisabile in un decremento delle rotazioni angolari relative  $\beta$ , come ben evidenziato nella figura seguente.

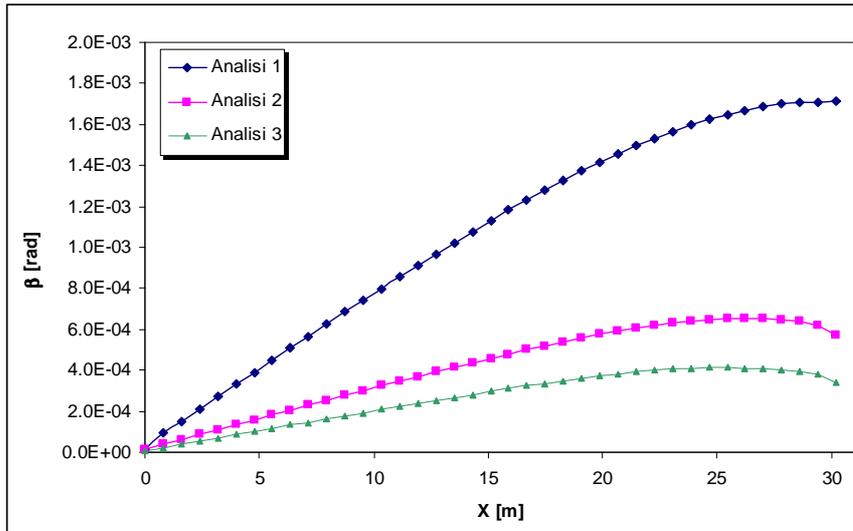


Figura 6.12. Profili di rotazione angolare relativa del piano di fondazione.

Nella seguente tabella si scorpora dal cedimento totale la quota parte di cedimento afferente ai limi sabbiosi profondi.

**Tabella 6.8** - Cedimenti totali e componente nei limi-sabbiosi.

Analisi	$S_{tot}$ [cm]	$S_{limi}$ [cm]	$S_{limi}/S_{tot}$ [%]
1	10.1	6.3	62%
2	6.8	5.1	75%
3	5.9	4.7	80%

(\*) I cedimenti si riferiscono al centro della platea ( $X=0$ ).

Alla luce di quanto detto in precedenza, si riportano di seguito gli spostamenti verticali di lungo periodo (LT) per le analisi 2 e 3, avendo ridotto il modulo di elasticità del jetting del 50% ( $E'_{j,LT}=1250$  MPa).

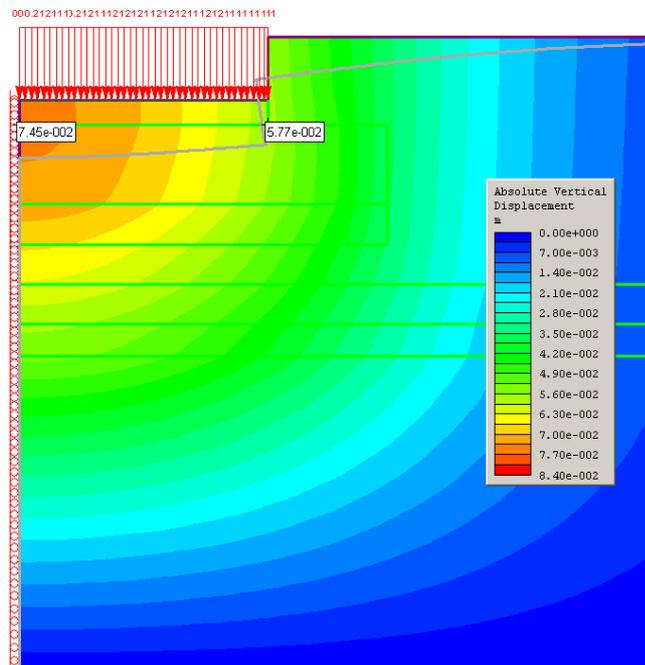


Figura 6.13. Analisi 2 (LT). Spostamenti verticali (fase4-fase3).

**Tabella 6.9** - Analisi 2 (LT). Rotazioni relative e cedimenti differenziali.

Pilastro	$s$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta s$ [m]	$\beta$ [rad]
P1	0.074	-	-	-
P2	0.073	6.0	0.001	1/4159
P3	0.070	6.0	0.003	1/2119
P4	0.065	7.5	0.005	1/1429

(\*)  $\Delta s: s_i - s_j$ ;  $\beta = \Delta s / (X_i - X_j)$ .

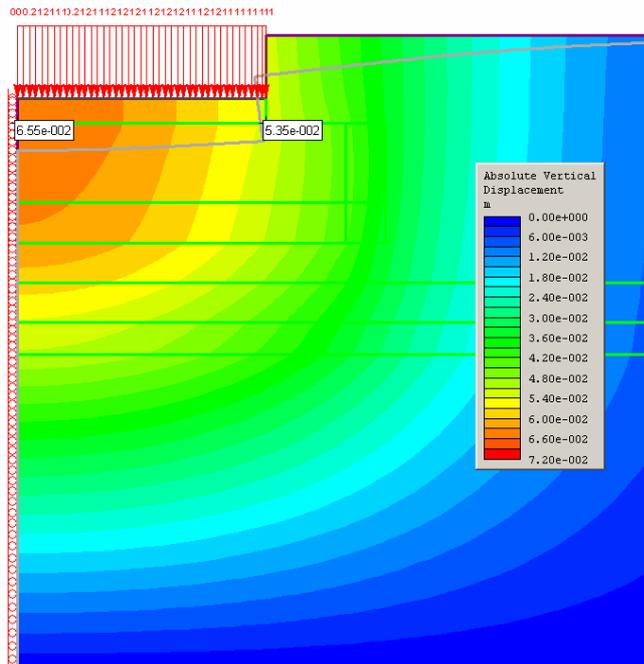


Figura 6.14. Analisi 3 (LT). Spostamenti verticali (fase4-fase3).

**Tabella 6-10** - Analisi 3 (LT). Rotazioni relative e cedimenti differenziali.

Pilastro	s [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta s$ [m]	$\beta$ [rad]
P1	0.065	-	-	-
P2	0.064	6.0	0.001	1/5790
P3	0.062	6.0	0.002	1/2941
P4	0.058	7.5	0.004	1/1981

(\*)  $\Delta s: s_i - s_j$ ;  $\beta = \Delta s / (X_i - X_j)$ .

Il seguente prospetto evidenzia il confronto tra cedimenti di breve e lungo periodo (LT) per le analisi con consolidamento.

**Tabella 6.11** - Confronto tra cedimenti di breve e lungo periodo (LT)

Analisi	s [cm]	$s_{LT}$ [cm]	$\Delta s_{LT}$ [cm]
2	6.8	7.5	0.7
3	5.9	6.6	0.7

Si riporta l'andamento delle tensioni geostatiche iniziali e in seguito all'applicazione del carico di fondazione + peso platea. La variazione tra le due si esaurisce entro i 15÷20 m di profondità.

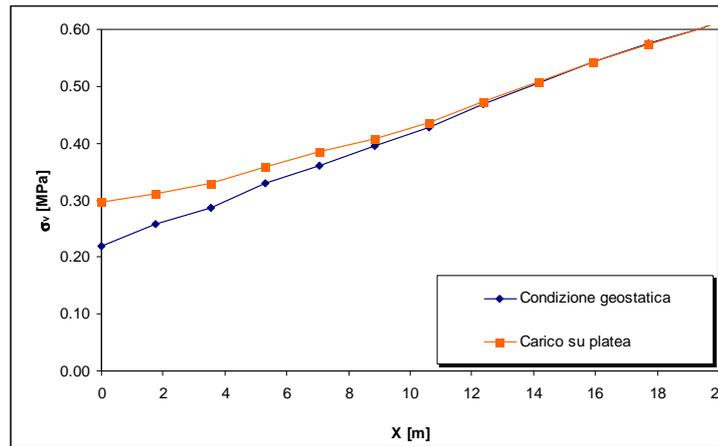


Figura 6.15. Andamento tensionale verticale.

Infine si stima la rotazione della fondazione in presenza di azioni flettente sul piano di posa mediante la seguente formulazione:

$$\tan\theta = \frac{1-\nu^2}{E'} \cdot \frac{M}{B^2 \cdot L} \cdot I_\theta$$

essendo  $I_\theta \sim 4$  (per  $L/B=1$ ) e fondazione rigida (Taylor, 1967). La seguente tabella sintetizza i valori di calcolo per la fondazione in oggetto:

**Tabella 6.12** -. Calcolo della rotazione della platea.

E' [MPa]	v [-]	B [m]	L [m]	M [kN·m]	tanθ
150	0.25	55	55	7315000	~1/900

### 6.4.3 Capacità portante

E' stata eseguita una valutazione di capacità portante della fondazione avendo assunto parametri drenati. La formulazione di riferimento è quella di Brich-Hansen di seguito esplicitata:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

Si assume un angolo di resistenza al taglio efficace ( $\phi'$ ) pari a 35°, con riferimento al solo strato di ghiaia. Cautelativamente nel calcolo non si assume la presenza del consolidamento con jet-grouting.

Le sollecitazioni di calcolo, ricavate direttamente dal prospetto di Tabella 6.1, sono riassunte nella seguente tabella in termini di forza assiale (N), momento flettente (M) e forza orizzontale di scorrimento (V).

**Tabella 6.13** - Valori delle sollecitazioni

N [kN] (*)	V [kN]	M [kN·m] (**)
1497000	32153	7315000

- (\*) rispetto ai risultati SAP2000, al valore di N è stato sommato anche il peso della platea di impronta 55x55 m e spessore 3 m, peso pari a circa 227000 kN.
- (\*\*) rispetto a SAP2000 i momenti flettenti tengono conto anche del trasporto delle sollecitazioni dal piano -7.8 m sino al piano di posa della fondazione posto 3 m sotto.

Il calcolo del fattore di sicurezza a capacità portante della fondazione è stato condotto in accordo alle indicazioni tecniche del NTU, con applicazione di coefficienti parziali ad azioni e resistenze del terreno.

In particolare i carichi sono stati moltiplicati per "1.3" e la tangente di  $\phi'$  ridotta di "1.25" (combinazione A2+M2; NTU §7.2.5).

Si ottiene un fattore di sicurezza pari a circa 10, ( $q_{lim}$  pari a circa  $1.5 \cdot 10^7$  kN).

#### 6.4.4 Coefficienti di sottofondo

A conclusione del paragrafo §6.4 si riporta una stima del coefficiente di sottofondo o modulo di reazione ( $k_s$ ) nell'ipotesi di assumere un'interazione terreno/struttura alla Winkler (1867) ossia mediante un sistema di molle di rigidità proporzionale ai parametri di deformabilità propri dei terreni di fondazione.

Tale coefficiente può trovare applicazione nei successivi livelli di progettazione qualora si ricorra all'utilizzo di codici di calcolo che prevedono un'interazione semplificata solo mediante sistema di molle.

Per la stima di  $k_s$  esistono in letteratura numerose correlazioni e/o indicazioni in funzione delle litologie e delle dimensioni geometriche della fondazione. Nel presente documento si utilizza la nota formulazione di Vesic (1961) di seguito esplicitata:

$$k_s = \frac{E}{B \cdot (1 - \nu^2)}$$

essendo E il modulo di deformabilità del terreno e B la dimensione rappresentativa della fondazione.

Per la fondazione in esame si assumono i seguenti parametri di input per il calcolo di  $k_s$ :

<b>n<sub>colonne</sub></b>	800	-
<b>D<sub>colonne</sub></b>	1.50	m
<b>A<sub>colonne</sub></b>	1.77	m <sup>2</sup>
<b>E<sub>colonne</sub></b>	2500	MPa
<b>B</b>	55	m
<b>H</b>	55	m
<b>E<sub>terreno</sub></b>	150	MPa

<b>E<sub>medio</sub></b>	1248	MPa
<b>B</b>	55	m
<b>n</b>	0.3	-

<b>k<sub>s</sub></b>	<b>24.9</b>	<b>MPa/m<sup>3</sup></b>
	<b>2.5</b>	<b>kg/cm<sup>3</sup></b>

<b>k<sub>s,d</sub></b>	<b>74.8</b>	<b>MPa/m<sup>3</sup></b>
	<b>7.5</b>	<b>kg/cm<sup>3</sup></b>

**k<sub>s</sub>**           coefficiente di sottofondo statico  
**k<sub>s,d</sub>**          coefficiente di sottofondo dinamico

Per la stima di  $E_{\text{medio}}$  al di sotto della platea di fondazione è stata considerata la media ponderata tra modulo del terreno ghiaioso e modulo delle colonne jetting, ipotizzando per queste ultime un diametro di 1.5 m e una disposizione a quinconce con interasse 2.5 m. Il valore di  $k_{s,d}$  da assumere nelle analisi strutturali con azioni esterne dinamiche (es. vento) è stato valutato applicando un ragionevole fattore di incremento pari a 3 al valore statico  $k_s$ .

## 6.5 Approfondimenti per la fase di Progetto Definitivo

Nel progetto definitivo, avendo acquisito i risultati delle indagini geognostiche e quindi la ricostruzione stratigrafica precisa del terreno, per la valutazione dell'entità dei cedimenti e dimensionamento della platea di fondazione si procederà all'analisi tridimensionale agli elementi finiti utilizzando il codice numerico ANSYS.

Il modello strutturale utilizzato sarà un modello tridimensionale, di dimensione tale da evitare l'interferenza tra il bulbo di pressione formato in seguito all'applicazione dei carichi trasmessi dalla struttura in elevazione alla platea di fondazione.

Verranno utilizzati i seguenti tipi di elementi della libreria ANSYS:

- SOLID45 con otto nodi e con tre gradi di libertà per nodo: traslazioni nelle direzioni x, y e z. Questo elemento viene usato per rappresentare il terreno e la platea di fondazione.
- SHELL43 con quattro nodi e con sei gradi di libertà per nodo: traslazioni nelle direzioni x, y, e z e rotazioni attorno ai medesimi assi. Questo elemento può essere usato in alternativa all'elemento SOLID45 per rappresentare la platea di fondazione.

Per gli elementi appena descritti viene assunta una legge di comportamento di tipo elastico-lineare.

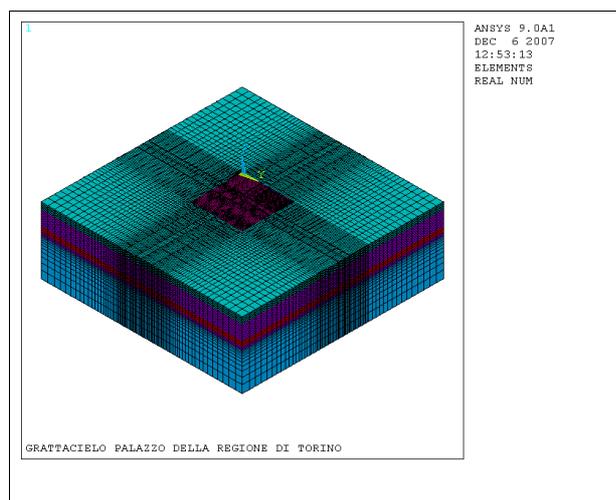
Nelle figure 6.16 e 6.17 è riportato il modello di calcolo agli elementi finiti che verrà utilizzato nel progetto definitivo.

### 6.5.1 Carichi e vincoli applicati

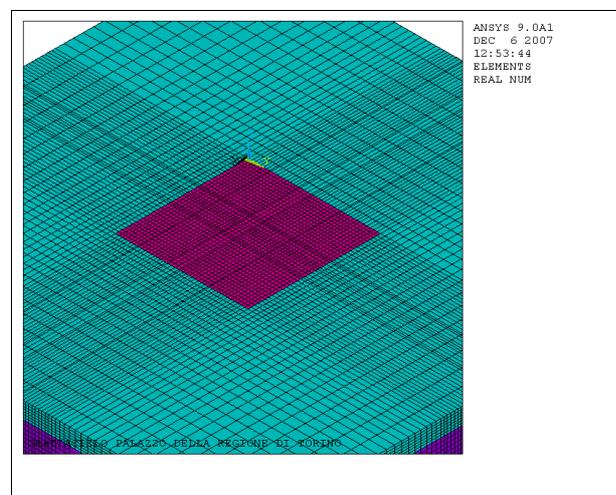
Lo stato iniziale del terreno è gravitativo e di conseguenza il coefficiente a riposo viene calcolato con il rapporto  $K= v/(1-v)$ . I carichi sulla platea di fondazione vengono applicati in corrispondenza dei pilastri, trasmessi dalla struttura in elevazione sulla platea stessa.

I bordi del modello sono vincolati lateralmente, nelle direzioni X e Y, in modo da consentire lo spostamento in direzione verticale, mentre la base del modello è stato vincolato nelle tre direzioni X, Y e Z.

**Figura 6.16** - Modello agli elementi finiti. Platea di fondazione e terreno circostante



**Figura 6.17** - Modello agli elementi finiti. Dettaglio della platea di fondazione e del terreno circostante



## **7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI**

I dati a disposizione hanno permesso di ricostruire, con una buona approssimazione, il quadro geologico-geotecnico ed idrogeologico nel quale le opere previste nel Progetto Preliminare del Nuovo Palazzo della Regione Piemonte saranno inserite.

Inoltre, l'analisi dei dati permette di valutare con necessaria accuratezza l'interazione tra le opere previste nel Progetto ed il sottosuolo e di evidenziare le problematiche che saranno approfondite nelle successive fasi progettuali.

In particolare, ai fini del dimensionamento delle fondazioni del Palazzo della Regione, saranno valutate le caratteristiche di portanza dei terreni sia per determinare i carichi ammissibili sia per progettare le opere di fondazione necessarie a contrastare le diverse azioni che tale opera subirà (p. es. l'effetto di spinta del vento). In ogni caso, la scelta fondazionale di progetto prevederà un piano di appoggio omogeneo ed in grado di assorbire eventuali deformazioni disomogenee dei terreni di fondazione, attraverso un miglioramento delle caratteristiche di resistenza e deformabilità intrinseche.

I dati necessari alla definizione di un modello geologico di dettaglio ed alla caratterizzazione puntuale dei parametri geotecnici saranno forniti dal piano di indagini geognostiche e dalle indagini di laboratorio correlate in via di svolgimento.

La verifica della superficie della falda superficiale dovrà essere eseguita in un intervallo di tempo sufficientemente protratto sia nelle verticali di indagini eseguite per la caratterizzazione geotecnica sia in appositi piezometri da installare sull'area in modo da permettere una buona copertura areale ed un significativo intervallo di monitoraggio del livello.

Le analisi dei cedimenti evidenziano valori di cedimento e rotazioni accettabili sia nel breve che lungo periodo.

Per la validità dei risultati è bene, comunque, precisare quanto segue:

- la parametrizzazione geotecnica dei terreni è stata basata esclusivamente su informazioni estrapolate dalla progettazione e dal corso d'opera inerenti la Metropolitana di Torino;
- le analisi numeriche portano con sé le approssimazioni del calcolo con il codice numerico "Phase";
- i parametri geotecnici dovranno essere affinati sulla base delle indagini in sito e laboratorio previste ed in parte in fase di completamento. La stima e validazione del decorso dei cedimenti nel tempo molto sarà legata all'esito di tali indagini;
- è necessario il completamento della campagna di sondaggi per la ricostruzione stratigrafica effettiva del sito di fondazione;

- per la successiva fase progettuale sarà implementata l'esecuzione di analisi 3D sofisticate con configurazione completa dei carichi al fine di stimare le rotazioni della platea e come base per un suo dimensionamento strutturale.

Per quanto concerne il trattamento del terreno di consolidazione, la presenza del jet-grouting contribuisce sicuramente a ridurre l'entità dei cedimenti e le rotazioni angolari relative.

## 8 BIBLIOGRAFIA

BONSIGNORE, G., BORTOLAMI, G., ELTER, G., MONTRASIO, A., PETRUCCI, F., RAGNI, U., SACCHI, R., STURANI, C. ZANELLA, E. 1969. "Carta geologica d'Italia" e "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia" fogli 56 e 57 (Torino e Vercelli). Servizio Geologico d'Italia, Roma.

BORTOLAMI, G., DE LUCA, D., FILIPPINI, G. 1990. "Le acque sotterranee della pianura di Torino. Aspetti e problemi". Provincia di Torino, Assessorato Ecologia.

BOWLES, J.E., 1991. "Fondazioni - Progetto e analisi", McGraw-Hill.

CARRIERI, G., CROVA, R., GRASSO, P.G., GUGLIELMETTI, V. 2004, Torino Metro Line 1, The tunnel excavation of the first section.

CIVITA, M., PIZZO, S. 2001. "L'evoluzione spazio-temporale del livello piezometrico dell'acquifero libero nel sottosuolo di Torino", GEAM n°4 dicembre.

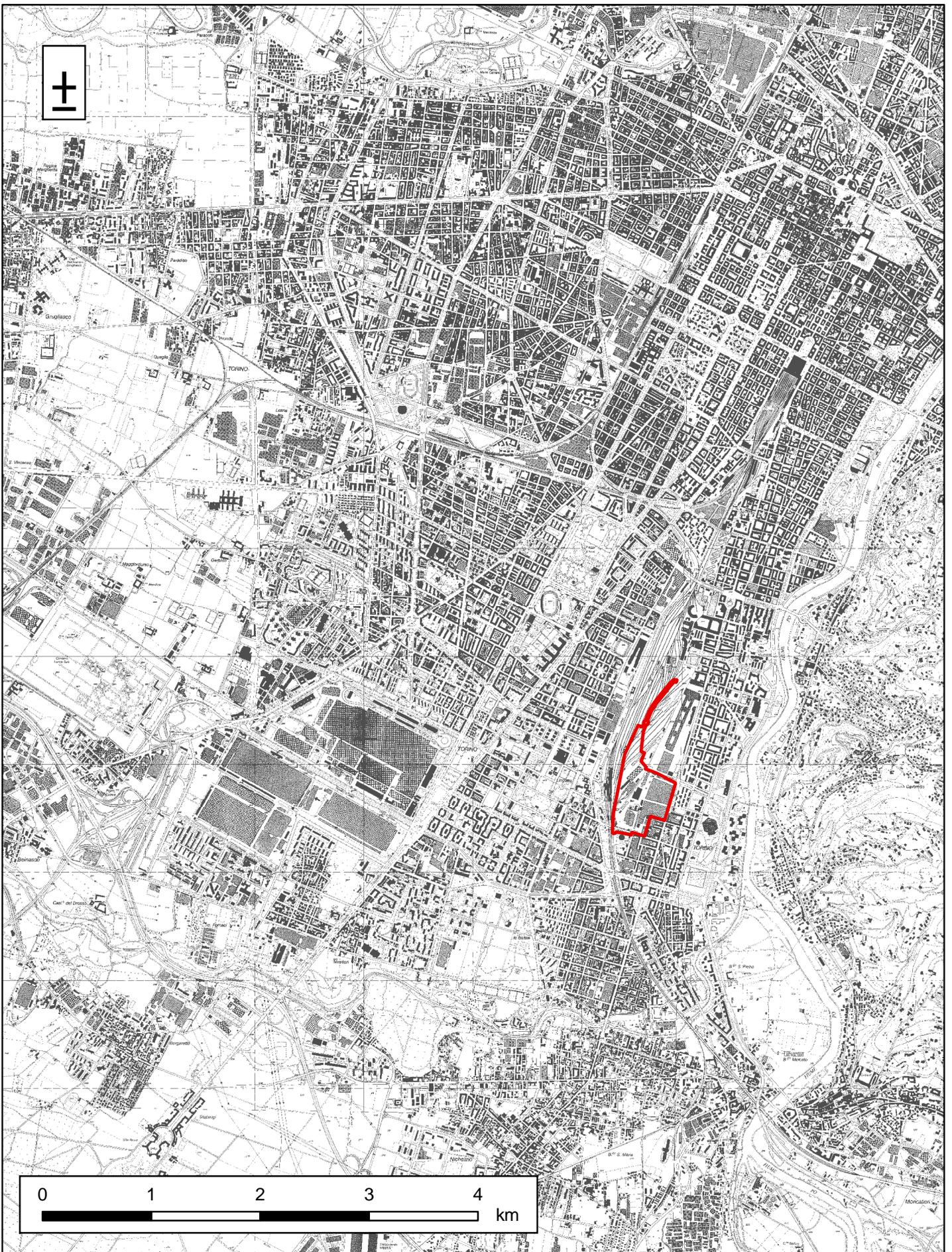
FRANCERI, E., BORTOLAMI, G., RICCI, B. 1980. "Lineamenti geoidrologici della provincia di Torino con riferimento allo stato idrogeochimico delle falde del sottosuolo dell'area ecologico torinese". Provincia di Torino – Assessorato Ecologia.

LANCELLOTTA, R., 1993. "Geotecnica", 1993

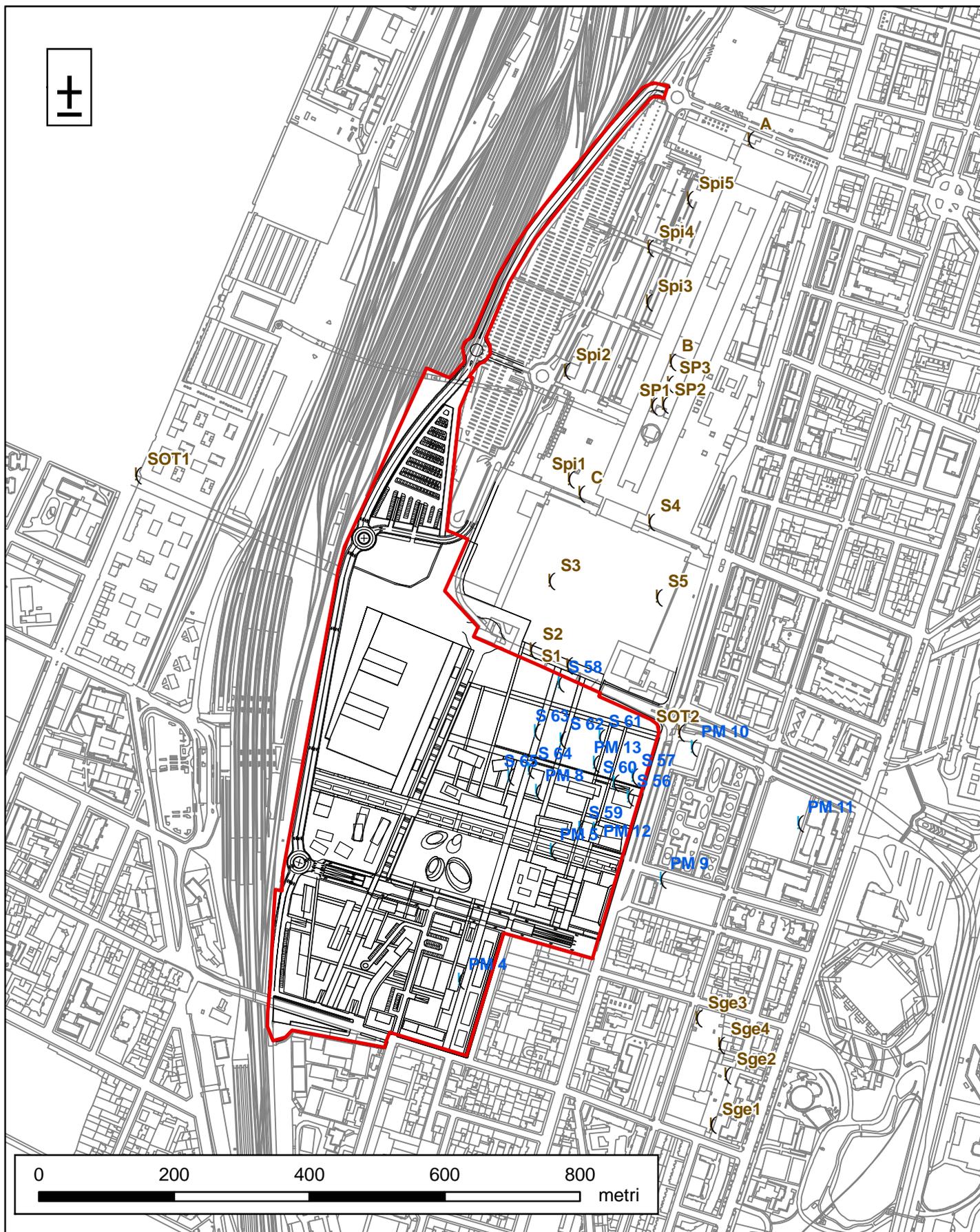
RICCI, G., ENRIONE, R., EUSEBIO, A., CROVA, R. 2007. "Numerical modelling of the interference between underground structures and acquifers in urban environment. The Turin subway – Line 1". Underground Space – the 4<sup>th</sup> Dimension of Metropolises.

## ALLEGATO 1

- Tavola 1: Inquadramento geografico dell'area del Progetto Preliminare
- Tavola 2: Ubicazione delle indagini geognostiche reperite ed utilizzate ai fini dell'inquadramento geologico ed idrogeologico
- Tavola 3: Estratto dalla Carta Geologica foglio n. 56 "Torino" alla scala 1:100.000
- Tavola 4: Carta del pannello piezometrico della falda superficiale
- Tavola 5: Sezione geologica di riferimento con indicazione delle opere in progetto
- Tavola 6: Profilo geologico per il Progetto Definitivo - Bozza



**Inquadramento geografico dell'area del Progetto Preliminare (area in rosso)**



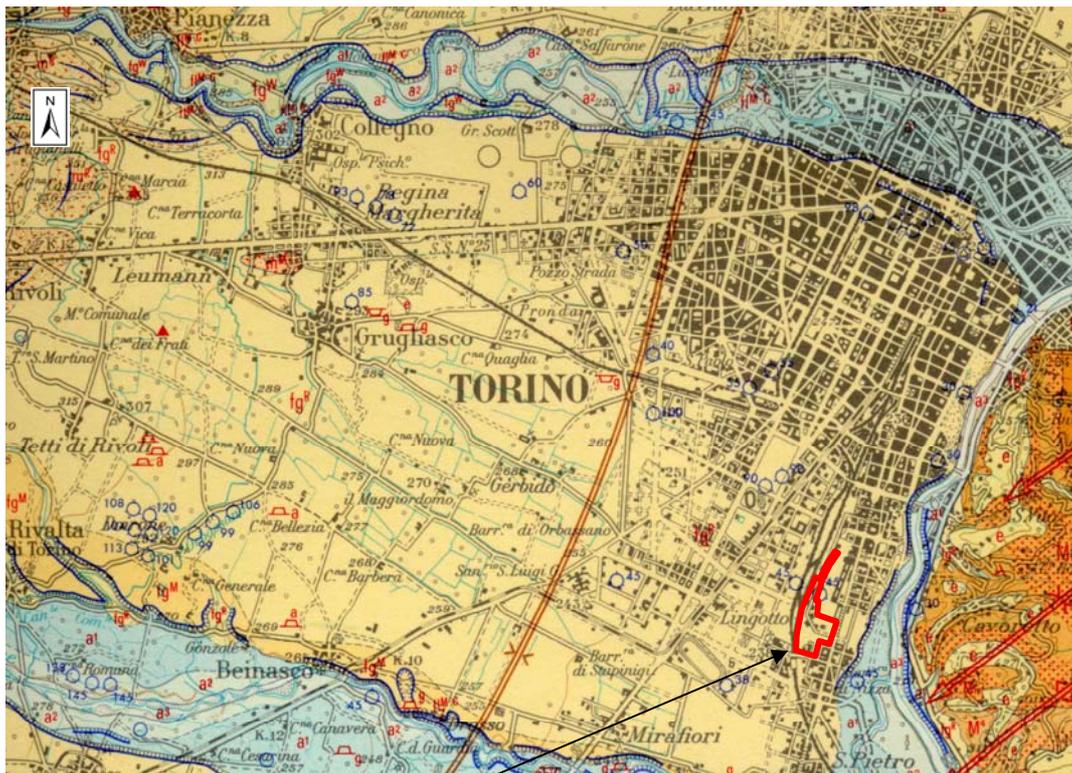
### Ubicazione dei sondaggi geognostici reperiti ed utilizzati per la caratterizzazione del quadro geologico, geotecnico ed idrogeologico

- ( Progetto Definitivo dell'intervento di messa in sicurezza e bonifica dell'area "ex-FIAT AVIO"

( Progetto ed esecuzione di diversi lavori nella zona adiacente all'area oggetto del Progetto Preliminare
- Area del Progetto Preliminare

— Elementi dell'azonamento superficiale

Estratto dalla Carta Geologica d'Italia, foglio n.56 "Torino" alla scala 1:100.000

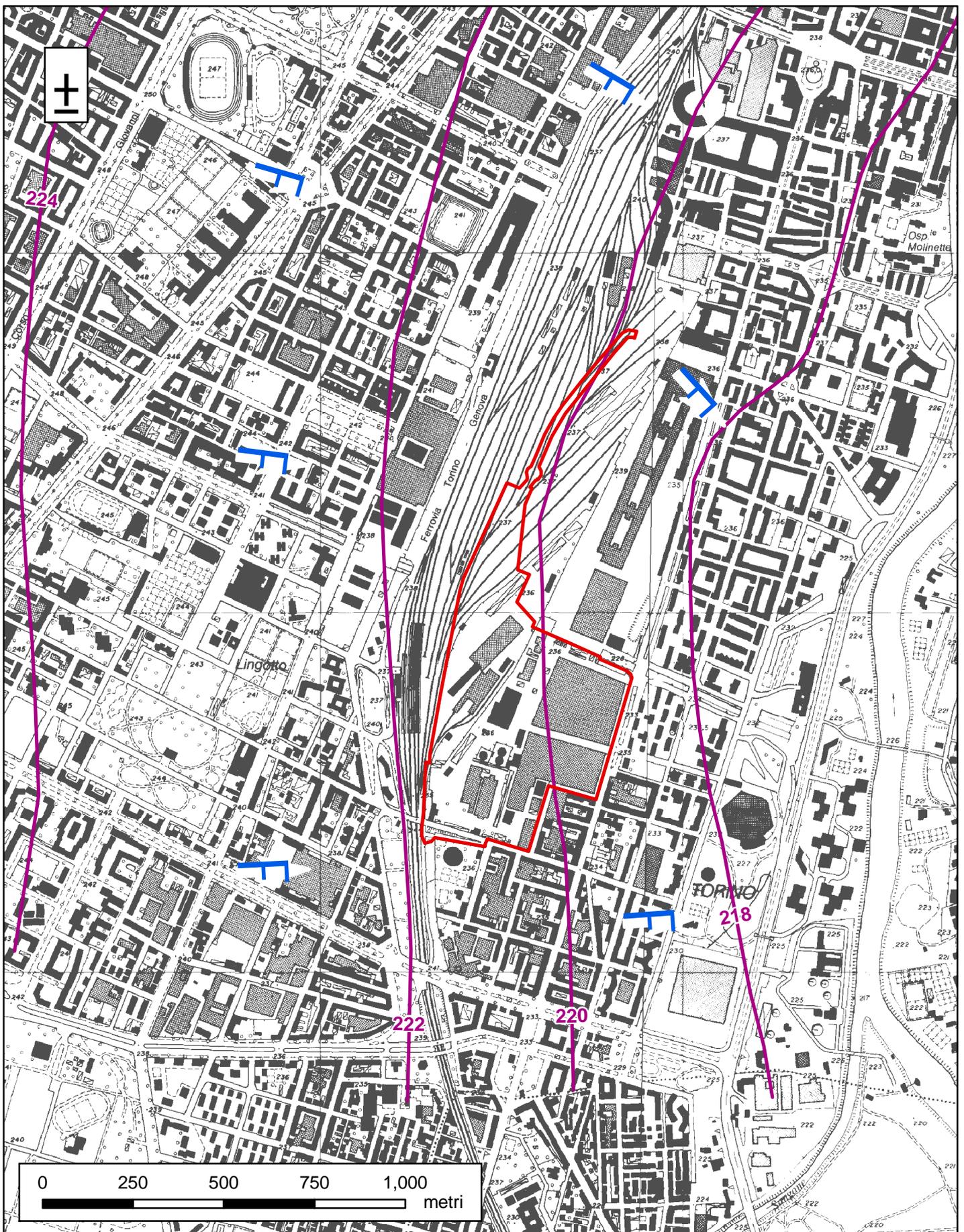


Area del Progetto Preliminare



Estratto dalla Legenda, foglio n.56 "Torino"

	a <sup>2</sup>	Depositi ghiaiosi con lenti sabbioso-argillose, fiancheggianti i principali corsi d'acqua, talora debolmente terrazzati, anche attualmente inondabili ( <b>ALLUVIONI MEDIO-RECENTI</b> ).
	a <sup>1</sup>	Alluvioni sabbioso-ghiaiose postglaciali, ricoperti in parte i precedenti depositi del fluviale-fluvioglaciale würmiano ( <b>ALLUVIONI ANTICHE</b> ).
	fg <sup>R2-R1</sup> fg <sup>R</sup> fl <sup>R</sup>	fg <sup>R</sup> Depositi ghiaioso-sabbiosi con paleosuolo rosso-arancio, perlopiù terrazzati, corrispondenti al livello fondamentale dell'alta pianura, raccordantisi con le cerchie moreniche rissiane ( <b>FLUVIOGLACIALE e FLUVIALE RISS</b> ).
	fg <sup>M-fl</sup> fl <sup>M</sup>	Depositi fluvioglaciali dell'alto terrazzo ondulato, a paleosuolo argilloso rosso-bruno completamente decalcificato ("tipico ferretto") per uno spessore di oltre 5 m, con scarsi ciottoli silicatici alterati e silicei, raccordato coi cordoni mindeliani dell'anfiteatro di Rivoli; depositi fluviali costituenti i lembi relitti delle antiche conoidi della Dora Riparia e della Stura di Lanzo (fg <sup>M-fl</sup> ) ( <b>FLUVIOGLACIALE e FLUVIALE MINDEL</b> ). Nella pianura a SE di Chieri, terreni eluviali di età postvillafrafranchiana con copertura loessica rissiana (AP).
	fl <sup>M-G</sup>	Conglomerato poligenico stratificato ad elementi minuti, fortemente cementato, sottostante al Mindel ed affiorante con ripide scarpate lungo il Sangone e la Dora Riparia ( <b>INTERGLACIALE MINDEL-GÜNZ</b> ).



### Carta del pannello piezometrico della falda superficiale

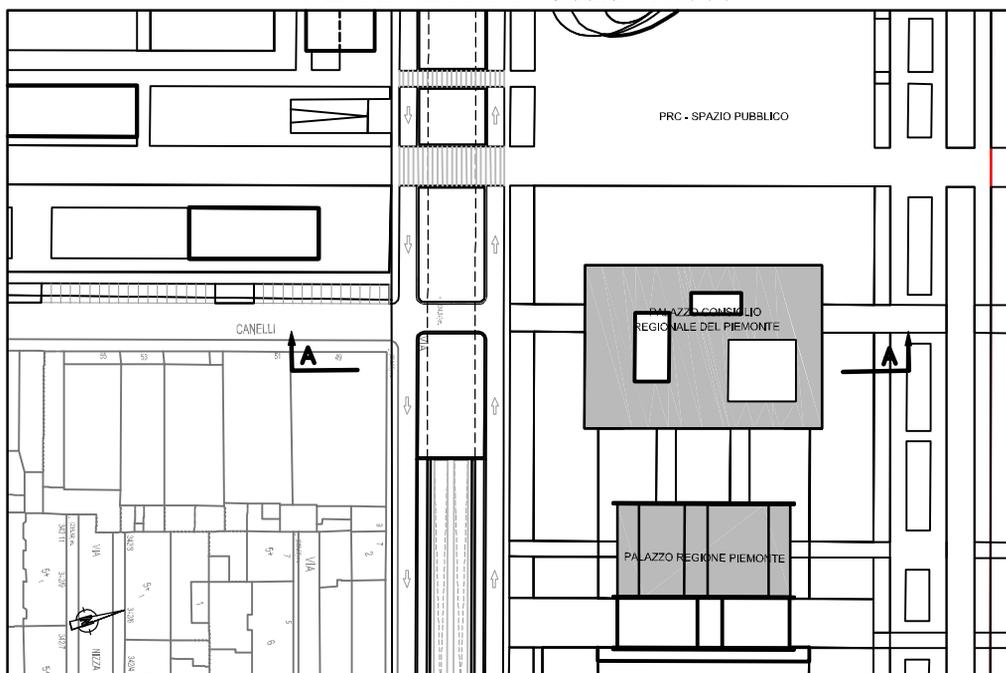
— Isopiezometriche della falda superficiale quote in metri s.l.m.

□ Area del Progetto Preliminare

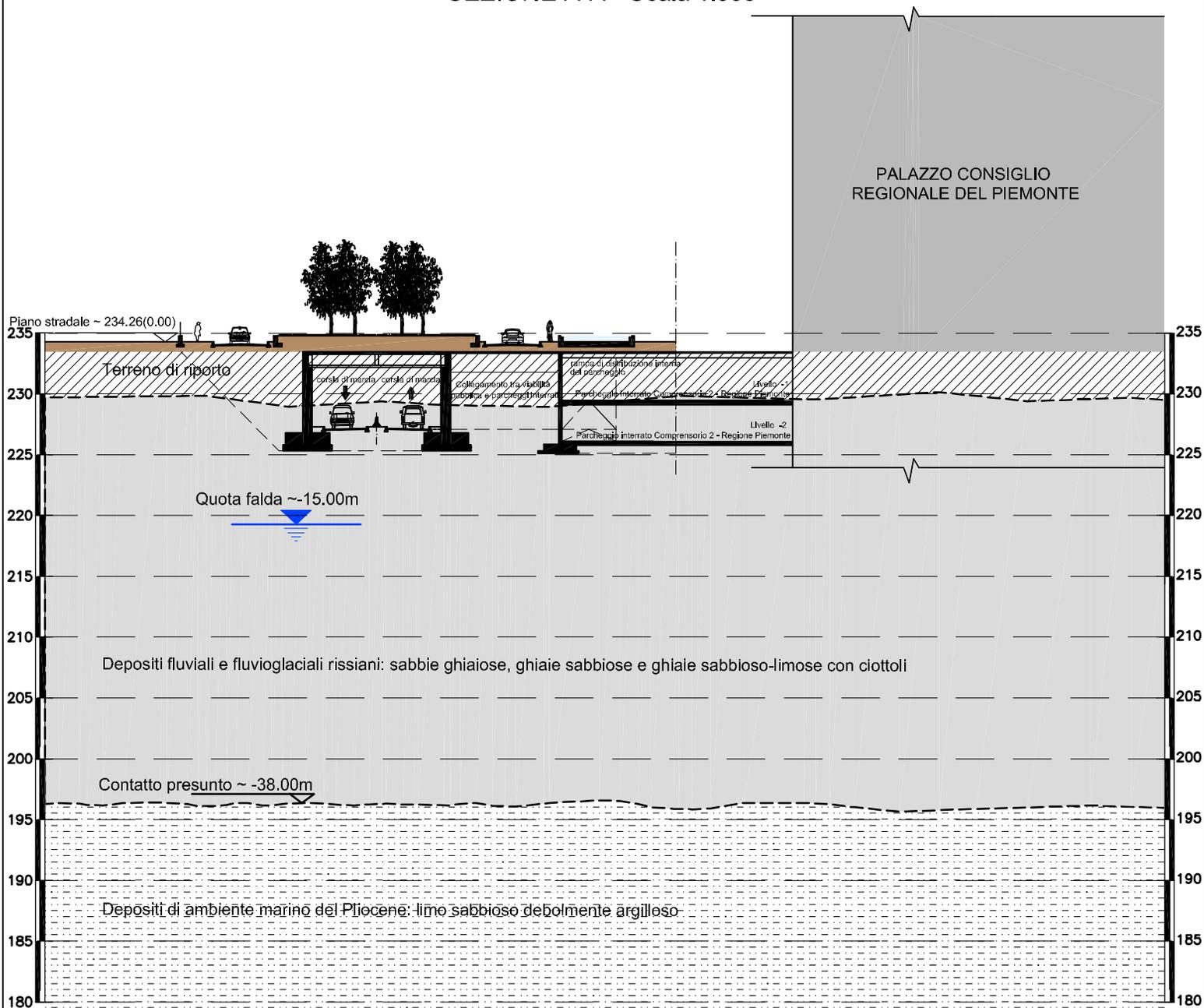
— Direzione media di scorrimento del flusso idrico sotterraneo della falda superficiale

# SEZIONE GEOLOGICA DI RIFERIMENTO CON INDICAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

## PLANIMETRIA - Scala 1:1.000



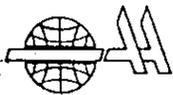
## SEZIONE A-A - Scala 1:500





## ALLEGATO 2

Stratigrafie delle indagini geognostiche preesistenti utilizzate ai fini dell'inquadramento geologico ed idrogeologico.



**ABRATE** s.p.a.  
OPERE SPECIALIZZATE

Sede Tecnico Amministr.: 10022 CARMAGNOLA (TO)  
Via G. Agnelli, 71 - Tel. 011/971.23.95 - 977.12.92

Committente \_\_\_\_\_  
Cantiere \_\_\_\_\_ - VIA GENOVA \_\_\_\_\_  
Località TORINO Provincia \_\_\_\_\_  
Perforazione iniziata il 23/10/1991 terminata il 24/10/1991  
Deposito cassette c/o CANTIERE Scala 1:100

QUOTA s.l.m. \_\_\_\_\_  
N. 1 N. \_\_\_\_\_

FORMAZIONI ATTRAVERSATE

PROFONDITÀ DAL p.c.	POTENZA DELO STRATO	SEZIONE STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE LITOLOGICA DEL TERRENO	LIVELLO STABILIZ DELLE FALDE		METODO E Ø DI PERFORAZIONE	POSA	RIVESTIMENTI E LORO Ø	PERCENTUALE DI CAROTTAGGIO	R.Q.D.	PIEZOMETRO		INCLINOMETRO	S.P.T. IN FORO Prof. (m.) N. Colpi	POKET PENETR. Kg/cm <sup>2</sup>	VANE TEST Kg/cm <sup>2</sup>	Campioni		PROVE DI PERMEABILITÀ Prof. (m.) K = cm/sec	NOTE
				1	2						1	2					PROFONDITÀ PRELIEVO	CAMPIONATORE		
0.00							127													<b>SGE 1</b>
0.40	0.40		Conglomerato cementizio.																	
1.50	1.10		Terreno di riporto con mattoni abbondanti.																	
2.40	0.90		Ghiaia sabbiosa con ciottoli e subordina- to limo in matrice colore nocciola.																	
3.40	1.00		Ghiaia sabbiosa con limo e ciottoli subor- dinati, rari livelletti cementati, col. bruno.																	
6.00	2.60		Ghiaia con ciottoli (Ø max 10 cm) con fra- zione limoso-sabbiosa, presenza di livelli centimetrici debolmente cementati, colore nocciola-bruno.																	
7.10	1.10		Sabbia limosa con ghiaia fine e rari ciot- toli serpentinosi, colore da bruno a grigio.																	
9.90	2.80		Ghiaia sabbiosa con limo subordinato e ra- ri ciottoli, frequenti livelli centimetri- ci da mediamente a molto cementati, colo- re nocciola-grigio.																	
11.50	1.60		Limo sabbioso con ghiaia e ciottoli da debolmente a mediamente consolidato, colo- re bruno.																	
12.00	0.50		Limo sabbioso fine, tenero, col. bruno verdastro.																	

ROTAZIONE CON CAROTTAGGIO CONTINUO Ø 101 + 131 mm

70 + 90%

RAYMOND

PROFONDITA DAL p.c.	POTENZA DELLO STRATO	SEZIONE STRATIGRAFICA	FORMAZIONI ATTRAVERSATE		LIVELLO STABILIZ. DELLE FALDE		METODO E Ø DI PERFORAZIONE	POSA	RIVESTIMENTI E LORO Ø	PERCENTUALE DI CAROTTAGGIO	R.Q.D.	PIEZOMETRO		INCLINOMETRO	S.P.I. IN FORO Prof. (m.) N. Colpi	POKET PENETR. Kg/cm <sup>2</sup>	VANE TEST Kg/cm <sup>2</sup>	Campioni		PROVE DI PERMEABILITÀ Prof. (m.) K = cm/sec	NOTE	
			DESCRIZIONE LITOLOGICA DEL TERRENO		1	2						1	2					PROFONDITÀ PRELIEVO	CAMPIONATORE			
0.00								127														
1.30	1.30			Terreno di riporto.																		
2.20	0.90			Sabbia e ghiaia con limo subordinato, colore nocciola-bruno.																		
3.60	1.40			Ghiaia sabbiosa con limo subordinato e ciottoli (Ø max 10 cm), colore nocciola-bruno.											3.00							
6.30	2.70			Ghiaia sabbiosa debolmente limosa presenza di livelli centimetrici debolmente cementati, colore nocciola-bruno.											4.50							
7.70	1.40			Sabbia limosa con ghiaia, presenza di ciottoli serpentinosi (Ø max 15 cm) colore da bruno a grigio.											6.00							
8.80	1.10			Ghiaia limoso-sabbiosa con rari ciottoli (Ø 6+8 cm) colore nocciola-grigiastro.											8.50							
10.90	2.10			Ghiaia sabbiosa debolmente limosa con frequenti livelli centimetrici cementati, colore nocciola-grigiastro.																		
11.90	1.00			Sabbia limosa debolm. ghiaiosa con ciottoli frequentemente alterati, colore bruno.																		
12.40	0.50			Sabbia limosa, colore bruno.																		
12.90	0.70			Limo debolmente sabbioso fine, assai plastico e tenero, colore bruno-verde.																		
15.00	2.10			Limo sabbioso fine e livelli centimetrici di sabbia medio-fine debolmente limosa, tenero a tetto, più consistente verso il letto dello strato, colore nocciola.											13.00							
				Limo con ghiaia e ciottoli mediamente con-																		

SGE 2

NOTAZIONE CON CAROTTAGGIO CONTINUO Ø 131 + 101 mm

70 + 90%

RAYMOND



OPERE DI...  
 Sede Tecnica Amministrativa: 10022 CARMAIGNO (TO)  
 P. B. Agostini, 71 - Tel. 011/871121 - 12.82

Località: ...  
 Perforazione iniziata il 29/10/1991 terminata il 31/10/1991  
 Deposito cassette: c/o CANTIERE Scala 1:100

QUOTA s.l.m. \_\_\_\_\_

AZIONI ATTRAVERSADE		DESCRIZIONE LITOLOGICA DEL TERRENO	LIVELLO STABILIZ. DELLE FAUCHE	METODO E Q. DI PERFORAZIONE	ROSA	INVESTIMENTI E LORO Ø	PERCENTUALE DI CAROTTAGGIO	R.O.D.	PREZOMETRO TIPO	INCLINOMETRO	SPT. IN FORO	POCKET PENETR. Kg/cm²	VALVE TEST Kg/cm²	PROFONDITÀ PRELIEVO	CAMPIONATORE	PROVE DI PERMEABILITÀ	NOTE
1	2		1	2					1	2	Prof. (m.)			Prof. (m.)	K - cm/sec		
0.15		Cemento e ferro.															SGE 4
0.85		Vuoto.					0%										
0.50		Materiale di riporto.															
1.50		Limo debolmente plastico, colore bruno rossiccio.															
1.50		Limo sabbioso, colore nocciola-brunastro.															
1.10		Limo sabbioso-ghiaioso, col. nocciola scuro.															
0.40		Sabbia fine, colore nocciola.															
0.30		Sabbia e ghiaia con livelli cementati e limo subordinato in matrice, colore nocciola.									6.00						
		Sabbia media ghiaiosa, colore bruno.									8-8-5						
		Sabbia grossolana con livelli cementati e limo subordinato in matrice, colore nocciola.									8.00						
		Sabbia e ghiaia con ciottoli colorati alterati e/o sfatti, con varia percentuale limosa in matrice, colore bruno.									10-7-6						
		Ghiaia e sabbia con limo subordinato e ciottoli centimetrici cementati, presenza di limo subordinato in matrice, colore bruno.									12.00						
		Ghiaia sabbiosa con limo subordinato e ciottoli (Ø 6+8 cm, raramente più grandi) poligenici, color nocciola-grigiastro.									14.80						
		Sabbia e limo, colore bruno.									20-19-28						
		Limo debolmente plastico, da tenero a mediamente consistente, con livelli centimetrici sabbioso fini, colore nocciola, presenza di inclusi rossicci (resti vegetali).									17.50						
		Limo debolmente sabbioso fine, piuttosto consistente, colore nocciola presenza di una passata centimetrica di sabbia debolmente limosa a -18.40 m e di un livello decimetrico molto plastico a -18.80 m.									8-25-50						

ROTAZIONE CON CAROTTAGGIO CONTINUO Ø131 + 101 mm

GEO DATA  
 DATA: 24 DIC 1992  
 COMMESSA: N. ORDINE: NOTE:  
 DESTINATARIO: PER CONOSCENZA:



**RADAELLI CASTELLOTTI S.R.L.**  
 20060 Lisate (Mi) via G. di Vittorio, 2  
 tel. 02/95350100 (4 linee r.a.)  
 telex 312605 ERRECI - telefax 02/95350316

COMMITTENTE **LINGOTTO S.p.A.**

LOCALITA' **TORINO**

POSIZIONE **Centro Fiere**

QUOTA D'INIZIO **p.c.**

METODO DI PERFORAZIONE **rot. 152/130**

DATA: dal **06/08/90**

al **09/08/90**

**S 1**

Profondità (m)	Camp. tipo	Profondità strat. (m)	Scala riferimento	Stratigrafia	Pocket penetrometro (Kg/cm <sup>2</sup> )	DESCRIZIONE	Carotaggio totale % recupero	R.Q.D. %	Profondità manovra
0.10		0.60				riporto: breccia grossolana (Ø max 12 cm) in deb. matrice sabbioso limosa grigia			
1.00		1.00				riporto: resti lateritici e breccia fine			
3.10		3.10				riporto: breccia medio fine e resti lateritici in matrice sabbiosa fine deb. limosa bruno grigiastrea			
4.50	5	4.90	1cm			riporto: breccie eterogenee resti ferrosi e lateritici grossolani in abb. matrice limosa sabbiosa bruna sciolta			
6.00	46	5.60	2cm			riporto: conglomerato cementizio			
7.70		7.70				resti a struttura lateritica			
8.05		8.05				cordolo di fondazione (conglomerato cementizio)			
9.60	A	9.90				conglomerato ben cementato ad elementi (Ø max 15 cm) e cementazione carbonatica. Pres. livel. di microconglomerato			
10.50	B	10.00				sabbia bruna con ghiaia e ghiaietto sabbia fine limosa grigiastrea loc. ingi. ghiaietto			
12.00		12.00				ghiaia ghiaietto e ciottoli (Ø max 12 cm) con tracce di cementazione ad elementi di conglomerato in matrice sabbioso limosa bruna loc. abbondante			
12.30	C	12.80	2cm			ghiaia medio grossolana e ciottoli (Ø max 10 cm) in deb. matrice sabbiosa bruno grigiastrea deb. cementata. Pres. interlivelli di conglomerato			
14.10		14.10				conglomerato poligenico ad elementi (Ø max 10 cm) e cemento arenaceo grigio. Pres. interlivelli di microconglomerato			
15.30	D	15.30				sabbia medio fine limosa bruna con ghiaia e ghiaietto. Pres. interlivellotti di conglomerato			
18.50	38	18.70	7cm			ghiaia ghiaietto ciottoli (Ø max 12 cm) e trovanti (pot. max 18 cm) in matrice sabbioso limosa bruna			
20.00		20.00							
25		25							
30		30							

1, 2, 3 ..... = camp. indisturbati  
 s = Shelby d = Denison  
 m = Mazier o = Osterberg  
 p = percussione  
 A, B, C ..... = campioni rimaneggiati

S.P.T. = standard penetration test N x 15 cm  
 V.T. = vane test (Kg/cm<sup>2</sup>) - max/residuo  
 R.Q.D. = rock quality designation

data	prof. foro	prof. rivest.	livello acqua	data	prof. foro	prof. rivest.	livello acqua
09/08/90			-17.03				

Argilla	Limo	Sabbia	Ghiaia Ghiaietto	Torba			

ALLEGATI: 1







Risultati prove in situ	prova S.P.T. V.T.	Profond. (m)	Camp. tipo	Profond. strati	Scala riferimento	Stratigrafia	Pocket penetrometro (Kg/cm <sup>2</sup> )	DESCRIZIONE	Carotaggio totale % recupero			R.Q.D. %			Profondità mancante perforat.
									20	40	80	80	40	20	
				0-10				conglomerato ghiaioso							
				0.90				ghiaietto ghiaia ed elementi di riporto in matrice sabbiosa grigiastro							
				1.50				conglomerato cementizio							
				1.80				ghiaietto ghiaia ed elementi di riporto in matrice sabbiosa deb. limosa grigio nerastra							
								sabbia fine deb. limosa grigiastro passante a marrone							
24	17	3.00						ghiaietto ghiaia e rari ciottoli (φ max 9 cm) in matrice sabbiosa deb. limosa marrone bruna							
	23		A	4.00											
15	14	4.50						ghiaietto ghiaia e rari ciottoli (φ max 9 cm) in matrice sabbiosa deb. limosa marrone grigiastro							
	24														
13	20	6.00						ghiaietto e rara ghiaia in matrice sabbiosa deb. limosa marrone bruna							
	12		B	6.90											
18	25	7.50						sabbia fine deb. limosa bruno rossastra loc. ingl. ghiaietto							
	15														
7	14	9.00						ghiaietto ghiaia e rari ciottoli in matrice sabbiosa deb. limosa marrone bruna							
	3		C	9.90			0.8	sabbia fine limosa bruno nocciola ingl. ghiaietto							
				9.50			0.9	limo sabbioso bruno nocciola							
3	6	10.50						sabbia finissima limosa bruno nocciola verdastra ingl. un ciottolo (φ 9 cm) . Pres. rari interlivelli (pot. max 15 cm) di sabbia deb. limosa marrone ingl. raro ghiaietto							
	6														
				11.30				sabbia deb. limosa marrone bruna con ghiaietto e ghiaia							
				12.00											

2, 3 ..... camp. indisturbati  
 Shelby ..... Danison  
 Mazier ..... Osterberg  
 percussione  
 B, C ..... campioni rimanecciati

S.P.T. : standard penetration test N x 15 cm  
 V.T. : svane test (Kg/cm<sup>2</sup>) - max/residuo  
 R.Q.D. : rock quality designation

data	prof. foro	prof. rivest.	livello acqua	data	prof. foro	prof. rivest.	livello acqua
08/90	6.00	6.00	assente				

					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Argilla	Limo	Sabbia	Ghiaia Ghiaietto	Torba	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ALLEGATI:



SEZIONE INDAGINI GEOTECNICHE  
TORINO - VIA BARLETTA 180  
TEL. 399 972 - 362.456

COMMITTENTE CITTÀ DI TORINO

CANTIERE Via Pio VII

SONDAGGIO n. 1

Iniziato il ..... ultimato il .....

SOT 1

Quote s.l.m.	Profond. in mt.	Spessore degli strati in mt.	Campioni	Descrizione della natura del terreno	Colonna strati- grafica	Sistema e Ø del foro	Falde freatiche	ρ <sub>vB</sub> V B taccabile Kg/cm <sup>2</sup>	V B in situ Kg/cm <sup>2</sup>	S.P.T. colpi/ 15 cm
	0.00									
	-2.00	2.00		Sabbia bruno scuro, ghiaia, ciottoli con terreno di ri- porto						
	-7.50	5.50		Ghiaia con sabbia fine gri- gia						
	-15.00	7.50		Ghiaia cementata da sabbia fine (conglomerato polige- nico).						
	-16.80	1.80		Sabbia bruna con ghiaia						
	-18.20	1.60		Ghiaia e sabbia debolmente cementata						
	-20.50	2.30		Ghiaia di varia natura e sabbia bruna debolmente limoso-argillosa-						

ROTAZIONE  $\phi$  90°/m

# SICOS

SEZIONE INDAGINI GEOTECNICHE  
TORINO - VIA BARLETTA 180  
TEL. 399.872 - 362.456

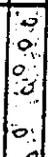
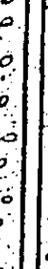
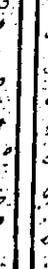
COMMITTENTE CITTA' DI TORINO

CANTIERE Piazza Fabio Filzi

SONDAGGIO n. 2

SOT 2

Iniziato il \_\_\_\_\_ ultimato il \_\_\_\_\_

Quote s.l.m.	Profond. in mt.	Spessore degli strati in mt.	Campioni	Descrizione della natura del terreno	Colonna strati- grafica	Sistema e di del foro	Falde freatiche	P.P. o V.B. taccabi- le Kg/cm <sup>3</sup>	V.B. in situ Kg/cm <sup>3</sup>	S.P.T. colpi/ 15 cm
	0.00									
	-1.80	1.80		Terreno di riporto bruno ghiaioso sabbioso-argilloso						
	-4.00	2.20		Ghiaia di varia natura e sabbia sciolta						
	-5.50	1.50		Ghiaia con poca sabbia e ciottoli						
	-7.50	2.00		Ciottoli, ghiaia con sabbia						
	-1.000	2.50		Piccoli trovanti, ciottoli, ghiaia con sabbia						
	-1.200	2.00		Sabbia bruna con ghiaia e ghiaietto						
	-1.600	4.00		Sabbia, ghiaia con zone par- zialmente cementate						
	-2.000	4.00		Ghiaia parzialmente cementa- ta da sabbia bruna						

ROTAZIONE  $\phi 90$  m

11.

# SICOS

SEZIONE INDAGINI GEOTECNICHE  
TORINO - VIA BARLETTA 180  
TEL. 399.872 - 382.456

COMMITTENTE CITTÀ DI TORINO

CANTIERE Corso Caduti sul lavoro angolo Via Ventimiglia

SONDAGGIO n. SOT 3

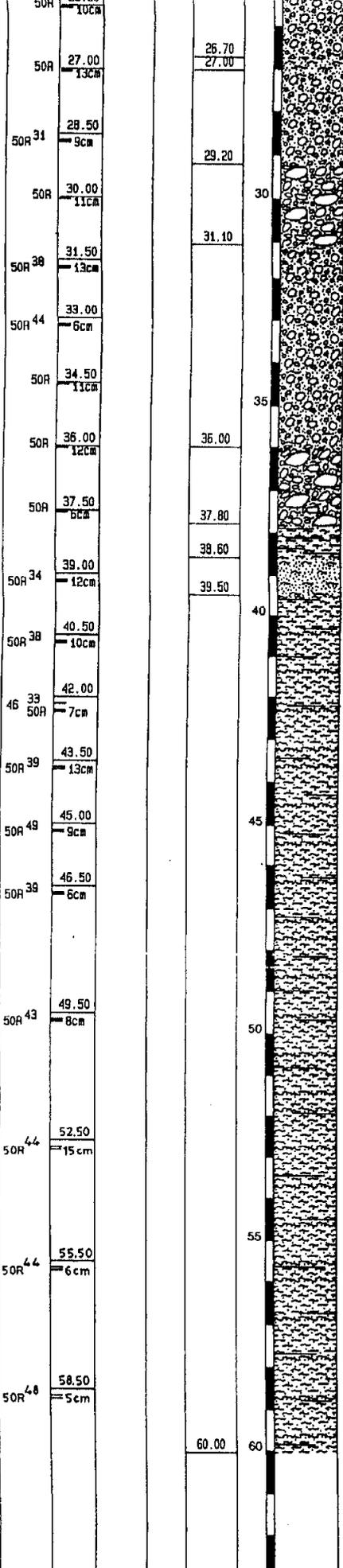
Iniziato il

ultimato il

Quote s.l.m.	Profond. in mt.	Spessore degli strati in mt.	Campioni	Descrizione della natura del terreno	Colonna strati- grafica	Sistema e Ø del foro	Falde freatiche	P.P. o V.S. tascabile Kg/cm <sup>2</sup>	V.S. In situ Kg/cm <sup>2</sup>	S.P.T. colpi/ 15 cm
	0.00									
	-1.20	1.20		Ghiaia con sabbia fine grigia, livelli ghiaiosi sabbiosi cementati						
	-2.00	0.80		Ghiaia e sabbia fine cementata con ciottoli e sabbia sciolta						
	-4.00	2.00		Ghiaia cementata da sabbia fine grigia						
	-5.30	1.30		ciottoli, ghiaia di varia natura, sabbia color bruno e grigio, in parte debolmente limosa; ghiaia e sabbia cementata compatta; piccolo trovante (20 cm)						
	-8.50	0.20		piccolo trovante						
	-7.50	2.00		Ciottoli (5-20 cm.), ghiaia, sabbia sciolta, livelli e zone ghiaiose-sabbiose cementate.						
	-10.00	2.50		Ciottoli, ghiaia, sabbia, piccoli trovanti (20 cm.)						
	-11.50	1.50		Sabbia fine bruna, con poco ghiaietto, in parte compatta						
	-13.00	1.50		Ghiaia, sabbia sciolta bruna con ciottoli						
	-14.50	1.50		Sabbia bruna fine compatta con poco ghiaietto color ruggine						
	-15.00	0.50		Ghiaia sciolta						
	-18.00	3.00		Sabbia cementata limo sabbioso debolmente argilloso con poco ghiaietto						
	-20.00	2.00		Sabbia molto fine, ghiaietto, ciottoli con livelli di sabbia bruna debolmente limosa						

ROTAZIONE + 90°





sabbia fine limosa nocciola

sabbia medio fine deb. limosa nocciola grigiastrea con ghiaia ( $\phi$  max 5 cm) e ghiaietto loc. alterati

ghiaia medio grossolana ghiaietto e ciottoli ( $\phi$  max 10 cm) in abb. matrice sabbiosa deb. limosa nocciola grigiastrea

sabbia media deb. limosa nocciola grigiastrea con ghiaia medio fine e ghiaietto loc. alterati

ghiaia ( $\phi$  max 6 cm) ghiaietto e ciottoli ( $\phi$  max 9 cm) loc. alterati in matrice sabbiosa medio fine limosa nocciola grigiastrea

limo sabbioso a leg. argilloso nocciola

sabbia fine limosa micacea grigia

limo sabbioso a deb. leg. argilloso micaceo grigio

idem c.s.

limo sabbioso a deb. leg. argilloso micaceo grigio

idem c.s.

limo sabbioso a deb. leg. argilloso micaceo grigio

1, 2, 3 ... : camp. indisturbati  
 s : Shelby            d : Denison  
 m : Mazier           o : Osterberg  
 p : percussione  
 A, B, C ... : campioni rimaneggiati

S.P.T. : standard penetration test N x 15 cm  
 V.T. : vane test (Kg/cm<sup>2</sup>) - max/residuo  
 R.O.D. : rock quality designation

data	prof.fara	prof.rivest.	livello acqua	data	prof.fara	prof.rivest.	livello acqua

Argilla	Limo	Sabbia	Ghiaia Ghiaietto	Torba				

ALLEGATI:



**RADAELLI  
CASTELLOTTI S.R.L.**  
20080 Licale (MI) - via G. di Vittorio, 2  
tel. 02/96330100 (4 linee r.a.)  
telex 312606 ERAECI I - telefax 02/96330316

COMMITTENTE **LINGOTTO S.R.L.**

**SP 2**

LOCALITA' **TORINO - LINGOTTO**

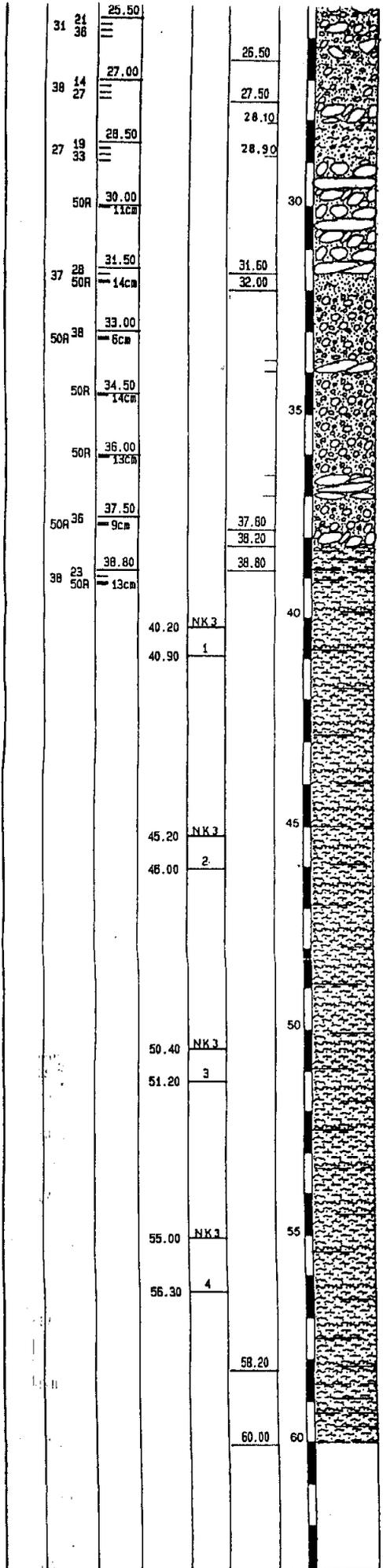
POSIZIONE **Centro Congressi - Cortile Interno**

METODO DI PERFORAZIONE **rot. 127/101**

QUOTA D'INIZIO **D.C.**

DATA: dal **21/03/91** al **25/03/91**

Risultati prove in situ	prova S.P.T V.T.	Profond. (ml)	Camp. tipo	Profond. strati	Scala riferimento	Stratigrafia	Pocket penetrometer (kg/cm <sup>2</sup> )	DESCRIZIONE	Carotaggio totale % recupero			R.Q.D. %			USO DIAMANTE
									20	40	60	80	20	40	
				0.70				battuto in cemento							
2	2	1.50						riporto: limo sabbioso deb. argilloso nocciola. Pres. interlivelli di breccia medio fine in matrice sabbiosa							
4				2.30											
20	10	3.00						riporto: breccia varia pezzatura (φ max 7 cm) in matrice sabbiosa fine limosa grigia							
30				4.00											
34	29	4.50						ciottoli (φ max 12 cm) ghiaia medio grossolana e ghiaietto in matrice sabbiosa fine limosa nocciola molto addensata loc. cementata							
45				6.00											
37	27	6.00						sabbia fine limosa nocciola ingl. ghiaietto							
43				6.60											
50R	35	7.50						ciottoli ghiaia e ghiaietto in matrice sabbiosa nocciola loc. cementata							
		8cm		7.40											
46	38	9.00						sabbia medio fine limosa bruno nocciola loc. cementata con ghiaia medio fine e ghiaietto							
48				10.40											
37	19	10.50						conglomerato poligenico ad elementi grossolani deb. cementato							
49				11.20											
46	34	12.00						ghiaia medio grossolana ghiaietto e ciottoli (φ max 12 cm) in matrice sabbiosa fine limosa bruno nocciola. Pres. interlivelli di conglomerato poligenico							
50	50			13.60											
25	22	13.50						sabbia fine limosa bruno nocciola ingl. ghiaia e ghiaietto							
50	50			14.00											
50R	29	15.00													
		13cm		15											
50R	38	15.50						ghiaia medio grossolana ghiaietto ciottoli (φ max 12 cm) e trovanti (pot. max 20 cm) in matrice sabbiosa fine limosa bruno nocciola loc. cementata. Pres. interlivelli di conglomerato poligenico ben cementato e di sabbia fine limosa bruno nocciola							16.80
		9cm		20											17.00
50R	38	18.00													18.00
		10cm		20.00											18.20
50R	34	19.50													19.60
		12cm		21.80											20.00
50R	42	21.00						ghiaia (φ max 4 cm) e ghiaietto in abb. matrice sabbioso limosa grigio nocciola							22.10
		9cm		21.80											22.70
36	28	22.70						ciottoli (φ max 12 cm) ghiaia trovanti (pot. max 25 cm) ed interlivelli di conglomerato in matrice sabbioso limosa grigio nocciola. Pres. tracce di alterazione							24.00
50R		3cm		26.50											24.20
43	31	24.20						sabbia medio fine deb. limosa grigio nocciola con ghiaia medio gross. e ciottoli (φ max 7 cm) loc. alterati							
50R		10cm		27.00											
31	21	25.50						sabbia medio fine limosa grigio nocciola o biancastra per alterazione ingl. ghiaia e ghiaietto							
36				27.50											
38	14	27.00													
27	19	28.50						ghiaia medio grossolana ciottoli (φ max 10 cm) e trovanti (pot. max 16 cm) in matrice sabbiosa medio fine deb. limosa grigio nocciola. Pres. interlivello di sabbia fine limosa ingl. ghiaietto							
50R		11cm		31.60											
37	28	31.50						sabbia media deb. limosa bruno nocciola							
50R		14cm		32.00											
50R	38	33.00													
		6cm													



Sabbia medio fine limosa grigio nocciola o biancastre con ghiaia e ghiaietto loc. alterati

sabbia medio fine limosa grigio nocciola o biancastre per alterazione ingl. ghiaia e ghiaietto

ghiaia medio grossolana ciottoli (Ø max 10 cm) e trovanti (pot. max 18 cm) in matrice sabbiosa medio fine deb. limosa grigio nocciola. Pres. interlivello di sabbie fine limosa ingl. ghiaietto

sabbia media deb. limosa bruno nocciola

sabbia medio fine deb. limosa nocciola grigiastra con ghiaia (Ø max 4 cm) e ghiaietto loc. alterati. Loc. pres. ciottoli (Ø max 15 cm) e trovanti (pot. max 20 cm)

ghiaia e ciottoli alterati in matrice sabbiosa nocciola  
limo sabbioso e leg. argilloso nocciola

limo sabbioso a deb. leg. argilloso micaceo grigio

idem c.s.

limo sabbioso a deb. leg. argilloso micaceo grigio

idem c.s.

limo sabbioso a deb. leg. argilloso micaceo grigio

limo sabbioso e leg. argilloso micaceo grigio

1, 2, 3 ..... : camp. indisturbati  
 s : Shelby d : Denison  
 m : Mazier o : Osterberg  
 p : percussione  
 A, B, C ..... : campioni rimaneggiati

S.P.T. : standard penetration test N x 15 cm  
 V.T. : vane test (Kg/cm<sup>2</sup>) - max/residuo  
 R.Q.D. : rock quality designation

data	prof.foro	prof.rivest.	livello acqua	data	prof.foro	prof.rivest.	livello acqua
22/03/91	24.00	24.00	- 12.10				
23/03/91	24.00	24.00	- 17.80				

Argilla	Limo	Sabbie	Ghiaia Ghiaietto	Torbe			

ALLEGATI:



**RADAELLI  
CASTELLOTTI S.R.L.**  
20060 Licale (MI) - via G. di Vittorio, 2  
tel. 02/96350100 (4 linee r.a.)  
telex 312605 ERAECI I - telefax 02/96350316

COMMITTENTE **LINGOTTO S.R.L.**

**SP 3**

LOCALITA' **TORINO - LINGOTTO**

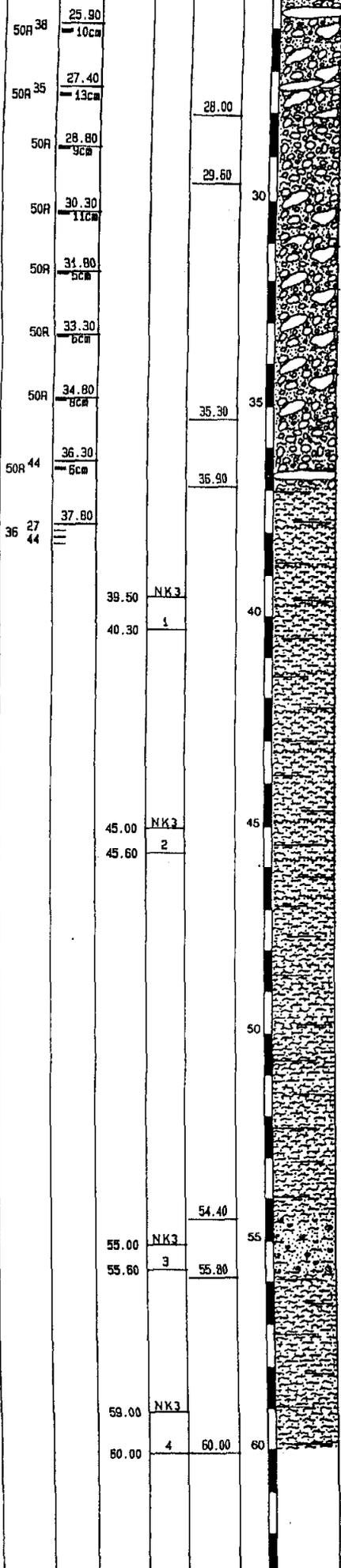
POSIZIONE **Centro Congressi - Cortile Interna**

METODO DI PERFORAZIONE **rot. 127/101**

QUOTA D'INIZIO **P.C.**

DATA: dal **25/03/91** al **28/03/91**

Risultati prove in situ	prove S.P.T. V.T.	Profond. (m)	Camp. tipo	Profond. strati	Scala riferimento	Stratigrafia	Pocket penetrometro (Kg/cm <sup>2</sup> )	DESCRIZIONE	Carotaggio totale % recupero			R.O.D. %			USO DIAMANTE
									20	40	60	80	20	40	
				0.80				conglomerato bituminoso							
31	13 50R	1.50 5cm		2.40				riporto: breccia medio grossolana in matrice sabbiosa nocciola							
21	17 33	3.00													
33	22 49	4.50			5			ciottoli (Ø max 12 cm) ghiaia medio grossolana e ghiaietto in matrice sabbiosa limosa nocciola molto addensata loc. cementata. Pres. interlivelli di sabbia limosa ingl. ghiaietto ed un trovante						5.00	
37	23 50R	6.00 13cm		6.50											5.50
37	24 44	7.50						sabbia media deb. limosa bruno nocciola loc. cementata con ghiaia (Ø max 4 cm) e ghiaietto. Pres. trovante (pot. 20 cm)							6.00
39	26 50	9.00		9.50											6.50
				9.90				conglomerato poligenico a matrice arenacea							8.20
35	29 50R	10.50 7cm		10.80	10			ghiaia (Ø max 4 cm) e ghiaietto loc. alterati in matrice sabbiosa deb. limosa nocciola							8.40
								conglomerato poligenico ad elementi medio grossolani e matrice arenacea							9.50
50R	37	12.00 6cm		12.00											9.90
50R	34	13.50 8cm						ghiaia medio grossolana ghiaietto ciottoli (Ø max 12 cm) e trovanti (pot. max 20 cm) in matrice sabbiosa deb. limosa bruno nocciola loc. cementata. Pres. interlivello di sabbie fine limosa bruno nocciola ingl. ghiaietto							10.80
50R		15.00 13cm			15										11.00
50R		16.50 8cm						idem c.s.							11.30
50R		18.00 12cm		17.80											12.00
50R		19.50 8cm		19.20											14.00
50R	25	21.00 4cm		21.50	20			ghiaia medio grossolana ghiaietto ciottoli (Ø max 12 cm) e trovanti (pot. max 20 cm) in matrice sabbiosa deb. limosa bruno nocciola loc. cementata. Pres. interlivello di sabbie fine limosa bruno nocciola ingl. ghiaietto							14.50
50R		22.50 8cm		23.20				ciottoli (Ø max 15 cm) trovanti (pot. max 20 cm) e ghiaia grossolana loc. cementati in matrice sabbiosa bruno nocciola							22.90
50R	43	24.00 6cm													23.20
50R	38	25.90 10cm			25			sabbia medio fine deb. limosa bruno grigiastro con ghiaia medio grossolana ghiaietto ciottoli (Ø max 14 cm) e rari trovanti loc. alterati							25.30
50R	35	27.40 13cm		28.00											25.90
50R		28.80 9cm		29.60				ghiaia (Ø max 4 cm) e ghiaietto loc. alterati in matrice sabbiosa limosa nocciola brunastro							
50R		30.30 11cm			30										
50R		31.80 5cm						sabbia medio fine deb. limosa nocciola grigiastro con ghiaia medio grossolana ghiaietto e ciottoli (Ø max 12 cm) loc. alterati							
50R		33.30													



sabbia medio fine deb. limosa bruno grigiastrea con ghiaia medio grossolana ghiaietto ciottoli ( $\phi$  max 14 cm) e rari trovanti loc. alterati

ghiaia ( $\phi$  max 4 cm) e ghiaietto loc. alterati in matrice sabbioso limosa nocciola brunastrea

sabbia medio fine deb. limosa nocciola grigiastrea con ghiaia medio grossolana ghiaietto e ciottoli ( $\phi$  max 12 cm) loc. alterati

ghiaia ( $\phi$  max 3 cm) e ghiaietto loc. alterati in matrice sabbioso limosa nocciola grigiastrea. Pres. tracce di sostanze organiche ed un trovante

limo sabbioso a deb. leg. argilloso grigio micaceo

idem c.s.

limo sabbioso a deb. leg. argilloso grigio micaceo

idem c.s.

limo sabbioso a deb. leg. argilloso grigio micaceo

sabbia medio fine limosa grigio chiara con abb. resti fossili

limo sabbioso a deb. leg. argilloso grigio micaceo

25.30  
25.90

1, 2, 3 ..... = camp. indisturbati				S.P.T. = standard penetration test N x 15 cm			
s = Shelby		d = Danison		V.T. = vane test (Kg/cm <sup>2</sup> ) - max/residuo			
m = Mazier		o = Osterberg		R.Q.D. = rock quality designation			
p = percussione							
A, B, C, ... = campioni rimaneggiati							
data	prof. foro	prof. rivest.	livello acqua	data	prof. foro	prof. rivest.	livello acqua
26/03/91	30.00	30.00	p.e.	26/03/91	50.80	50.00	- 13.00
27/03/91	30.00	30.00	- 15.00				

Argilla	Limo	Sabbia	Ghiaia Ghiaietto	Torba				

ALLEGATI:





**RADAELLI CASTELLOTTI S.R.L.**  
 20060 Torate (Mi) - via G. Vittoria 2  
 tel. 02 95350100 (4 linee r.a.)  
 telex 312605 ERRECI I - telefax 02 95350116

COMMITTENTE **LINGOTTO S.p.A.**

**Spi 2**

LOCALITA' **TORINO**

POSIZIONE **Area parcheggio interrato**

METODO DI PERFORAZIONE **rot. 127/101**

QUOTA D'INIZIO **p.c.**

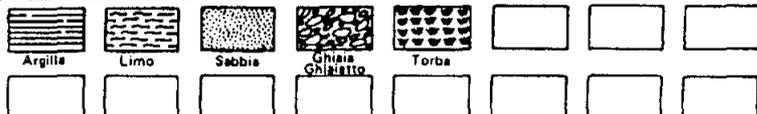
DATA: dal **03/07/91**

al **04/07/91**

Risultati prove in situ	prove S.P.T V.T.	Profond. (m)	Camp. tipo	Profond. strat.	Scala riferimento	Stratigrafia	Pocket penetrometry (Kg/cm <sup>2</sup> )	DESCRIZIONE	Carotaggio totale % recupero				R.Q.D. %				Profondità manovra perforaz.
									20	40	60	80	20	40	60	80	
				0.90				riporto: breccie medio fine elementi cementizi e resti plastici in matrice sabbiosa deb. limosa bruna									
				1.40				sabbia medio fine limosa marrone ingl. rara ghiaia e ghiaietto									
				2.20				sabbia media deb. limosa marrone loc. addensata con ghiaia (Ø max 6 cm) e ghiaietto									
24	25 50R	3.00 12cm															
30	30 34	4.50	A		5			sabbia media da deb. limosa e limosa marrone grigiastro con ghiaia ghiaietto e rari ciottoli (Ø max 10 cm). Pres. interlivelli di limo sabbioso grigiastro									
21	15 21	6.00															
35	24 40	7.50															
50R	9.00 10cm			8.40				sabbia limosa marrone con ghiaia (Ø max 4 cm) e ghiaietto									
50R	12.00 12cm		B		10			sabbia deb. limosa marrone con ghiaia (Ø max 6 cm) ghiaietto e rari ciottoli (Ø max 10 cm). Pres. interlivelli molto addensati o deb. cementati e localm. ghiaia alterata									
50R	15.00 5cm			14.70				ghiaietto e ghiaia (Ø max 6 cm) in matrice sabbiosa deb. limosa marrone grigiastro. Presenza interlivelli di sabbia media marrone									
50R	18.00 5cm		C		15			sabbia limosa marrone grigiastro con ghiaia ghiaietto e ciottoli (Ø max 12 cm)									
				17.70													
				18.00													
				20.00													
					20												
					25												
					30												

1, 2, 3 ... = camp. indisturbati  
 s = Shelby d = Denison  
 m = Mazier o = Osterberg  
 p = percussione  
 A, B, C ... = campioni rimaneggiati

S.P.T. = standard penetration test N x 15 cm  
 V.T. = svane test (Kg/cm<sup>2</sup>) - max/residuo  
 R.Q.D. = rock quality designation



data	prof. foro	prof. rivest.	livello acqua	data	prof. foro	prof. rivest.	livello acqua

ALLEGATI:





**RADAELLI  
CASTELLOTTI S.R.L.**  
20060 Linate (Mi) - Via C. Di Vittorio, 2  
Tel. 02/95350100 (4 linee) - Telex 310495 LITRI I.T. - Telex 029535010

COMMITTENTE **LINGOTTO S.R.L.**

**Spi 4**

LOCALITÀ: **TORINO**  
SITUAZIONE: **Area parcheggio interrato**

METODO DI PERFORAZIONE **pot. 127/101**

NOTA D'INIZIO: **D.C.**

DATA: dal **01/07/91**

al **02/07/91**

Risultati prove in situ	prove S.P.T. V.T.	Profond. (m)	Camp. tipo	Profond. strati	Scala riferimento	Stratigrafia	Pocket penetrometro (Kg/cm <sup>2</sup> )	DESCRIZIONE	Carotaggio totale % recupero	R.Q.D. %	Profondità manovra perforaz.
									20 40 60 80	20 40 60 80	Ø perforaz.
		0.20		0.20				<b>conglomerato oolotico</b>			
		-1.70		-1.70				riporto: breccia media in matrice sabbiosa deb. limosa marrone grigiastra. Pres. elementi bituminosi e resti di mattoni			
50R 38	3.00 6cm	3.40	A	3.40				ghiaia ghiaietto e ciottoli (Ø max 8 cm) in matrice sabbiosa deb. limosa da marrone a marrone grigiastra. Pres. tracce di cementazione			
25 15 40	4.50	4.00		4.00	5			sabbia media deb. limosa marrone chiaro con ghiaia loc. alterata ghiaietto e ciottoli (Ø max 11 cm). Pres. trovante (pot. 20 cm)			
16 34 9	6.00	7.00	B	6.00				ghiaia e ghiaietto in matrice sabbiosa limosa marrone rossastra			
4 5 4	7.50	8.30		8.30				sabbia media deb. limosa marrone chiaro con ghiaia ghiaietto e ciottoli (Ø max 13 cm)			
50R	9.00 7cm	10.90 11.20		10.90 11.20	10			<b>conglomerato ad elementi medio grossolani a matrice arenacea deb. cementata</b>			
50R	12.00 13cm	14.20	C	14.20	15			sabbia da deb. limosa a limosa marrone con ghiaia e ghiaietto loc. alterati. Pres. ciottoli (Ø max 12 cm) e localm. ghiaia alterata e degradata in sabbia grossolana bianca e verdastria			
50R	15.00 13cm	16.50		16.50				conglomerato ad elementi medio grossolani a matrice arenacea deb. cementata			
50R	18.00 7cm	18.00 19.30	D	18.00 19.30	20			sabbia medio grossolana limosa marrone brunastra con ghiaia e ghiaietto loc. alterati. Pres. rari ciottoli (Ø max 11 cm)			
		20.50		20.50	20			ghiaia e ghiaietto in matrice sabbiosa marrone brunastra			
		25			25						
		30			30						

2, 3 ..... : camp. indisturbate  
Shelby d : Denison  
Mazier o : Osterberg  
percussione  
B, C ..... : campioni rimaneggiati

S.P.T. : standard penetration test N x 15 cm  
V.T. : svane test (Kg/cm<sup>2</sup>) - max/residuo  
R.Q.D. : rock quality designation



data	prof. foro	prof. rivest.	livello acqua	data	prof. foro	prof. rivest.	livello acqua
07.91	7.50	7.50	assente				

ALLEGATI: 1



















# STRATIGRAFIA - S 62

SCALA 1:75 Pagina 1/1

Riferimento: SERVIZI INDUSTRIALI	Sondaggio: S 62
Località: FIAT AVIO-VIA NIZZA, TORINO	Quota:
Impresa esecutrice: EUROGEO S.R.L.	Data: 13/10/2005
Coordinate:	Redattore: DR. PIERI

Prof. m	R	A	Pz	metri bat	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prof. % 0-100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0-100	prof. m	DESCRIZIONE
				0									0.8	Cemento
				1									2.1	Riparto: sabbia debolmente limosa con ghiaia e laterizi.
				2									2.6	Limo sabbioso grigio marrone
				3									7.6	Sabbia ghiaiosa grigia con rari ciottoli anche decimetrici
				4										
				5										
				6										
				7										
				8										
				9										
				10									10.0	Ghiaia debolmete sabbiosa coir marrone con rari ciottoli
				11										
				12										
				13										
				14										
				15									15.0	Sabbia e ghiaia con ciottoli







STRATIGRAFIA POZZO A

A

- 0        ÷    0.40 metri    battuto calcestruzzo (5 cm) e sottofondo ghiaioso - sabbioso
- 0.40    ÷    1.35 metri    suolo bruno sabbioso - argilloso (Campione 1).
- 1.35    ÷    2.40 metri    ghiaia con ciottoli ( $\emptyset$  max 15 cm) leggermente alterati con scarsa matrice sabbiosa - limosa bruna. I ciottoli, a spigoli arrotondati, sono rappresentativi di varie litologie (principalmente gneiss, micascisti, pietre verdi) (Campione 2).
- 2.40    ÷    3.10 metri    ghiaia e ciottoli ( $\emptyset$  max 25 cm) in matrice sabbiosa grigia (Campione 3).
- 3.10    ÷    3.80 metri    sabbia e ghiaia grigia con rari ciottoli ( $\emptyset$  max 15 cm) (Campione 4; centro finestra -3,35 metri da piano campagna).
- 3.80    ÷    4.50 metri    sabbia grossolana grigia con ghiaia e ciottoli ( $\emptyset$  max 15 cm) (Campione 5).
- 4.50    ÷    8.50 metri    sabbia grigia e ghiaia con ciottoli ( $\emptyset$  max 25 cm) con locali livelli decimetrici di sola ghiaia (Campione 6-7-8-9-10; finestre -5,22 metri e -8,23 metri).
- 8.50    ÷    14.30 metri    sabbia grossolana bruna con ghiaia sciolta molto addensata; ad una profondità di circa 11 metri è presente una lente di potenza decimetrica di conglomerato con estensione areale estremamente limitata ( Campioni 11-12-13-14-15; finestre -11,10 metri e -13,02 metri).

STRATIGRAFIA POZZO B

**B**

- 0 ÷ 1.10 metri terreno di riporto (ciottoli Ø max 15 cm e ma  
cerie di laterizi con matrice limosa bruna).
- 1.10 ÷ 1.50 metri suolo argilloso bruno - rossastro limoso.
- 1.50 ÷ 2.10 metri ghiaia con abbondante sabbia grossolana bru  
na e rari ciottoli arrotondati con Ø max 10  
cm. Gli elementi lapidei, leggermente alterati,  
sono rappresentativi di varie litologie (prin-  
cipalmente gneiss, micascisti, pietre verdi)  
(Campione 1).
- 2.10 ÷ 4.20 metri ghiaia con frequenti ciottoli Ø max 10 cm  
immersi in matrice sabbiosa grossolana grigia  
(Campioni 2-3; centro finestra -2,96 metri da  
piano campagna).
- 4.20 ÷ 6.70 metri idem precedente con ciottoli Ø max 25 cm  
(Campioni 4-5-6; finestra -4,86 metri).
- 6.70 ÷ 7.00 metri livelli cementati di ghiaia e sabbia gris  
solana con ciottoli Ø max 10 cm alternati a li-  
velli di ghiaia e sabbia sciolta. I livelli cemen-  
tati sono molto discontinui lateralmente  
(Campioni 7-8).
- 7.00 ÷ 7.80 metri sabbia sciolta con ghiaia (Campione 9; fine-  
stra -7,36 metri).
- 7.80 ÷ 9.00 metri conglomerato fluviale poligenico fortemente ce  
mentato con ciottoli con diametro massimo 10  
cm e rare lenti di ghiaia e sabbia sciolte; è  
estremamente resistente allo scavo (Campione  
10).
- 9.00 ÷ 12.0 metri idem livello precedente ma non sono presenti  
lenti di materiali sciolti (Campione 11-12-13;  
finestre -9,58 metri e -11,95 metri).
- 12.0 ÷ 12.50 metri sabbia grossolana bruna sciolta fortemente ad  
densata con subordinata ghiaia (Campione 14).
- 12.50 ÷ 13.0 metri sabbia, ghiaia e ciottoli (diametro massimo 25 cm  
sciolte fortemente addensate (Campione 15).

13.0 + 14.15 metri conglomerato fluviale poligenico inizialmente poco cementato poi in profondità molto cementato e resistente allo scavo (Campione 16).

STRATIGRAFIA POZZO C

C

- 0        ÷    1.00    metri   terreno di riporto (ciottoli e macerie di laterizi in matrice limosa bruna).
- 1.00    ÷    1.70    metri   ghiaia con sabbia grossolana bruna e ciottoli Ø max 10 cm arrotondati leggermente alterati rappresentativi di varie litologie (principalmente gneiss, micascisti e pietre verdi) (Campione 1).
- 1.70    ÷    3.80    metri   ghiaia con ciottoli Ø max 10 cm in matrice sabbiosa grossolana grigia (Campione 2; centro finestra -3,33 metri da piano campagna).
- 3.80    ÷    5.00    metri   idem precedente con ciottoli Ø max 25 cm; a circa -4,80 m sono presenti rari ciottoli Ø 40 cm (Campioni 3-4).
- 5.00    ÷    6.80    metri   ghiaia con sabbia grossolana grigia con frequenti ciottoli Ø max 10 cm (Campioni 5-6; finestra -5,36 metri).
- 6.80    ÷    9.00    metri   conglomerato fluviale poligenico con ciottoli con diametro massimo 15 cm. Si tratta di un'alternanza molto regolare fra livelli potenti 20 ÷ 30 cm di depositi debolmente cementati e depositi fortemente cementati. Nel complesso il materiale è poco resistente allo scavo (Campioni 7-8-9-10-11, finestra -7,40 metri).
- 9.00    ÷    11.00    metri   alternanza come precedente, ma con presenza di una matrice sabbiosa fine marrone chiaro; i ciottoli si presentano di frequente intensamente alterati. Il materiale è poco resistente allo scavo (Campioni 12-13; finestre -9,44 metri e -11,53 metri).
- 11.0    ÷    12.50    metri   sabbia grossolana bruna e ghiaia sciolta (Campione 14).
- 12.50    ÷    15.50    metri   limo nocciola leggermente plastico con rari

ciottoli molto alterati con diametro 1 ÷ 2  
cm (Campioni 15-16-17; finestra -12,86  
metri).

15.50 ÷ 16.10 metri sabbia limosa bruna. Il passaggio fra  
questo deposito ed il limo soprastante non  
è netto ma avviene gradualmente. (Campio  
ne 18).

Livello statico in data 25/09/89: - 15,70 da P.C.

### ALLEGATO 3

Stratigrafie delle indagini geognostiche realizzate durante la campagna geognostica 2007 (settembre –novembre 2007).



Via Giovanni Agnelli, 71 - 10022 Carmagnola (To)  
Tel. 0119724411 r.a. - Fax 0119771889  
http://www.abrate.it - E-mail: info@abrate.it

Committente	Regione Piemonte	
Cantiere	Nuovo Palazzo della Regione	
Localita'	Torino - Ex Fiat Avio - Via Passo Buole	
Perforazione iniziata il		Terminata il
Dep. cassette	cantiere	Scala 1:150

SONDAGGIO	FOGLIO
St1	1/2
Il compilatore Dott. Mussa	

profondita' dal p.c. (m)	potenza dello strato	sezione stratigrafica	descrizione litologica	livello stab. della falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tipo a tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni ind. Shelby	campioni rimaneggiati	permeabilita' (cm/s)
2.90	2.90		Terreno di riporto ghiaioso sabbioso con ciottoli (diam. max 8-10 cm) e sporadici frammenti di laterizi, addensato.												
7.70	4.80		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 8-10 cm) in matrice sabbiosa addensata, presenza di fenomeni di cementazione; colore grigio chiaro.							6.00 18-22-25					
10.60	2.90		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 8-10 cm) in matrice sabbiosa limosa, mediamente addensata, presenza di fenomeni di alterazione e/o ossidazione di clasti e matrice; colore bruno scuro grigiastro.							9.00 15-20-22					
16.20	5.60		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 8-10 cm) in matrice sabbiosa debolmente limosa addensata, presenza di fenomeni di alterazione della matrice, presenza di rari trovanti cristallini decimetrici, presenza di sporadici fenomeni di cementazione; colore bruno grigiastro.	15.70	Rotazione a carotaggio continuo diam. 131 mm sempl.	178 mm				12.00 R 15.00 20-25-30					
25.50	9.30		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 8-10 cm) in matrice sabbiosa a tratti limosa, addensata, presenza di intervalli decimetrici sabbiosi prevalenti, presenza di sporadici fenomeni di alterazione e/o ossidazione concentrati in livellin pluridecimetrici; colore bruno grigiastro.							18.00 32-35-38					
27.00	1.50		Conglomerato da cementato a debolmente cementato, grossolano (diam. max 10-12 cm).												
32.00	5.00		Ghiaia eterometrica con sporadici ciottoli e trovanti cristallini decimetrici in matrice limosa sabbiosa abbondante e talora prevalente, da mediamente addensata ad addensata, presenza di fenomeni di alterazione e/o ossidazione della matrice; colore bruno chiaro.		131 t6										
37.00	5.00		Sabbia eterometrica con sporadica ghiaia sparsa, da mediamente addensata ad addensata, debolmente limosa; colore bruno scuro.		Rotazione a carotaggio continuo diam. 131 mm sempl.	152 mm									

La quota di inizio foro corrisponde al piano di calpestio del piazzale.



Via Giovanni Agnelli, 71 - 10022 Carmagnola (To)  
Tel. 0119724411 r.a. - Fax 0119771889  
http://www.abrate.it - E-mail: info@abrate.it

Committente	Regione Piemonte	
Cantiere	Nuovo Palazzo della Regione	
Localita'	Torino - Ex Fiat Avio - Via Passo Buole	
Perforazione iniziata il	_____	Terminata il _____
Dep. cassette	cantiere	Scala <b>1:150</b>

SONDAGGIO	FOGLIO
<b>St1</b>	<b>2/2</b>
Il compilatore Dott. Mussa	

profondita' dal p.c. (m)	potenza dello strato	sezione stratigrafica	descrizione litologica	livello stab. della falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tipo a tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni ind. Shelby	campioni rimaneggiati	permeabilita' (cm/s)
37.00	5.30		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 4-6 cm) in solo quarzo, in abbondante matrice sabbiosa limosa talora prevalente, da addensata a molto addensata; colore variabile da da bruno chiaro a grigio scuro		Rotazione a carotaggio continuo diam. 131 mm sempl.	152 mm				39.00 24-25-28					
42.30	0.90		Limo debolmente sabbioso fine, consistente, debolmente alterato; colore bruno nocciola.												
43.20	24.80		limo debolmente sabbioso fine, a tratti debolmente argilloso, debolmente plastico, fossilifero (gasteropodi, bivalvi...), integro, consistente, omogeneo., presenza di intervalli lapidei decimetri carbonatici marnosi a 57,00 ma 57,25 m, da 63,60 m a 63,80 m; colore grigio scuro.		Rotazione a carotaggio continuo diam. 131 mm sempl.	66 mm	90-100%								
68.00	12.00		Limo sabbioso fine, debolmente argilloso, debolmente plastico, integro ed omogeneo, fossilifero; colore grigio scuro.										68.00 Cl 68.50		
80.00															

La quota di inizio foro corrisponde al piano di calpestio del piazzale. é stata eseguita prova pressiometrica Menard nell'intervallo da 48,00 m a 49.50 m



Via Giovanni Agnelli, 71 - 10022 Carmagnola (To)  
Tel. 0119724411 r.a. - Fax 0119771889  
http://www.abrate.it - E-mail: info@abrate.it

Committente	Regione Piemonte	
Cantiere	Nuovo Palazzo della Regione	
Localita'	Torino - ex Fiat Avio - Via passo Buole	
Perforazione iniziata il		Terminata il
Dep. cassette	cantiere	Scala 1:150

SONDAGGIO	FOGLIO
St4	1/2
Il compilatore Dott. Mussa	

profondita' dal p.c. (m)	potenza dello strato	sezione stratigrafica	descrizione litologica	livello stab. della falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tipo a tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni ind. Shelby	campioni rimaneggiati	permeabilita' (cm/s)
0.40	0.40		Soletta in cls.												
1.00	0.60		Terreno di riporto ghiaioso con frammenti decimetrici di laterizi, scarsamente addensato.												
1.30	0.30														
2.50	1.20		Soletta in cls.												
4.20	1.70		Terreno di riporto limoso ghiaioso consistente, debolmente plastico.												
5.80	5.80		Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa debolmente limosa scarsamente addensata, alterata; colore bruno scuro.							6.00					
10.00			Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 8-10 cm) in abbondante matrice sabbiosa, presenza di sporadici fenomeni di cementazione, da addensata a molto addensata; colore grigio chiaro talora brunastro.							R					
12.00	2.00		Ghiaia eterometrica sabbiosa, mediamente addensata, con rare passate decimetriche alterate brunastre; colore grigio brunastro.		Rotazione a carotaggio continuo diam. 131 mm sempl.	152 mm				9.00					
13.00	1.00		Intervallo grossolano di ghiaia ciottolosa (diam. max 8-10 cm) in matrice sabbiosa addensata; colore bruno giallastro.							32-R					
14.00	14.00		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 8-10 cm) in abbondante matrice sabbiosa limosa, presenza di sporadici fenomeni di alterazione della matrice, da addensata a molto addensata; colore bruno chiaro grigiastro.	15.70						12.00					
27.00	5.00		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 8-10 cm) e sporadici trovanti cristallini decimetrici in pietre verdi, in matrice sabbiosa limosa talora prevalente, molto addensata; colore grigio brunastro.		Rotazione a carotaggio continuo diam. 101 mm sempl.	127 mm				R					
32.00	9.20		Ghiaia sabbiosa e/o sabbia con ghiaia sparsa, da molto addensata ad addensata; colore bruno nocciola.							15.00					
41.20										25-28-30					
										18.00					
										28-32-35					

La quota di inizio foro corrisponde al piano di calpestio del piazzale.

Il piezometro installato è del tipo a tubo aperto 2" in PVC.



Via Giovanni Agnelli, 71 - 10022 Carmagnola (To)  
Tel. 0119724411 r.a. - Fax 0119771889  
http://www.abrate.it - E-mail: info@abrate.it

Committente	Regione Piemonte	
Cantiere	Nuovo Palazzo della Regione	
Localita'	Torino - ex Fiat Avio - Via passo Buole	
Perforazione iniziata il	Terminata il	
Dep. cassette	cantiere	Scala 1:150

SONDAGGIO	FOGLIO
St4	2\2
Il compilatore Dott. Mussa	

profondita' dal p. c. (m)	potenza dello strato	sezione stratigrafica	descrizione litologica	livello stab. della falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tipo a tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni ind. Shelby	campioni rimaneggiati	permeabilita' (cm/s)
41.20 41.70	0.50		Limo sabbioso argilloso consistente, debolmente laminato; colore bruno nocciola chiaro.  Limo da sabbioso fine a debolmente sabbioso fine, a tratti debolmente argilloso, da consistente a molto consistente, raramente plastico, talora fossilifero; colore grigio scuro.		Rotazione a carotaggio continuo diam. 101 mm sempl.	127 mm									
	38.30				66 mm		90-100%						51.50 Cl1 52.00		
80.00					Rotazione a carotaggio continuo diam. 101 mm sempl.										

La quota di inizio foro corrisponde al piano di calpestio del piazzale.

Il piezometro installato è del tipo a tubo aperto 2" in PVC.



Via Giovanni Agnelli, 71 - 10022 Carmagnola (To)  
Tel. 0119724411 r.a. - Fax 0119771889  
http://www.abrate.it - E-mail: info@abrate.it

Committente	Regione Piemonte	
Cantiere	Nuovo Palazzo della Regione	
Localita'	Torino - ex Fiat Avio- Via Passo Buole	
Perforazione iniziata il		Terminata il
Dep. cassette	cantiere	Scala 1:100

SONDAGGIO	FOGLIO
ST14	1\1
Il compilatore Dott. Mussa	

profondita' dal p.c. (m)	potenza dello strato	sezione stratigrafica	descrizione litologica	livello stab. della falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tipo a tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni ind. Shelby	campioni rimaneggiati	permeabilita' (cm/s)
2.00	2.00		Terreno costituito da ghiaia sabbiosa limosa, frammenti pluricentrici di laterizi e cls, scarsamente addensato, sporadiche screziature nerastre.												
3.20	1.20		Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa limosa, scarsamente addensata; colore brunastro grigiastro.												
6.00	2.80		Ghiaia eterometrica con rari ciottoli (diam. max 4-6 cm) in abbondante matrice sabbiosa a tratti debolmente limosa, presenza di fenomeni di cementazione, addensata; colore grigio brunastro.							6.00					
9.00	3.00		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 8-10 cm) in matrice limosa sabbiosa, da addensata a scarsamente addensata; colore bruno scuro.							4-12-14					
12.20	3.20		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 6-8 cm) in abbondante matrice sabbiosa a tratti debolmente limosa, presenza di fenomeni di cementazione, presenza di intervalli pluricentrici di conglomerato cementato, addensata; colore grigio brunastro.		Rotazione a carotaggio continuo diam. 131 mm sempl.	178 mm				9.00					
15.30	3.10		Ghiaia eterometrica con rari ciottoli (diam. max 6-8 cm) in matrice sabbiosa, da addensata a molto addensata, presenza di fenomeni di alterazione e/o ossidazione di clasti e matrice, presenza di livelli centimetrici di conglomerato cementato, presenza di screziature verdastre e biancastre; colore bruno scuro grigiastro.							15-21-29					
20.00	4.70		Ghiaia sabbiosa e/o sabbia ghiaiosa con rari ciottoli (diam. max 4-6 cm), debolmente limosa, addensata; colore bruno scuro.	18.00						12.00					
31.10	11.10		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 6-8 cm) e rari trovanti decimetrici cristallini in pietre verdi, in abbondante e talora prevalente matrice sabbiosa limosa, da addensata a molto addensata, sporadici fenomeni di cementazione; colore bruno talora grigiastro.		Rotazione a carotaggio continuo diam. 101 mm sempl.	127 mm	90-100%			11-33-R					
32.80	1.70		Sabbia media, da mediamente addensata ad addensata; colore bruno ocra giallastro.							15.00					
35.00	2.20		Sabbia grossolana con raro ghiaietto sparso, scarsamente addensata; colore grigiastro brunastro.							17-R					
39.50	4.50		Ghiaia eterometrica con ciottoli in solo quarzo (diam. max 8-10 cm) in abbondante matrice sabbiosa limosa a tratti debolmente argillosa, molto addensata; colore grigio scuro.							21.00					
40.00	0.50		Limo debolmente argilloso debolmente sabbioso fine, debolmente organico, consistente; colore grigio scuro.							7-12-22					

La quota di inizio foro corrisponde al piano di calpestio del piazzale.

Non è stato possibile realizzare la prova pressiometrica Menard a causa dell'instabilità del foro.



Via Giovanni Agnelli, 71 - 10022 Carmagnola (To)  
Tel. 0119724411 r.a. - Fax 0119771889  
http://www.abrate.it - E-mail: info@abrate.it

Committente	Regione Piemonte	
Cantiere	Torino - Nuovo Palazzo della Regione	
Localita'	Torino - ex Fiat Avio - Via Passo Buole	
Perforazione iniziata il		Terminata il
Dep. cassette	cantiere	Scala 1:150

SONDAGGIO	FOGLIO
ST15	1\1
Il compilatore Dott. Mussa	

profondita' dal p.c. (m)	potenza dello strato	sezione stratigrafica	descrizione litologica	livello stab. della falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tipo a tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni ind. Shelby	campioni rimaneggiati	permeabilita' (cm/s)
0.50	0.50		Soletta in cls con sottofondo ghiaioso ciottoloso grossolano.												
1.50	1.50		Terreno di riporto ghiaioso limoso sabbioso addensato, con diffuse screziature nerastre e ocre maleodoranti.												
2.00	4.00		Ghiaia eterometrica in abbondante matrice sabbiosa addensata, presenza di fenomeni di cementazione; colore grigio chiaro.												
6.00	8.50		Ghiaia eterometrica con rari ciottoli (diam.max 4-6 cm) in matrice sabbiosa limosa, da addensata a molto addensata, presenza di sporadici fenomeni di cementazione; colore grigio brunastro.		Rotazione a carotaggio continuo 131 mm sempl.	178 mm				6.00 11-39-R 9.00 19-R 12.00 16-28-39 15.00 10-19-28					
14.50	5.00		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 6-8 cm) in matrice limosa sabbiosa, da addensata a molto addensata, presenza di fenomeni di alterazione e/o ossidazione della matrice; colore grigio bruno.	15.20											
19.50	10.50		Ghiaia eterometrica con sporadici ciottoli (diam. max 8-10 cm) e rari trovanti cristallini decimetrici, in abbondante matrice sabbiosa limosa, molto addensata; colore bruno scuro.				90-100%			21.00 12-28-26					
30.00	1.70		Ghiaia eterometrica in matrice limosa sabbiosa mediamente addensata; colore grigio scuro.		Rotazione a carotaggio continuo diam. 101 mm sempl.	127 mm									
31.70	2.30		Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa limosa debolmente argillosa, addensata, presenza di diffusi fenomeni di alterazione e/o ossidazione; colore bruno giallastro.												
34.00	4.00		Sabbia debolmente ghiaiosa fine, debolmente limosa, da addensata a scarsamente addensata; colore bruno grigio.												
38.00	2.00		Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa, fortemente alterata, riconoscibili solo i clasti di quarzite, mediamente addensata; colore grigio chiaro.												
40.00															

La quota di inizio foro corrisponde al piano di calpestio del piazzale.



Via Giovanni Agnelli, 71 - 10022 Carmagnola (To)  
Tel. 0119724411 r.a. - Fax 0119771889  
http://www.abrate.it - E-mail: info@abrate.it

Committente	Regione Piemonte	
Cantiere	Nuovo Palazzo della Regione	
Localita'	Torino - ex Fiat Avio - Via Passo Buole	
Perforazione iniziata il		Terminata il
Dep. cassette	cantiere	Scala 1:150

SONDAGGIO	FOGLIO
St16	1\1
Il compilatore Dott. Mussa	

profondita' dal p.c. (m)	potenza dello strato	sezione stratigrafica	descrizione litologica	livello stab. della falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tipo a tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni ind. Shelby	campioni rimaneggiati	permeabilita' (cm/s)
1.00	1.00		Solette in cls armato intervallati a terreni di sottofondo ciottolosi sabbiosi.												
2.00	0.60		Terreno di riporto sabbioso ghiaioso limoso, con subordinati frammenti centimetrici di laterizi, presenza di screziature nerastre, scarsamente addensato.												
2.60	4.30		Limo sabbioso debolmente ghiaioso fine, scarsamente consistente; colore bruno scuro.												
6.90	1.10		Ghiaia eterometrica con rari ciottoli (diam. max 4-6 cm) in abbondante matrice sabbiosa a tratti debolmente limosa, da addensata a scarsamente addensata, presenza di diffusi fenomeni di alterazione e/o ossidazione di clasti e matrice, presenza di screziature biancastre; colore brunastro grigiastro.							6.00 7-15-18					
8.00	1.50		Ghiaia eterometrica con rari ciottoli (diam. max 4-6 cm) in abbondante matrice sabbiosa limosa, da addensata a scarsamente addensata, presenza di diffusi fenomeni di alterazione e/o ossidazione di clasti e matrice, presenza di screziature biancastre; colore bruno scuro.							9.00 18-R					
9.50	9.50		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 6-8 cm) in matrice sabbiosa addensata, presenza di sporadici fenomeni di cementazione; colore grigio.							12.00 R					
19.00	1.60		Conglomerato cementato grossolano (diam. max 12-15 cm), da fortemente cementato a cementato.							15.00 16-24-33					
20.60	5.40		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 6-8 cm) in matrice sabbiosa limosa talora prevalente in intervalli decimetrici debolmente laminati, da addensata a scarsamente addensata; colore bruno scuro.		131 T6		90-100%			18.00 18-25-R					
26.00	7.00		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 6-8 cm) in matrice sabbiosa limosa talora prevalente in intervalli decimetrici debolmente laminati, da mediamente addensata ad addensata; colore bruno scuro.												
33.00	1.50		Sabbia emdio fine, da addensata a scarsamente addensata; colore bruno chiaro.							33.00 5-10-12					
34.50	3.90		Sabbia eterometrica con raro ghiaietto sparso, da molto addensata a scarsamente addensata.												
38.40	1.60		Ghiaia eterometrica con soli ciottoli di quarzo (diam. max 6-8 cm) in abbondante e talora prevalente matrice limoso sabbiosa, molto addensata; colore grigio scuro.												
40.00															

La quota di inizio foro corrisponde al piano di calpestio del piazzale

#### ALLEGATO 4

RICCI, G., ENRIONE, R., EUSEBIO, A., CROVA, R. 2007. "Numerical modelling of the interference between underground structures and aquifers in urban environment. The Turin subway – Line 1". Underground Space – the 4<sup>th</sup> Dimension of Metropolises.

# Numerical modeling of the interference between underground structures and aquifers in urban environment. The Turin subway - Line 1

G. Ricci, R. Enrione, A. Eusebio  
*Geodata S.p.A. Turin, Italy*

R. Crova  
*GTT S.p.A. Gruppo Torinese Trasporti, Turin, Italy*

**ABSTRACT:** A case study is presented where the construction of underground structure is expected to interfere with unconfined aquifer: the design of the Metro Line 1 in Turin (Italy), where deep retaining structures have to be built for the stations. A full range of water table monitoring data were collected and analyzed. In addition to this a hydrogeological modeling approach has been developed, to simulate the groundwater-structures interference. A site investigation program provided the model geometry data (geological inputs) and intrinsic hydrogeological properties for the aquifer. Firstly, a regional modeling was performed, to obtain the starting conditions for the local model (works scale). Subsequently, with the local model, the interference between groundwater flow and structures was computed. The results were coupled with the long-term data monitoring and the information on the historical groundwater table level in order to allow the designer to define the appropriate countermeasures and interventions to be taken for both the construction and the exploitation phase.

## 1 INTRODUCTION

The city of Turin is an urban environment where new infrastructure and transport network (local railway, parking and metro line) are being increasingly developed underground. Such development is increasingly occupying a space never or poorly used before. The first metro line (Line 1) has been designed and constructed in the last five years. The line is crossing the city from east to west passing through a heavily urbanized area where both existing and new underground works are present.

Logistical and functional needs were considered to choose the alignment (in plan), on the other hand (in depth), such choice had to cope with critical constraints that the project design had to properly face and solve. One of these critical issues is the hydrogeological scenario, because the metro works are interfering with an unconfined aquifer.

## 2 THE LINE 1 OF THE TURIN SUBWAY NETWORK

The Line 1 is the first Metro Line ever constructed in the city of Turin and is divided into two sections (Fig. 1). Section I connects the town of Collegno, on the city's western outskirts, to the Porta Nuova railway station in the city centre. It includes 9.5 km of running tunnels, 15 stations and 15 ventilation and

emergency-access shafts in-between stations. Section II runs entirely in the urban area of Turin with 4 km tunnel length and 6 stations.

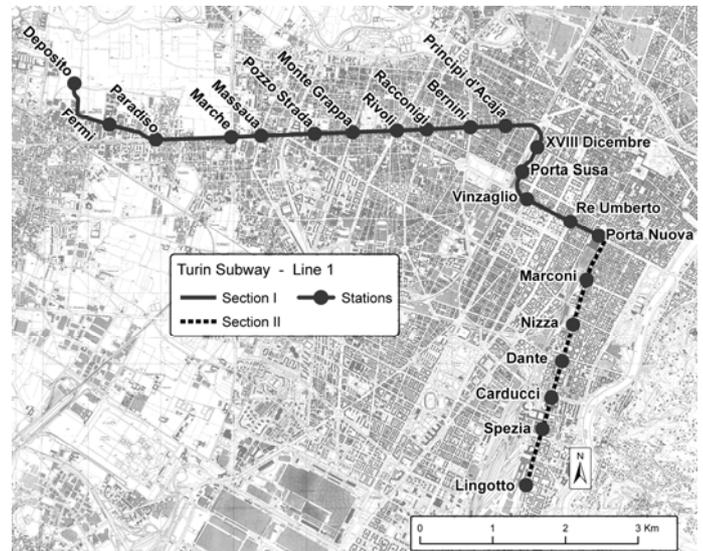


Figura 1. The Turin Subway Line 1.

This article will refer to Section II and particularly to the problems due to the interference between the underground works and the unconfined aquifer.

### 3 GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL SETTING

#### 3.1 Geology

The town area of Turin is placed in an alluvial plain built up by numerous contributions of alluvial fans located at the Alpine valley mouths of Dora Riparia and Stura di Lanzo rivers. Alluvial fans are composed by outwash deposits that were partially reshaped by the fluvial activity of the rivers that cross the town area (Po, Stura di Lanzo, Dora Riparia e Sangone).

Geological stratigraphy (Bonsignore et al. 1969) of the area shows the following units described starting from surface:

- outwash and Quaternary fluvial deposit (Riss Glacial Period): gravels, pebbles and sands in a silty matrix. The deposit is from 30m to 40m thick and is generally loose except for some cemented lens of conglomerates.
- lacustrine and fluvio-lacustrine deposit of Villafranchiano (Sacco, 1886): clayey silts with sandy gravel lens poorly cohesive. The thickness of the deposit varies from 40m to 150m.
- neritic marine deposits from Pliocene: clayey silts, silty sands and fine blue and grey sands moderately cohesive. Maximum thickness is about 40m-50m.

While the first Quaternary deposit (outwash and fluvial deposit) is wide-spread and represents the first unit in the town area, both the Villafranchiano and the Pliocene deposits are underlying the Quaternary outwash and fluvial deposit. This is due to local uprising and differential erosion of the Villafranchiano at the beginning the Quaternary Period. As a result, both Villafranchiano lacustrine and fluvio-lacustrine deposits and neritic marine deposits from Pliocene can be found under the outwash and Quaternary fluvial deposits.

#### 3.2 Hydrogeology

With reference to tunnel depth, that varies from -12m to -25 (railway level), the hydrogeological setting shows an unconfined aquifer located in the outwash and fluvial quaternary deposits. This aquifer is confined below by a thick layer of low permeability deposit (clayey silts located at the top of Villafranchiano) and has a saturated thickness from 15m to 25m. In the area of the Section II of the Metro Line, depth to water ranges from -12m to -15 below ground level. The unconfined aquifer is recharged from the west side while direct infiltration (from rainfall) in the urban area is almost totally intercepted by the city water drainage system. In the town area the Po river bed is located at a lower level and acts as a drain to the groundwater of the unconfined aquifer. This role is confirmed by the relationship between the water table contour lines and the

river water level, which crosses the town flowing from South to North-East. Groundwater mean flow direction is oriented ESE (120°N) and locally diverges because of permeability anisotropies that creates converging and diverging flow paths. Hydraulic gradient varies from 0.25% (mean value in the centre of the town) to 0.7% - 0.8% approaching the Po river bed (Fig. 2). Piezometric level is located at about -15m from ground level and the natural phreatic fluctuation is about of  $\pm 1.5$ m as response to rainfall input.

It must be pointed out that during ancient times (Eighteenth Century) phreatic level was probably about from 4m to 5m higher than current level. This fact is confirmed by the presence of ancient adits of the underground defence system of the city (excavated just above water level) and by some historical water well found below the old town building foundations. Moreover, in the last five decades the unconfined aquifer has been exploited for industrial purposes, causing a widespread lowering of the water table. In the last twenty years the displacement of many industrial factories from the town has decreased water extraction rate and, consequently, this fact has allowed the water table to slowly rise back towards the "unexploited" level. Nevertheless, water table monitoring data collected in the last twenty years have clearly shown that the water table uprising rate, due to the cease of industrial exploitation, has notably dropped especially in the last 10-15 years. This evidence suggests that current water table will probably never reach the pristine level referred to the ancient times. An explanation to this could be the urbanization of the town area that has practically led to a minimum groundwater recharge from precipitation that is now canalised in the main drain system and discharged in the Po river.

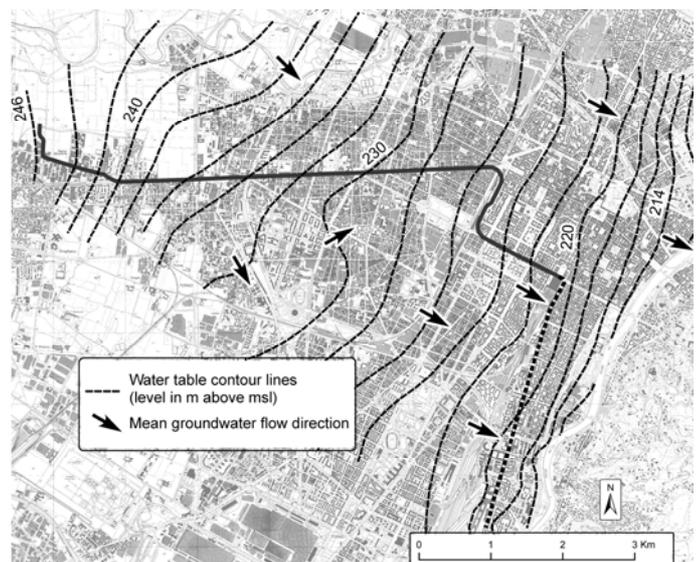


Figure 2. Water table contour in the Turin area (level in m above msl) and mean flow direction.

By the way, the design of such an important underground work has to deal with very long time sce-

narios, therefore the "historical" level of the water table has to be considered and then taken into account in the design of the infrastructure.

#### 4 HYDROGEOLOGY TESTING AND WATER HEAD MONITORING

##### 4.1 Water test

A full range of permeability tests were performed during the site investigation campaigns carried out in the design phase of project.

- over 50 Lefranc permeability tests were performed in 25 boreholes (core boring drilling), distributed along the Section II. Water tests were performed at different depths in order to investigate hydraulic properties both in the outwash and fluvial deposits and in the low permeability Villafranchiano deposits.
- n. 2 long-time water pumping tests (Fig. 3) were performed in the outwash and fluvial deposit with ad-hoc excavated wells. Each well had water table drawdown monitoring devices installed in two piezometer located at close distance.

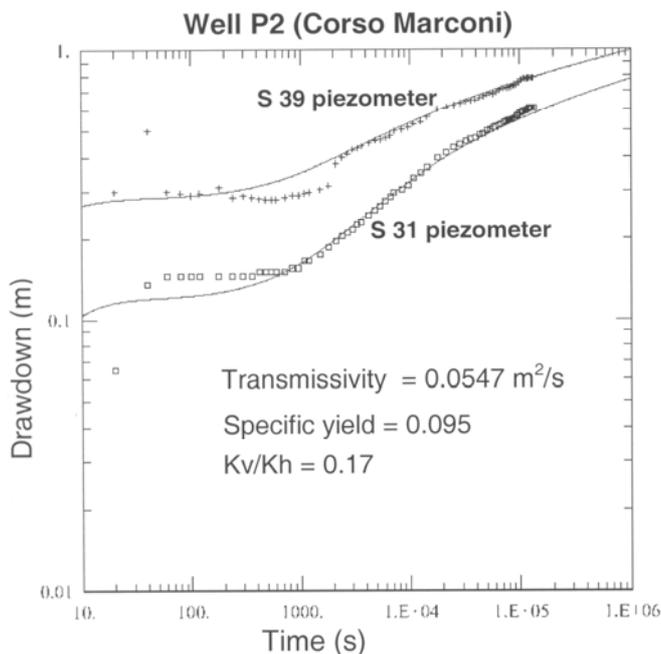


Figure 3. Water pumping test in water well P2 (Corso Marconi). Drawdown vs Time chart with interpolation curve (Neuman, 1975) and hydraulic properties.

The water test results have showed that the Quaternary deposits have medium to high permeability while the underlying Villafranchiano top layer has low to very low permeability. Table 1 below summarises the permeability range for both units.

These permeability test results clearly show that the aquifer in the Quaternary outwash and fluvial deposits has good permeability while it is confined below the by low permeability layer of the top of the Villafranchiano deposit.

Table 1. Hydraulic properties of Hydrogeological Units.

Unit	Outwash and fluvial Dep. (Quaternary)	Fluvio lacustrine Dep. (Villafranchiano)
k (m/s)	$1.0E^{-05} \div 3.0E^{-03}$	$5.0E^{-06} \div 1.0E^{-08}$
$k_v/k_h$	0.1 $\div$ 0.01	n.d.

##### 4.2 Water head monitoring

Water head monitoring on the Metro Line 1 wide area has been systematically carried out starting from the beginning of the design phase. Open pipe piezometers were installed in most of the drilled boreholes, where a monthly monitoring activity was initiated. Some piezometers were instrumented with continuous monitoring devices set to 12 hours data recording (Fig. 4), in order to monitor little water table fluctuations in response to recharge input.

Moreover, together with the site investigation campaign and water table monitoring activity, an extensive research of all piezometric level data has been carried out on the whole urban area of Turin. More than 250 data were acquired, referring to water wells or piezometers drilled in different times (from '60s to '90s); most of them are now destroyed and not measurable anymore. Anyway, the significance of the data is important to the understanding of the long-term water table fluctuations.

This activity has also comprised the reconstruction of the "ancient" water table level, determined on the level of the ancient water wells discovered in the old part of the city. These data together with 3D reconstruction of the underground defence adits network (excavated just above water table level) has indicated that the historical groundwater level (referred to XVIII century) could have been some 4-5m above current level. It must be said that this hypothesis is based on few observations and on the assumption that water table geometry and mean flow direction hasn't drastically changed over the times.

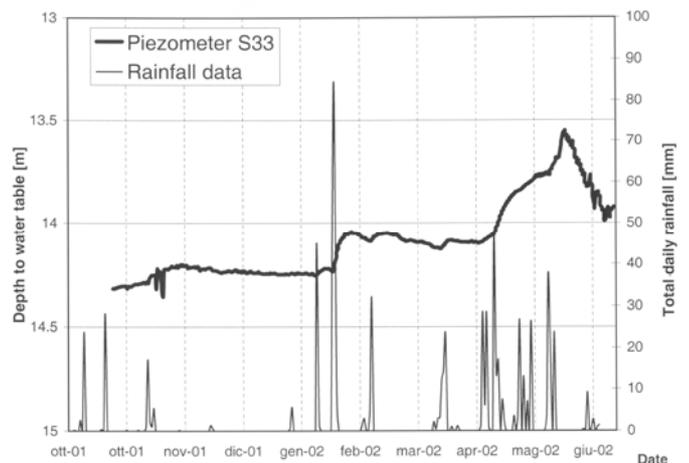


Figure 4. Groundwater table monitoring data (continuous recording) and daily rainfall data recorded in piezometer S33.

All the monitoring data have allowed to delineate with a great accuracy the current groundwater table which was used as a reference for the numerical modelling.

## 5 DATA MANAGEMENT

In order to have a unique platform to store, analyse and manage all the different data, a GIS was implemented. Such a common platform has allowed to analyse in 3D the design data such as the tunnel alignment, deep founded stations and other existing underground infrastructures together with geological and hydrogeological features such as the bottom of the highly permeable unit and the groundwater table. The aim was to highlight the potential critical scenarios where a numerical model should be employed in order to quantify the interference between the underground works and the groundwater table.

GIS data file formats were fully compatible with numerical modelling software so as to allow a fast setting of input parameters. The same GIS platform has already been employed in the construction management of the Section I to collect and manage excavation parameters (TBM) together with externally collected monitoring parameters (settlements, vibrations and water table fluctuations).

## 6 NUMERICAL MODELING

### 6.1 Problem statement

When an underground structure is constructed below water table it may cause a partial or total reduction of groundwater flow. Considering that the structure is totally impermeable it acts like a "barrier" to the flow. This causes (Fig. 5) an uprise of the water table along the side of the structure (upflow side) and a symmetrical lowering of the water table on the other side (downflow side). The entity of this interference is proportional to some factors such as the length of the structure, the angle of incidence between groundwater flow direction and the structure, the thickness of the free hydraulic section under the structure, the permeability of the media and the aquifer recharge condition.

The design of Section II of the Metro Line foresees interferences with groundwater table for most of its total length. The tunnel direction is perpendicular to mean flow direction causing, theoretically, the maximum possible interference. Some stations (Marconi and Spezia) have deep foundations that are driven so deep almost reaching the low permeability layer, causing a reduction of the hydraulic section.

The potential interference of the deep structures with the aquifer created some concern to the client because potential significant increase of water level in the long term may require heavier design with

consequent cost increase. Hence, it was necessary to estimate the real, expected entity of this potential increase of water level. To respond to this need, the 3D numerical modelling was naturally the best approach.

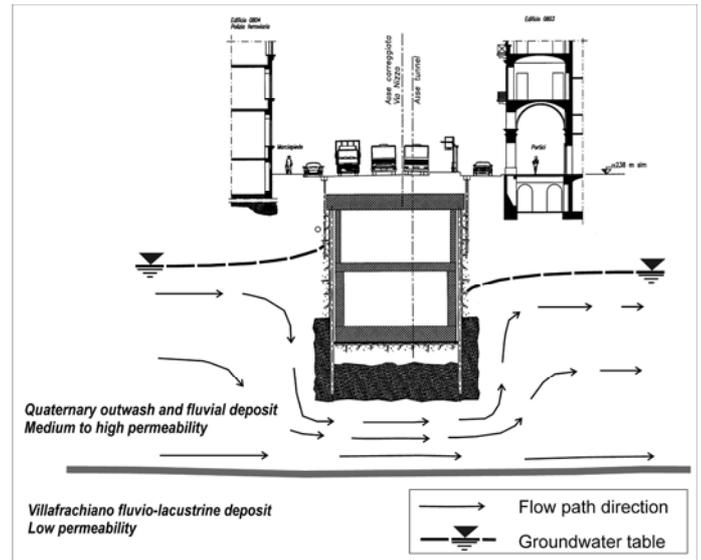


Figure 5. Partial obstruction of groundwater flow caused by a deep founded structure (not in scale).

The numerical code employed was MODFLOW (McDonald e Harbaugh, 1988 & 1996) a finite difference model with a user-friendly interface (GMS 3.1 Groundwater Modelling System, Boss International, 2001) able to perform geostatistical data treatment of input parameters.

The model applied was suitable to the hydrogeological setting because the aquifer is a typical porous media characterised by a fair homogeneity. In addition, the two hydrogeological units have little inclined surfaces and moreover, the metro line alignment is easily reproduced by finite difference models that are constrained to a rectangular grid.

### 6.2 Large scale numerical modelling

A groundwater numerical model must reproduce, in practical terms, the groundwater flow conditions as highlighted by the conceptual hydrogeological model, based on field observations.

In this case, the numerical modelling of small and localised scenarios, useful to quantify critical interferences, requires, as a first step, the set up of a larger scale numerical model able to simulate the general setting of groundwater circulation in a big area.

Such model was implemented in order to verify the correctness of the boundary conditions that are:

- lateral recharge prevailing on direct infiltration that is almost annulled in an urban environment.
  - drainage towards the river with consequent increase of hydraulic gradient towards and in coincidence of the slope that connects to the river bed.
- The area considered for the general model is a rectangle of 6300m × 4200m regular grid spacing and

with 6300 cells. Total depth is set to 60m and the model is divided into two layers to simulate the different hydraulic properties of the two hydrogeological units (Quaternary aquifer/Villafranchiano aquiclude). The top surface of the second layer (aquiclude) has been obtained by kriging the core boring results of deeper site investigations. Specifically, the boundary conditions are:

- "constant head" applied on the NW boundary to simulate lateral recharge.
- "no flow" along the sides of the model where flow direction is parallel to model sides.
- "head dependent flux boundary" (drainage) condition along the river boundary. This condition is reproduced by specific draining cells that simulate water drainage from the model. Their efficiency is ruled by a factor (conductance "C" that is dimensionally a  $L^2/T$ ) that will be calibrated.

Given the reference scenario, a calibration process has been done in steady state, trying to reproduce measured water table contour lines. The calibration process is carried out by varying cell by cell the values of  $k_h$  and  $k_v$  (horizontal and vertical permeability) in order to obtain a good comparison (Fig. 6) between modelled water table contour (performed by the model) and measured water table (obtained by on-the-field measured data). In addition, the efficiency of the drain cells was calibrated along the riverside of the model.

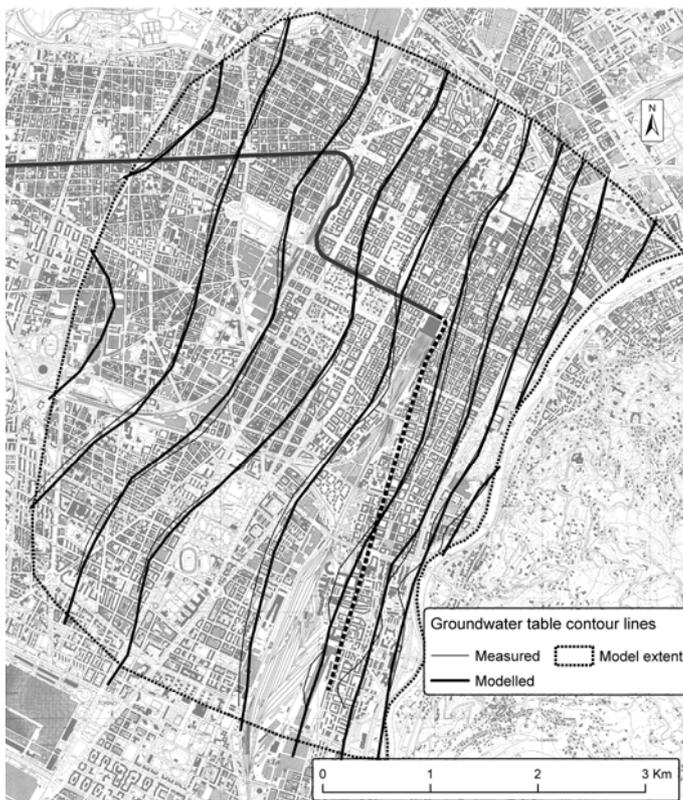


Figure 6. Calibration result of large scale model.

The permeability range assigned to the model cells is coherent with the range obtained by water permeability tests carried out during the site investigation campaign.

### 6.3 Numerical modelling of the interferences

As a second step in the numerical modelling approach, some localised models were implemented. The aim was to quantify with greater accuracy the entity of possible water table uprising caused by the deep founded structures.

Based on the results of the large-scale model, two local detailed models were implemented to simulate the construction of underground structures (cut&cover stations) and the tunnel below the water table.

Specifically, two critical scenarios were taken into account:

- 1 the interference due to by cut&cover structures that partially obstruct (almost perpendicularly) groundwater flow.
- 2 the interference created by the running tunnel itself.

The first scenario refers to the train deposit and nearby Marconi Station and also to Spezia Station. All these structures will be constructed with cut&cover technology. In both cases the model area was about  $1200m \times 900m$  and wide enough to avoid the influence of boundary conditions on the simulation results.

Grid dimension was variable (cell dimension ranging from 5m to 25m) with cells refinement around the structures. Total cell number was about 5200 per layer. Total depth was again set to 60m and divided into three layers.

Constant-head boundary conditions were employed on opposite sides of the modelled area to simulate inflow (lateral recharge) and outflow (discharge) of groundwater. Lateral sides had no flow conditions.

Calibration process was carried out with reference to a measured water table situation and the final results showed a good agreement between measured and modelled groundwater table. The barrier effect of the cut&cover structures was introduced by assigning very low permeability ( $k=1E^{-08}$  m/s) to the cells referred to the geometry of the structures. Once calibrated, the model was used to simulate the presence of the structure and other scenarios such as a higher groundwater level (up to +2m from current groundwater level).

The model results were presented in terms of isonomalies (differential rising or lowering of the groundwater table with respect to undisturbed situation) due to the interference of underground structures (Fig. 7).

### 6.4 Results

The model results have highlighted that the interferences created by cut&cover obstructing structures generate a local variation on the groundwater table. This variation rises up to +1m on the upflow side of

the structure and a lowering on the opposite side that is a little less than a metre. In addition, the tunnel itself is responsible for a small rise of the water table that is quantified to be about +0.2m. The choice of some conservative parameters employed in the numerical simulations (i.e. aquiclude deep surface level) indicates that the results obtained can be considered as fair and reasonable.

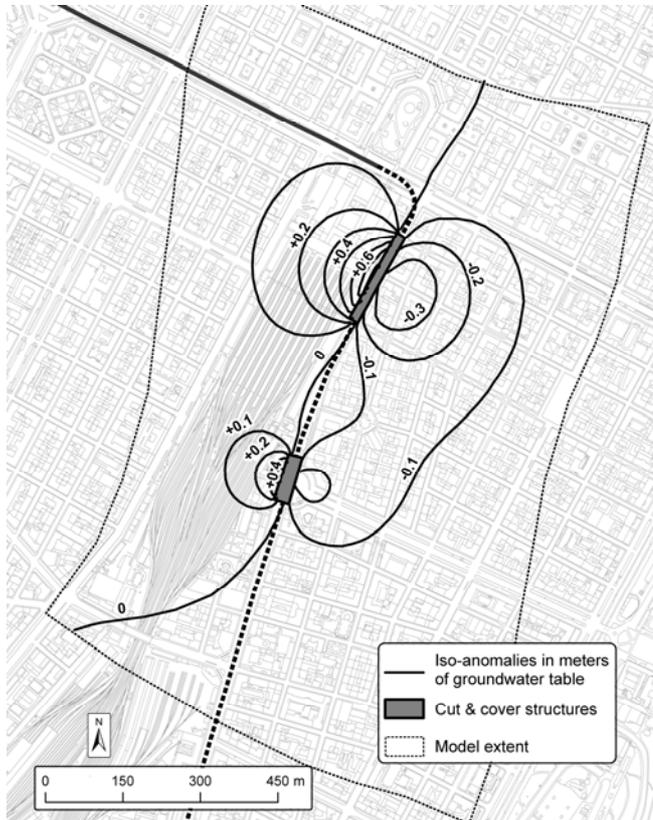


Figure 7. Iso-anomalies (m) generated by the interference of train deposit and Marconi station structures.

## 7 CONCLUSIONS

The design and construction of an underground work like a subway line under the groundwater table have to deal with some geotechnical and hydrogeological problems. These problems mainly refer to the groundwater level to be adopted as reference for the design of the works. Moreover underground structures, when located under groundwater table, cause an interference that create a rising of the groundwater table on the upstream side of the structures that act as a barrier to flow direction.

With reference to these issues, the design of an underground works have to take into account the evaluation of all the interferences caused by the works on all surrounding underground structures.

In the reported case of the Turin metro the problems were faced and solved by collecting and evaluating, in a common GIS platform, all possible data available on the field, in order to highlight all potentially critical scenarios. Then, a numerical model was implemented for chosen situations in the aim of quantifying the interferences. The modelled results

have shown that the water table rise on the upstream side of the deep structures is quite small (+0.2m due to the running tunnel and about +1.0m due to the deep stations) in comparison with the long-term potential natural recover of water table of the aquifer.

This can be explained by two reasons:

- high permeability of the unconfined aquifer in which the structures are inserted.
- the deep cut&cover structures, even in the worst scenario, didn't reach the low permeability layer at depth, leaving the hydraulic connection under the structure.

Model simulations were performed in steady state, reproducing, in same way, the long-term scenario. It is reasonable to expect that during the construction phase only a limited amount of these interferences will occur. They will be easily faced with common on-the-site countermeasures. The specific numerical modelling approach proved to be effective and efficient, for the following reasons:

- the numerical model applied was suited to the hydrogeological setting because the aquifer is a typical porous media characterised by a fair homogeneity. In addition, the two hydrogeological units have little inclined surfaces.
- a full range of data (from historical evidences to continuously monitored water table) were available to define, as much as possible, the wider possible scenarios.
- the metro alignment is easily reproduced by finite difference models that are constrained to a rectangular grid. In these scenarios the models are simple but reliable and provide good results in reasonable computing time.

The modelled results together with the data from long-term monitoring and the information on the historical groundwater levels have allowed the project designer to define the appropriate design countermeasures and interventions to be taken for both the construction phase and the exploitation phase.

## 8 REFERENCES

- Bonsignore, G. Bortolami, G. Elter, G. Montrasio, A. Petrucci, F. Ragni, U. Sacchi, R. Sturani, C. & Zanella, E. 1969. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, fogli 56 e 57 (Torino e Vercelli). Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Mcdonald, M.G. Harbaugh, A.W. 1988. Modflow, 1988. A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model. *U. S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations*, Book 6, Chapter A1, 586 p.
- Mcdonald, M.G. Harbaugh, A.W. 1996. User's documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model: *U.S. Geological Survey Open-File Report 96-485*, 56 p.
- Neuman, S.P. 1975. Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed gravity response. *Water Resources Research*, 11:329-42.
- Sacco, F. 1886 Il Villafranchiano al piede delle Alpi. *Boll. R. Comit. Geol. It.*, 7, 421-449, 1t.