

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
DIPARTIMENTO DEI TRASPORTI TERRESTRI

DIREZIONE GENERALE T.I.F.

REGIONE PIEMONTE

COMUNE DI TORINO



GRUPPO TORINESE TRASPORTI S.p.A.

METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 1 – PROLUNGAMENTO SUD

PROGETTAZIONE, DIREZIONE DEI LAVORI E COORDINAMENTO DELLA
SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE, AI SENSI DELLE VIGENTI
DISPOSIZIONI DI LEGGE IN MATERIA DELLE OPERE CIVILI DELLA LINEA 1 DELLA
METROPOLITANA DI TORINO TRATTA PORTA NUOVA – LINGOTTO

| | | | | | |
|--------------------|---|----------|----------|-------------|-------------------|
| PROGETTO ESECUTIVO | RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE SYSTRA S.A. (MANDATARIA) – GEODATA S.P.A. METROPOLITANA MILANESE S.P.A.– STUDIO QUARANTA | | | | |
| IL PROGETTISTA | | | | | |
| | RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA | | | | |
| | SCALA | DATA | DIS.N. | | REV. int. est. |
| | | 31-03-06 | MTL1T2A2 | EGEOGENR001 | 0 0 |

AGGIORNAMENTI

Fg.1 di 1

| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | CONTROL. | APPROV. | VISTO |
|------|---|----------|---------|----------|---------|-------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 0 | Emissione per consegna progetto esecutivo | 31-03-06 | ABr | LSo | AEu | OFr |

| | | | | | | | |
|---------|----------|----------------------|----|----------------------|---------------------------|--|--|
| | | CONCESSIONARIA | | | | | |
| LOTTO 2 | CARTELLA | 2.1 | 10 | MTL1T2A2 EGEOGENR001 | | | |
| | | DIREZIONE DEI LAVORI | | | DIREZIONE GENERALE T.I.F. | | |

G.T.T. S.p.A.
GRUPPO TORINESE TRASPORTI

METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 1

TRATTA FUNZIONALE PORTA NUOVA – LINGOTTO

LOTTO 2
TRATTA MARCONI – LINGOTTO

PROGETTO ESECUTIVO

STUDI E INDAGINI
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA E GEOTECNICA E
IDRAULICA

RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

| REV. | REDAZIONE | | VERIFICA | | APPROVAZIONE | | VISTO | | |
|------|---|-------|----------------|-------|-----------------|-------|-------|-------|------------|
| | NOME | FIRMA | NOME | FIRMA | NOME | FIRMA | NOME | FIRMA | DATA |
| 0 | Ing. Dipl. A. Brogiato Dott. G. Ricci Ing. R. Enrione | | Dott. L. Soldo | | Dott. A.Eusebio | | OFr | | 31/03/2006 |
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |

INDICE

| | |
|---|----|
| STRUTTURA DELLA RELAZIONE | 3 |
| 1. INTRODUZIONE | 4 |
| 2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO | 5 |
| 3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA | 6 |
| 3.1 Assetto geologico..... | 8 |
| 3.1.1 Ghiaia, ciottoli e sabbie in matrice limosa (depositi fluvioglaciali e fluviali Rissiani) | 8 |
| 3.1.2 Limi argillosi, limi sabbiosi e livelli sabbioso ghiaiosi (depositi lacustri e fluviolacustri del Villafranchiano) | 9 |
| 3.1.3 Limi sabbiosi debolmente argillosi e sabbie grigio azzurre con fossili (depositi d'ambiente marino neritico del Pliocene) | 9 |
| 4. IDROGEOLOGIA | 10 |
| 4.1 Inquadramento idrogeologico generale | 10 |
| 4.2 Dati esistenti | 10 |
| 4.2.1 Censimento pozzi e piezometri | 10 |
| 4.2.2 Dati di permeabilità | 11 |
| 4.3 Indagini idrogeologiche per il Progetto Definitivo ed Esecutivo | 11 |
| 4.3.1 Prove di permeabilità in foro tipo Lefranc | 11 |
| 4.3.2 Prove di emungimento in pozzi | 11 |
| 4.3.3 Monitoraggio del livello di falda superficiale | 11 |
| 4.4 Interpretazione dei dati | 12 |
| 4.4.1 Soggiacenza della falda superficiale | 12 |
| 4.4.2 Permeabilità dei terreni | 12 |
| 4.5 Modello idrogeologico di riferimento | 15 |
| 4.6 Geochimica delle acque | 18 |
| 4.7 Presenza di gas | 19 |
| 5. LOTTO 2 - QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE | 21 |
| 5.1 Geologia..... | 21 |
| 5.2 Idrogeologia | 21 |
| 5.2.1 Soggiacenza della falda superficiale | 21 |
| 5.2.2 Permeabilità dei terreni | 21 |
| 5.2.3 Valutazione dell'interferenza delle strutture in cut&cover con l'acquifero superficiale | 22 |
| 6. SISMICITÀ DELL'AREA | 28 |
| 7. BIBLIOGRAFIA | 29 |

STRUTTURA DELLA RELAZIONE

Il **capitolo 1** è introduttivo sull'opera e sul tracciato della linea in generale.

Le disposizioni normative a cui si è fatto riferimento per la stesura della presente relazione sono riportate al **capitolo 2**.

Il **capitolo 3** presenta l'inquadramento geologico e geomorfologico dell'area su cui è prevista la realizzazione dell'intera opera e la descrizione della geologia lungo il tracciato della tratta funzionale Porta Nuova – Lingotto.

Nel **capitolo 4** descrive l'assetto idrogeologico e le caratteristiche idrogeochimiche dell'acqua. Sono delineate le caratteristiche idrogeologiche generali del sottosuolo della città di Torino (soggiacenza della falda, direzione di deflusso e gradiente), con un approfondimento sulle caratteristiche idrogeologiche e sulle problematiche di interazione dello scavo nei terreni presenti nel lotto 2. A tal riguardo sono illustrati i risultati del modello numerico di flusso finalizzato a valutare i problemi di innalzamento della falda causato dalla presenza del manufatto della Stazione Spezia e dalla sua interferenza con l'acquifero superficiale.

Il **capitolo 5** descrive il quadro di riferimento progettuale del Lotto 2.

Il **capitolo 6** presenta la classificazione sismica del Comune di Torino.

Il **capitolo 7** riporta i riferimenti bibliografici.

Gli elaborati di riferimento per la presente relazione sono elencati di seguito:

- Carta delle isopiezometriche della falda superficiale. Scala 1:5000 (codice MTL1T2A2E GEOGN1S002);
- Profilo geologico/Parte prima. Scala 1:2000/200 (codice MTL1T2A2EGEOGN1S003.1);
- Profilo geologico/Parte seconda. Scala 1:2000/200 (codice MTL1T2A2E GEOGN1S003.2).

1. INTRODUZIONE

Il Raggruppamento Systra/Geodata/Metropolitana Milanese/Studio Quaranta è risultato aggiudicatario dell'incarico relativo alla redazione del Progetto Esecutivo della tratta Stazione Marconi- Stazione Lingotto, ricadente nella tratta funzionale Porta Nuova-Lingotto della linea 1 della Metropolitana Automatica di Torino.

Il tracciato della tratta Porta Nuova-Lingotto è previsto in sotterraneo, con una lunghezza pari a circa 4.0 km e comprendente 6 stazioni (Marconi, Nizza, Dante, Carducci/Molinetto, Spezia, Lingotto) e si sviluppa interamente sul territorio del Comune di Torino.

La tratta oggetto della presente relazione, compresa tra Stazione Marconi e Stazione Lingotto, si sviluppa per una lunghezza di circa 3100m, interamente al di sotto di Via Nizza.

Il progetto prevede una galleria a doppio binario che consente la circolazione di convogli di larghezza pari a 2.08m, scavata a foro cieco, sottopassando la viabilità urbana, evitando le interferenze con i sottoservizi.

La soluzione costruttiva prevalente prevista per la realizzazione della galleria a foro cieco è lo scavo meccanizzato mediante l'impiego di fresa scudata a piena sezione (TBM). Nel caso in esame, con sezione a doppio binario, il diametro interno della galleria è di 6.80m.

La presente relazione presenta, dopo un inquadramento geologico ed idrogeologico di carattere generale su tutta la tratta, i risultati dello studio geologico ed idrogeologico realizzato nell'ambito della progettazione esecutiva del Lotto 2 della Linea 1 della Metropolitana di Torino nel tratto Marconi-Lingotto.

L'obiettivo principale di questa relazione e dei documenti grafici ad essa relativi è la definizione ed illustrazione dei modelli geologico ed idrogeologico del sottosuolo interessato dalle opere in progetto.

2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

La campagna di indagini e gli studi esposti nella presente relazione sono stati effettuati nel rispetto della Normativa in vigore, ed in particolare:

- D.M. 11 marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e successive istruzioni;
- Legge Quadro in materia di Lavori Pubblici 11 febbraio 1994 n. 109 e s.m.i.;
- D.P.R. 21 dicembre 1999 n. 554 "Regolamento di Attuazione della legge quadro in materia di Lavori Pubblici 11 febbraio 1994 n. 109 e s.m.i.";
- Legge 21 dicembre 2001, n. 443 "Delega al Governo in materia di infrastrutture ed insediamenti produttivi strategici ed altri interventi per il rilancio delle attività produttive" pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 299 del 27 dicembre 2001, Suppl. Ordinario n.279;
- Dlgs 190/2002 - "Attuazione della legge 21 dicembre 2001, n. 443, per la realizzazione delle infrastrutture e degli insediamenti produttivi strategici e di interesse nazionale" pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 199 del 26 agosto 2002 – Supplemento Ordinario n. 174;
- C.M.L.P. n. 2535 e applicazione delle norme 25/11/1962 n. 1684, legge 2 febbraio 1974 n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- O.P.C.M. n. 2788 (12/06/1998) "Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale";
- O.P.C.M. n. 3274 (20/03/2003) "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- D. Lgs 241/2000 - "Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti" pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 203 del 31 agosto 2000 - Supplemento Ordinario n. 140;
- D. Lgs 258/2000 – "Disposizioni correttive e integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999, n.152 in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128" pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n° 218 del 18/09/00 Supplemento ordinario;
- D.Lgs 152/1999 – "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/Cee concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/Cee relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole" pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n° 177 del 30/7/99 - Suppl. Ord. n° 146;
- D.M. 471/99 – "Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'art. 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni ed integrazioni".

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Il territorio comunale di Torino si estende per circa l'80% su un'area semi-pianeggiante costituita dagli apporti successivi delle conoidi alluvionali poste allo sbocco delle valli alpine della Dora Riparia e della Stura di Lanzo; la restante parte del territorio è costituita dai rilievi collinari posti a est del fiume Po. L'area urbana presenta una debole pendenza procedendo da ovest verso est, passando da 260-270 m s.l.m. a circa 220 m s.l.m.

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

Gli apporti di materiali a granulometria più fine (limi sabbiosi e/o argillosi), presenti in lenti all'interno delle ghiaie, sono attribuibili al fiume Po, caratterizzato in questa tratta da una limitata capacità di trasporto.

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

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

Lo spessore del primo complesso ghiaioso lungo il tracciato è compreso, generalmente, tra 35 e 40 metri, salvo possibili variazioni locali. Questi depositi presentano, al loro interno, orizzonti e livelli ad andamento discontinuo e a vario grado di cementazione o comunque di addensamento; i livelli a maggior cementazione (livelli conglomeratici), caratteristici del sottosuolo di Torino, 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 e i depositi Pliocenici è di natura eteropica.

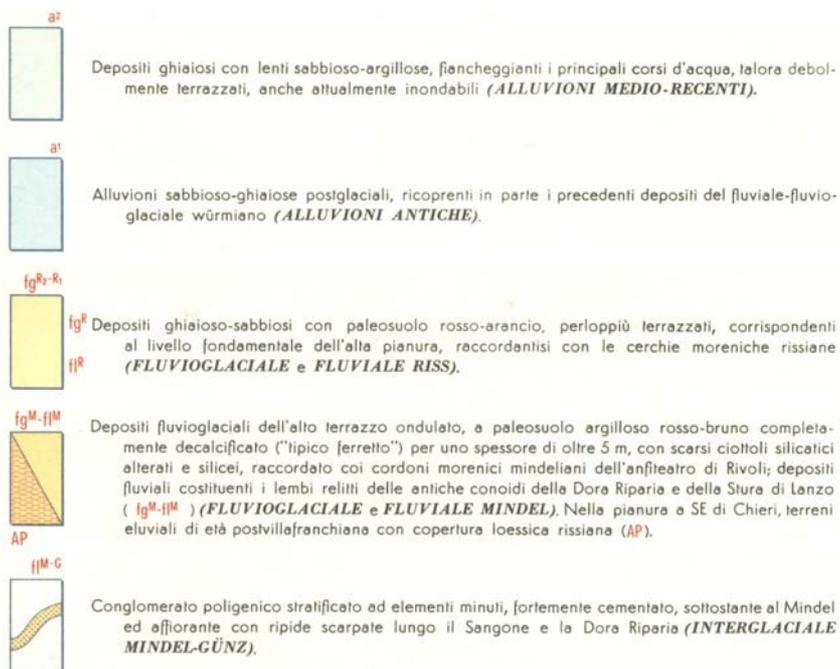
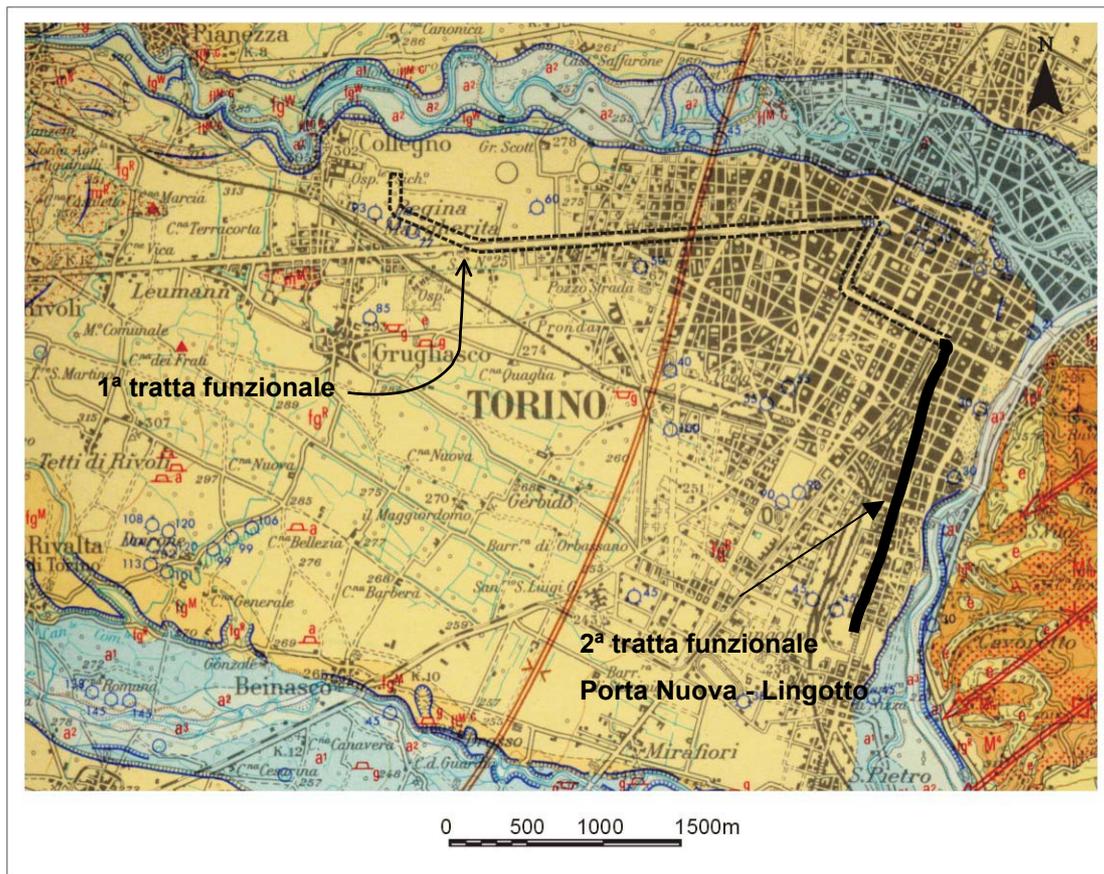


Figura 3.1 - Estratto dal Foglio n. 56 "Torino" della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000.

3.1 Assetto geologico

La definizione di un modello geologico di riferimento è stata effettuata, a livello generale, sulla base delle informazioni reperite in letteratura, approfondendone successivamente il livello di dettaglio con l'impiego dei risultati delle campagne d'indagine geognostica realizzate nel periodo luglio-ottobre 2001, relativamente all'ipotesi di tracciato su Via Madama Cristina e nei mesi febbraio-aprile 2003 e ottobre 2004 per l'ipotesi su via Nizza oggetto della presente relazione; sono inoltre state considerate le indagini effettuate per la tratta Collegno-Porta Nuova, oltrechè indagini pregresse lungo la tratta.

Il modello ha portato al riconoscimento dei seguenti complessi litostratigrafici omogenei, (descritti nei capitoli successivi procedendo dall'alto verso il basso):

- depositi fluvioglaciali e fluviali Rissiani: ghiaie, ciottoli e sabbie in matrice limosa, in genere sciolte, salvo che per la presenza di livelli discontinui di conglomerato sopra descritti;
- depositi lacustri e fluviolacustri del Villafranchiano: limi argillosi e livelli sabbioso ghiaiosi, debolmente coesi;
- depositi d'ambiente marino neritico del Pliocene, composti da limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie grigio azzurre con fossili, piuttosto coesivi.

3.1.1 Ghiaia, ciottoli e sabbie in matrice limosa (depositi fluvioglaciali e fluviali Rissiani)

I depositi di origine fluvioglaciale e fluviale formano 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 discoidi: 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 10-30 cm è quello maggiormente rappresentato. Sono inoltre qua e là presenti livelli lenticolari di ciottoli e ghiaie discoidi privi di matrice sabbioso limosa fine.

La peculiarità di questi depositi è data dalla presenza di cementazione, che varia di grado sia in profondità che lungo lo sviluppo complessivo dell'opera. La presenza di concrezioni di calcite e cemento calcareo, prevalentemente sulla parte superiore dei ciottoli, avvalorata l'interpretazione che vede la cementazione legata al fenomeno della percolazione delle acque di infiltrazione (zona non satura). Nel caso specifico della tratta in progetto, le indagini svolte hanno confermato l'esistenza di livelli a differente grado di cementazione ancorchè una ricostruzione precisa della loro estensione areale risulti difficilmente raggiungibile.

3.1.1.1 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 la totalità del progetto, da un punto di vista geologico generale può essere definito relativamente semplice ed omogeneo; tuttavia, alla scala dell'opera, questo terreno può talora presentare variazioni

rilevanti, sia lateralmente, sia in profondità, tanto da un punto di vista granulometrico quanto a riguardo del grado di cementazione e/o addensamento dei depositi fluvioglaciali.

La cementazione è dovuta alla precipitazione del carbonato di calcio e magnesio presente in soluzione, per variazioni di temperatura e di pH, sia nell'acqua di falda, sia nell'acqua di infiltrazione meteorica. I carbonati presenti in soluzione provengono principalmente dalle acque della Dora Riparia, che alimenta nella zona in esame la falda superficiale nei periodi di maggior portata. Le acque di precipitazione meteorica, infiltrandosi nel suolo, si arricchiscono di CO₂. Questa, combinandosi con l'acqua, produce acido carbonico (H₂CO₃) 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.

3.1.2 Limi argillosi, limi sabbiosi e livelli sabbioso ghiaiosi (depositi lacustri e fluviolacustri del Villafranchiano)

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 falde idriche in pressione confinate dai livelli limoso argillosi, che funzionano da setti impermeabili.

Lungo la tratta in progetto questi depositi sembrerebbero rappresentati fino all'intersezione con corso Marconi; localmente risultano assenti come confermato dal fatto che, in corrispondenza dei sondaggi profondi S34 ed SN4 (zona P.zza Carducci), si è osservato il passaggio diretto tra i depositi fluvioglaciali e i depositi d'ambiente marino.

3.1.3 Limi sabbiosi debolmente argillosi e sabbie grigio azzurre con fossili (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 a partire dall'intersezione con Corso Marconi e procedendo verso sud (direzione Lingotto).

4. IDROGEOLOGIA

4.1 Inquadramento idrogeologico generale

Gli studi geologici ed idrogeologici generali già eseguiti in sede di Progetto Definitivo ed Esecutivo della Metropolitana Automatica di Torino, tratta Collegno-Porta Nuova (prima tratta), nonché quanto già realizzato ai fini dello studio idrogeologico del Progetto Definitivo ed Esecutivo della tratta P.Nuova-Lingotto (seconda tratta), hanno permesso di delineare un approfondito quadro idrogeologico di riferimento. I sondaggi eseguiti per la seconda tratta hanno confermato tale quadro e permesso di affinare l'andamento dei limiti dei complessi idrogeologici individuati.

Con riferimento alla zona interessata dalla seconda tratta funzionale della Metropolitana, si schematizza il seguente assetto idrogeologico:

- **complesso ghiaioso-sabbioso**, sede dell'acquifero libero principale, è costituito da depositi grossolani riferibili al Quaternario (ciottoli, ghiaie e sabbie in matrice sabbioso-limosa) potenti 30÷40 m. Lo spessore della zona satura è variabile tra 15 e 25 m. La soggiacenza della falda, nella zona di interesse dell'opera (seconda tratta), si attesta mediamente sui -15m 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 oggetto di studio. Tale acquifero è costituito da alternanze di depositi medio grossolani (livelli di ghiaie e sabbie) e fini (limi argillosi e argille limose) appartenenti a depositi fluviolacustri riferibili al Villafranchiano (Auct) del Pliocene Superiore-Pleistocene Inferiore, chiusi al tetto da depositi argillosi, spesso compatti (potenti 20÷30 m).

Il secondo complesso idrogeologico è presente, sotto i depositi quaternari, solo in determinate porzioni della tratta. 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.

Considerando la profondità dal piano campagna a cui verrà realizzato lo scavo della galleria e delle stazioni, l'opera interferisce esclusivamente con l'acquifero superficiale del complesso ghiaioso-sabbioso.

4.2 Dati esistenti

4.2.1 Censimento pozzi e piezometri

Nel corso della progettazione sono state raccolte informazioni relative ai pozzi per acqua della zona di interesse presso la Regione Piemonte, la Provincia di Torino e il Servizio Metropolitan Acque Torino (SMAT). In totale sono stati selezionati e verificati in sito 175 pozzi per acqua presenti in ambito cittadino, 69 dei quali sono stati utilizzati per le misure effettuate durante la campagna piezometrica condotta nei mesi di febbraio e marzo 2000.

E' stata inoltre operata una verifica sullo stato di consistenza di 29 piezometri installati in precedenza dall'ATM (Linea 1, 1983 e Linea 3, 1987), dalle FS per la costruzione del Passante Ferroviario (1995), ai quali sono stati aggiunti i piezometri installati per il progetto della tratta Collegno-Porta Nuova, nella campagna geognostica del 2000.

Le misure raccolte (su un totale di 98 punti d'acqua tra pozzi e piezometri) hanno permesso di elaborare la carta delle isopiezometriche riferite al periodo febbraio-marzo 2000 per l'intera porzione del territorio comunale di Torino interessato dalla Linea 1 del tracciato della metropolitana, da Collegno a Lingotto. Questo elaborato, per il numero di dati raccolti, costituisce un valido riferimento per quanto riguarda il modello progettuale idrogeologico della falda superficiale di Torino.

4.2.2 Dati di permeabilità

Nell'ambito della progettazione della Metropolitana di Torino, tratta Collegno-Porta Nuova, sono inoltre state eseguite prove di permeabilità tipo Lefranc nelle verticali dei sondaggi geognostici. I risultati acquisiti sono serviti da valori di riferimento e confronto per la caratterizzazione dei depositi quaternari presenti nella seconda tratta funzionale.

E' stata inoltre possibile l'acquisizione e l'analisi dei risultati di prove di emungimento effettuate durante la realizzazione di opere di captazione (pozzi) nel territorio urbano di Torino. Si tratta perlopiù di prove di pompaggio di breve durata per lo spurgo del pozzo e, in alcuni casi, di prove a gradini di portata. In particolare l'interpretazione di tre prove di pompaggio a gradini eseguite in P.za Costantino (pozzo AAM E177/21), P.za d'Armi (pozzo AAM E177/17) e via Rivalta (pozzo 5352 FIAT Materiali Ferroviari) ha fornito un intervallo di permeabilità variabile tra $3.2E-04$ m/s e $1.6E-03$ m/s.

4.3 Indagini idrogeologiche per il Progetto Definitivo ed Esecutivo

4.3.1 Prove di permeabilità in foro tipo Lefranc

Durante l'esecuzione delle indagini per il Progetto Definitivo sono state eseguite prove Lefranc a carico variabile in ciascun sondaggio a carotaggio al fine di determinare il grado di permeabilità dei depositi quaternari.

4.3.2 Prove di emungimento in pozzi

Due pozzi pilota (P1 e P2) sono stati eseguiti, sulla seconda tratta, appositamente (mediante perforazione a distruzione con martello a fondo foro) per effettuare prove di pompaggio di lunga durata. Il pozzo P1 (piazza Bozzolo) avente profondità totale di 40m totale è filtrante tra 21 e 39m. Il pozzo P2 (corso Marconi) di analoga profondità risulta, invece, filtrante fra 16 e 39,5m; Entrambi i pozzi hanno diametro interno di 275mm. Lo scopo di queste prove è definire i parametri idrodinamici caratteristici dell'acquifero superficiale. I dati relativi alle prove di pompaggio eseguite in C.so Marconi e P.zza Bozzolo sono riportati nell'elaborato "Prove di laboratorio, prove in sito e monitoraggio della falda superficiale – Certificati e schede" (codice MTL1T2A2EGEOGENR004).

4.3.3 Monitoraggio del livello di falda superficiale

La maggior parte delle verticali di indagine eseguite sia per il Progetto Definitivo che per quello Esecutivo sono state attrezzate con un piezometro tipo "tubo aperto". A partire dalla loro installazione (periodo agosto-settembre 2001) è iniziato il monitoraggio del livello di falda superficiale, che si è prolungato per tutte la fasi di progettazione seguenti (inizio 2006).

Tre piezometri (S31, S33, S35) sono stati attrezzati, nel periodo novembre 2001-luglio 2002, con acquisitori automatici per il rilevamento continuo del livello di falda e per il solo S31

anche della temperatura. Tutti le schede relative al monitoraggio del livello di falda sono fornite nell'Elaborato MTL1T2A2EGEOGENR004.

4.4 Interpretazione dei dati

4.4.1 Soggiacenza della falda superficiale

Il monitoraggio della falda superficiale esteso all'area di interesse della seconda tratta funzionale della Linea 1 evidenzia che la falda superficiale si colloca a una profondità variabile tra i 14 e 16 metri dal p.c. 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 con ogni probabilità 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 di elevata entità.

4.4.2 Permeabilità dei terreni

I risultati delle due prove di pompaggio sono stati elaborati utilizzando il metodo di Neuman (1975, in Fetter 1994) per il flusso radiale verso un pozzo in un acquifero non confinato. Questo metodo riproduce meglio la risposta ritardata (Delayed Time Response) di un acquifero non confinato rispetto all'approccio classico proposto da Theis (1935, in Fetter 1994), derivato dagli acquiferi confinati. Poiché il metodo di Neuman considera sia l'apporto della componente orizzontale (K_h , prevalente) sia verticale (K_v) della permeabilità, l'interpretazione di risultati provenienti da due piezometri posti a distanza diversa permette di calcolare il rapporto tra le due componenti.

Il metodo adottato considera la reazione all'emungimento di un acquifero non confinato come la somma di tre distinti fattori. La curva di abbassamento registrata in un punto di osservazione (piezometro) risulta quindi composta da tre distinti segmenti:

- il primo segmento, che copre il periodo immediatamente successivo all'inizio del pompaggio, rappresenta il rilascio della quantità d'acqua dovuto alla compattazione del deposito e all'espansione dell'acqua;
- il secondo segmento riproduce l'effetto del drenaggio dell'unità idrostratigrafica dovuta alla gravità. Si osserva una diminuzione della velocità di abbassamento del livello di falda;
- il terzo segmento, che si manifesta solo dopo un certo lasso di tempo, riallinea la curva secondo la soluzione di Theis.

Di seguito, nelle figure 4.1 e 4.2, sono riportati i grafici degli abbassamenti registrati nei piezometri nei due campi prova (Corso Marconi e Piazza Bozzolo) con le curve di Neuman interpolate e i parametri idrodinamici calcolati.

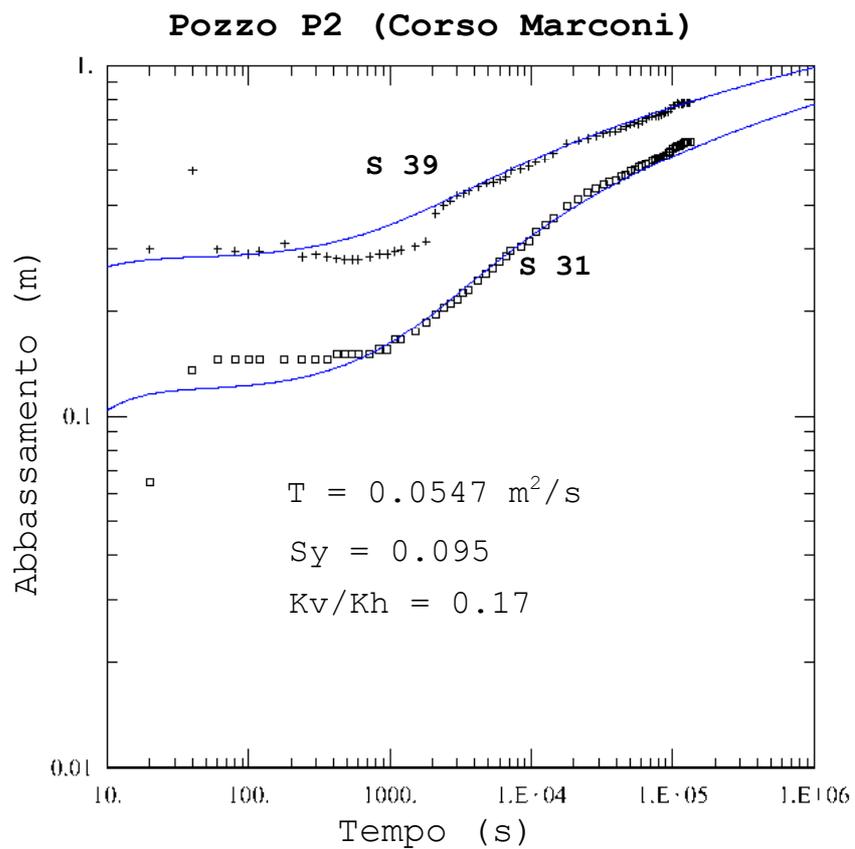


Figura 4.1 - Prova di pompaggio pozzo P2 (Corso Marconi). Grafico abbassamento/tempo, curva di interpolazione secondo il metodo di Neuman e parametri idrodinamici calcolati.

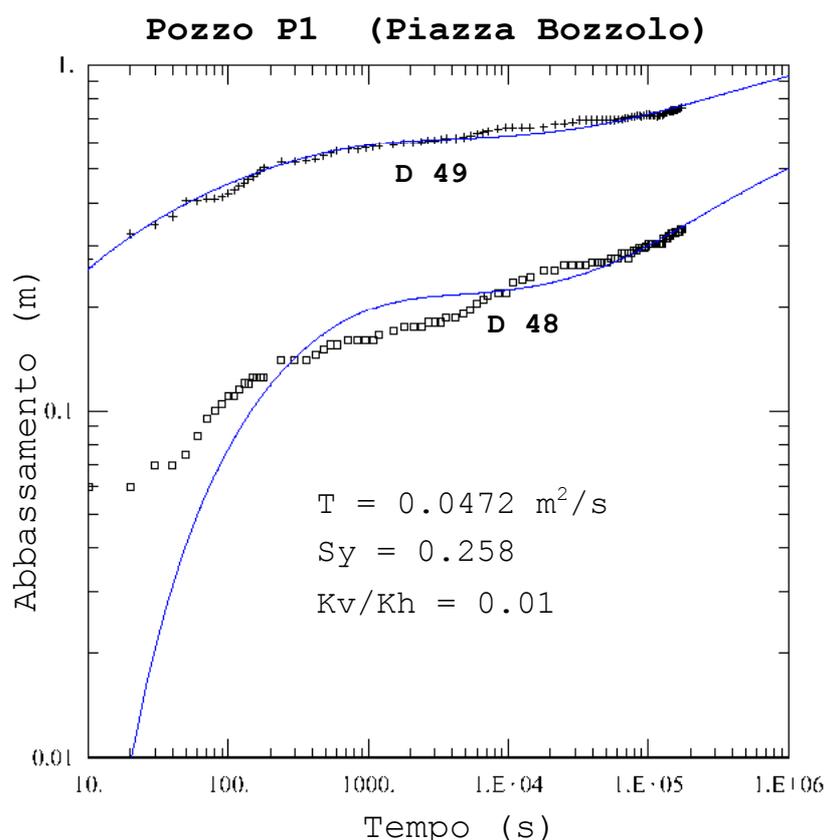


Figura 4.2 - Prova di pompaggio pozzo P1 (P.za Bozzolo). Grafico abbassamento/tempo, curva di interpolazione secondo il metodo di Neuman e parametri idrodinamici calcolati.

Dai valori di trasmissività così ottenuti sono stati successivamente calcolati i valori di permeabilità, dividendo tali valori per lo spessore saturo dell'acquifero. I parametri idrodinamici desunti dalle prove di pompaggio sono riassunti nella tabella seguente.

Tabella 4.1 - Parametri idrodinamici del complesso idrogeologico ghiaioso-sabbioso ottenuti dalle prove di pompaggio.

| Permeabilità K | Porosità efficace | K_v/K_h |
|----------------|-------------------|-----------|
| (m/s) | % | |
| 1E-03÷3E-03 | 15-20 | 0.1÷0.01 |

Le caratteristiche granulometriche dei materiali che costituiscono il complesso ghiaioso-sabbioso nonché la genesi stessa di tale complesso consentono di assumere come ordine di grandezza del rapporto tra la permeabilità verticale e quella orizzontale il valore 0.1, ricavato dalla prova di pompaggio eseguita in corrispondenza del pozzo P2.

Le prove Lefranc effettuate nelle verticali di indagine eseguite lungo la tratta hanno evidenziato un valore medio della permeabilità di $2E-05$ m/s con un massimo di $9E-04$ m/s e un valore minimo di $8E-06$ m/s.

L'osservazione dei risultati delle prove Lefranc comparate ai risultati delle prove di pompaggio ha evidenziato differenze comprese tra uno e due ordini di grandezza. A tal riguardo si deve osservare che:

- le prove di pompaggio, per le modalità di esecuzione, danno un risultato che è riferibile all'insieme dell'acquifero testato e sono dunque molto meno influenzabili da possibili livelli fini presenti nei depositi quaternari;
- le prove di pompaggio, per le modalità di esecuzione del pozzo, di cui si può testare l'efficienza idraulica, danno risultati molto meno influenzati dal "fattore umano".
- le prove Lefranc si riferiscono alla profondità della posizione della "tasca" di prova e dunque sono più facilmente influenzabili dalla presenza locale di materiale limoso meno permeabile;
- le prove Lefranc risentono in maniera decisamente maggiore del disturbo arrecato dalla perforazione;

Per le considerazioni espresse, le prove di pompaggio sono state ritenute più attendibili nella definizione dei parametri idrodinamici dei depositi quaternari, sede dell'acquifero superficiale.

Il grado di permeabilità dei complessi idrogeologici è stato espresso secondo la classificazione A.F.T.E.S. 1992, che distingue 4 diverse classi di permeabilità. Le classi sono così suddivise:

| | | |
|----|--|-------------------------------|
| K1 | < 10 ⁻⁸ m/s | permeabilità molto bassa |
| K2 | da 10 ⁻⁸ a 10 ⁻⁶ m/s | permeabilità medio-bassa |
| K3 | da 10 ⁻⁶ a 10 ⁻⁴ m/s | permeabilità media |
| K4 | >10 ⁻⁴ m/s | permeabilità da media ad alta |

La permeabilità del complesso idrogeologico sede della falda superficiale è riferibile alla classe K4 (situazione più probabile) con possibile locale variazione nella classe K3.

Al complesso idrogeologico inferiore (complesso limoso-argilloso ghiaioso) per la parte interessata dall'opera (la parte sommitale) è attribuibile la classe K2, con possibile variazione nella classe K3, nel caso di presenza di componenti sabbioso-ghiaiose.

4.5 Modello idrogeologico di riferimento

La carta delle isopiezometriche della falda superficiale, elaborata in seguito al censimento dei punti d'acqua del febbraio-marzo 2000 (progettazione della tratta Collegno-Porta Nuova), fornisce il quadro generale della circolazione idrica sotterranea nel sottosuolo di Torino (figura 4.3). L'aggiornamento della parte relativa all'opera in progetto (tratta Porta Nuova-Lingotto) ha confermato sostanzialmente le ipotesi sul modello di circolazione idrica sotterranea fatte durante la progettazione della tratta precedente e qui di seguito riportate.

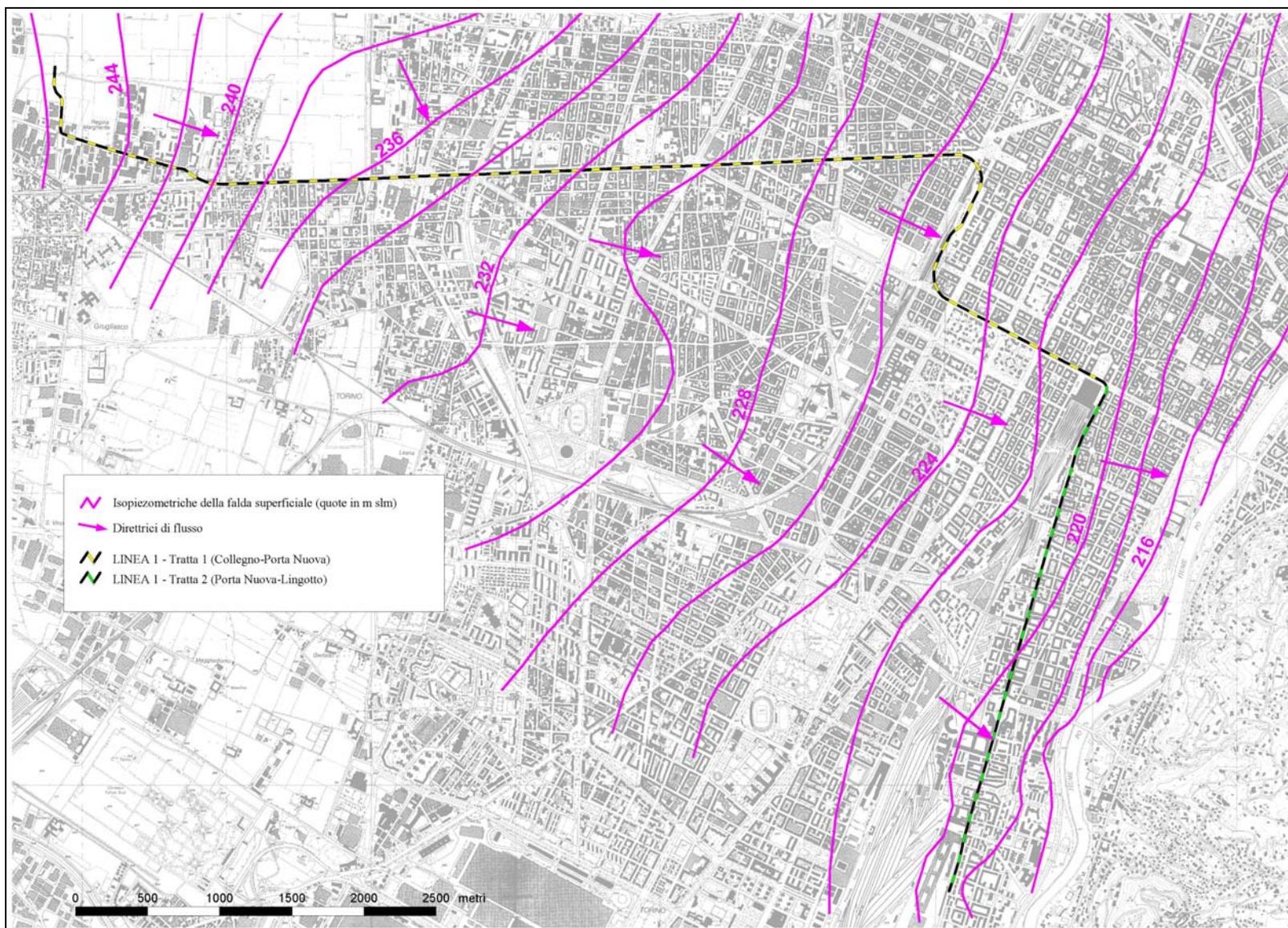


Figura 4.3 – Carta piezometrica del territorio di Torino elaborata in seguito al censimento dei punti d’acqua esistenti e integrata dalle letture piezometriche (campagna 2000-2001)

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 e i corsi d'acqua (Torrente Sangone e Dora Riparia, per la zona di interesse dell'opera) in quanto dipendenti dalle vicende stagionali. Il fiume Po rappresenta il livello di base locale dell'acquifero e, per il tratto di scorrimento nel territorio di Torino, esso 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°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 ubicati nelle vicinanze del fiume, è di durata limitata e tende ad esaurirsi in pochi giorni. Con riferimento al tracciato della seconda tratta, la distanza del fiume dall'opera è tale da rendere tale fenomeno poco probabile.

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 96-97 al contrario gli anni 87-88 avevano un livello di falda inferiore alla media. In ogni caso, tale trend pluriennale di crescita comporta un incremento di +1.2÷ +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 4-5 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 a riguardo, si deve ipotizzare che le condizioni generali di deflusso non siano variate nel corso delle epoche storiche e che dunque il valore differenziale di +4-5 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 di febbraio-marzo 2000 eseguite per la 1 tratta funzionale) mostrano che l'effetto di innalzamento indotto dalla dismissione dei pozzi collegati alle attività produttive si è 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, il dato del livello di falda storica è stato tenuto in conto per la definizione del livello di falda superficiale in fase di esercizio dell'opera (lungo termine).

4.6 Geochimica delle acque

Le caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua della falda superficiale sono state analizzate su campioni prelevati in 5 diversi punti (piezometri o pozzi).

I punti di prelievo sono elencati di seguito:

S29 C.so Vittorio Emanuele/Via S. Francesco da Paola

S31 Via Madama Cristina/C.so Marconi

S33 Via Madama Cristina/C.so Dante

P1 C.so Spezia/P.za Bozzolo

S 38 Via Nizza/Via Garessio

I parametri analizzati sono stati:

- Caratteristiche fisico-chimiche (pH, conducibilità, alcalinità, durezza totale)
- Sostanze azotate
- Anioni
- Metalli (sul totale)
- Composti alogenati
- Composti aromatici
- Sostanze oleose

I risultati delle analisi hanno evidenziato un'acqua medio minerale (valori di conducibilità compresi tra 600 e 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$) mediamente dura (tutti i valori sono compresi tra 25F° e 32 F°). L'analisi del bilancio ionico (possibile solo in due campioni in quanto i metalli sono stati analizzati sul totale del campione e non solo sulla frazione in soluzione) ha permesso di evidenziare la facies bicarbonato-calcica-magnesiaca, come già rilevato per le analisi della tratta precedente.

Per quanto riguarda i parametri indicatori utili a determinare il grado di aggressività sul calcestruzzo, la tabella seguente riassume i valori di soglia e l'intervallo dei valori rilevati nei campioni.

| Caratteristiche chimiche | pH | SO ₄ ²⁻ (mg/l) | NH ₄ ⁺ (mg/l) | Mg ²⁺ (mg/l) |
|-------------------------------|-------------------|---|--|----------------------------|
| Norme di riferimento | <i>DIN 4030-2</i> | <i>EN 196-2</i> | <i>ISO 7150-1/2</i> | <i>ISO 7980</i> |
| Valori soglia * | Da 6,5 a 5,5 | da 200 a 600 | da 15 a 30 | da 300 a 1000 |
| Intervallo di valori rilevati | 6.97-7.58 | 73.9-105 | < 0.3 | 28-121** |

* il limite inferiore indicato è riferito al “grado debole di aggressività” delle acque nei confronti del cls.

** il valore di riferimento al totale (parte in soluzione e parte in sospensione) della specie ionica esaminata. Il valore di riferimento per la parte in soluzione è prossimo all’intervallo inferiore.

Dai risultati sopra esposti non si evidenzia un rischio particolare di aggressività delle acque nei confronti del calcestruzzo.

Secondo i parametri del D.Lgs. 18/08/00 n.258, l’analisi complessiva dei parametri analizzati porta a classificare le acque nella classe 4 (impatto antropico rilevante con caratteristiche idrochimiche scadenti). In particolare si segnala la presenza, in tutti i campioni esaminati, di valori superiori a 10 µg/l di composti alifatici alogenati totali (valori compresi tra 11.5 µg/l e 25.1 µg/l).

Inoltre, secondo il D.M. 25/10/99 n. 471 (“...procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati”) il valore misurato di 397 µg/l di TPH (Idrocarburi disciolti ed emulsionati) misurato nel piezometro S 29 è di poco superiore al valore soglia di 370 µg/l fissato dal regolamento legislativo come “valore di concentrazione limite accettabile nelle acque sotterranee” (allegato 1 del DM n.471).

4.7 Presenza di gas

Dal quadro geologico e idrogeologico sopra descritto, il sottosuolo di Torino non è sede di gas potenzialmente pericolosi o nocivi per la salute fatta eccezione per la possibile presenza di radiazioni ionizzanti generate dal terreno stesso. La principale radiazione naturale prodotta è il Radon, gas nobile radioattivo prodotto dal decadimento dell’Uranio, elemento presente (in quantità variabile) in alcune rocce di origine magmatica presenti in Piemonte.

I terreni di origine fluvioglaciale di Torino, avendo inglobato nella matrice ciottoli e trovanti di natura magmatica, possono essere una sorgente di Radon in quantità variabile in relazione alla loro composizione mineralogica, tuttavia soltanto elevate concentrazioni di tale gas possono generare effetti nocivi per la salute. Nel caso specifico del lavoro in ambiente sotterraneo il Radon, essendo più denso dell’aria, può raggiungere elevate concentrazioni in mancanza di adeguata ventilazione.

A tal riguardo il decreto legislativo n.241 del 2000, attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti, impone, al datore di lavoro, la misurazione della quantità di Radon prodotto sul luogo di lavoro. Viene inoltre definito un limite di legge per la concentrazione del radon nei luoghi di lavoro, pari a 500 Bq/m³ (bequerel al metro cubo, valore medio annuale), superato il quale il datore di lavoro è tenuto ad effettuare una serie di interventi (azioni di rimedio o di bonifica) volti a ridurre le concentrazioni al di sotto del limite di legge.

A livello indicativo, alcune misure eseguite nel corso della costruzione della Linea 1 tratta Collegno-Porta Nuova hanno rilevato una concentrazione di Radon pari a circa il 30% del valore limite, in condizioni di normale ventilazione forzata.

5. LOTTO 2 - QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE

Il Lotto 2 si inserisce nell'ambito della progettazione esecutiva delle opere della Linea 1 della Metropolitana di Torino, tratta funzionale Porta Nuova – Lingotto, relativamente alla tratta Marconi - Lingotto.

In particolare esso fa riferimento alla tratta di galleria a foro cieco avente sezione circolare, realizzata mediante scavo meccanizzato, compresa nella tratta che collega la stazione Marconi (inclusa) con la stazione Lingotto (inclusa).

5.1 Geologia

Le indagini eseguite nell'area di interesse del Lotto 1 hanno portato alla ricostruzione del modello geologico di riferimento. Tale modello consta dei seguenti complessi litostratigrafici omogenei, (descritti procedendo dall'alto verso il basso):

- depositi fluvioglaciali e fluviali Rissiani: ghiaie, ciottoli e sabbie in matrice limosa, in genere sciolte, con livelli cementati discontinui. Lo spessore di tali depositi varia da 32 a 38 metri;
- depositi lacustri e fluviolacustri del Villafranchiano: 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 risultati delle verticali di indagine eseguite nell'area di interesse del Lotto 2 sono riportati nell'elaborato di progetto "Sondaggi geognostici, stratigrafie e documentazione fotografica" (codice MTL1T2A2EGEOGENR003).

5.2 Idrogeologia

5.2.1 Soggiacenza della falda superficiale

L'elaborazione dei dati raccolti nei punti di monitoraggio della falda superficiale ha permesso l'elaborazione del pannello piezometrico che è riportato in planimetria alla scala 1:5000 nell'elaborato MTL1T2A2EGEOGN1S002.

I valori utilizzati nella ricostruzione delle curve isopiezometriche sono relativi ai valori massimi registrati nell'intervallo di monitoraggio compreso dall'agosto 2001 all'ottobre 2004.

I dati analizzati mostrano che per il lotto 2 le oscillazioni stagionali della falda sono inferiori al metro.

Tutti i dati relativi al monitoraggio dei piezometri siti nell'area di interesse del Lotto 2 sono riportati nell'elaborato "Prove di laboratorio, prove in sito e monitoraggio della falda superficiale – Certificati e schede" (codice MTL1T2A2EGEOGENR004).

5.2.2 Permeabilità dei terreni

L'analisi dei dati delle verticali di indagine ubicate nel Lotto 2 non permettono di evidenziare un intervallo di valori di permeabilità diverso da quanto evidenziato per l'intera tratta Porta Nuova-Lingotto. Pertanto si conferma che la permeabilità dei depositi dell'unità ghiaioso-sabbiosa (depositi fluvioglaciali e fluviali Rissiani) ricade nella classe AFTES K4, corrispondente a una permeabilità maggiore di 1E-04 m/s.

5.2.3 Valutazione dell'interferenza delle strutture in cut&cover con l'acquifero superficiale

Per quantificare le variazioni di carico idraulico indotte dalle strutture delle opere principali (stazioni) sul campo di moto dell'acquifero superficiale, è stato realizzato un modello numerico tridimensionale in grado di simulare, quanto più verosimilmente possibile, le condizioni al contorno della geologia, dell'idrogeologia e della presenza delle strutture interferenti, in corrispondenza della situazione potenzialmente più critica costituita dalla Stazione Spezia (cfr. elaborato MTL1T2AVDGEOGENR004).

La stazione Spezia sarà realizzata con tecnologia cut&cover; tale metodologia prevede l'esecuzione di paratie, solettone di fondo e iniezioni di impermeabilizzazione in modo da rendere la struttura totalmente impermeabile.

La profondità del manufatto è tale da interferire con l'acquifero superficiale (il cui livello è posto a circa 220-221m s.l.m.) considerato che il suo sviluppo longitudinale si pone circa ortogonale alla direzione di flusso idrico sotterraneo e la profondità massima raggiunta dalla struttura (solettone di fondo+impermeabilizzazioni di raccordo) varia da 200 a 202 m s.l.m., per cui circa 20m al di sotto del livello della falda superficiale, contenuta nel complesso ghiaioso-sabbioso e limitata inferiormente dai materiali argilloso-limosi presenti al tetto del complesso argilloso-limoso-ghiaioso sottostante, che costituiscono uno strato impermeabile.

In linea generale, la riduzione della sezione idraulica utile al flusso idrogeologico, causata dalla costruzione della stazione in cut&cover, determina un'interferenza del tipo "effetto barriera" che produce un innalzamento a monte (rispetto alla direzione di flusso) del carico idraulico e un abbassamento a valle della struttura, per deficit, generalmente di entità inferiore rispetto al rigurgito di monte (a parità di altre condizioni).

Il sottopasso Spezia di recente costruzione interferisce con la falda in profondità solo lungo i diaframmi. In considerazione della ridotta sezione interferente (circa 2m) e della ortogonalità dell'ostacolo da esse costituito con le linee isopiezometriche l'influenza del manufatto sulla falda non è significativa.

La figura 5.1 schematizza, in pianta e profilo, le variazioni di flusso indotte dall'interferenza del manufatto in cut&cover.

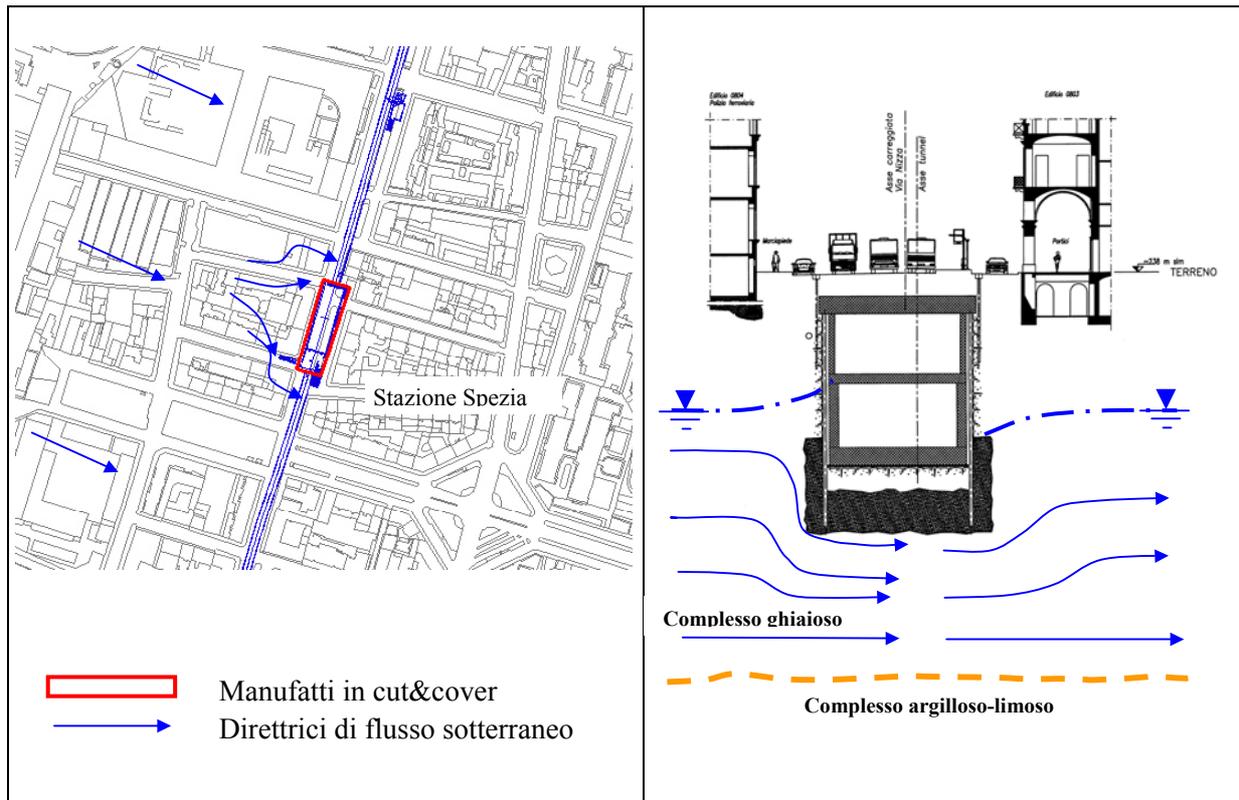


Figura 5.1 – Schematizzazione concettuale delle variazioni di flusso indotte (planimetria e profilo) dai manufatti in cut&cover di Stazione Spezia.

Per quantificare le variazioni di carico idraulico indotte dalla struttura sul campo di moto dell'acquifero superficiale è stato realizzato un modello numerico tridimensionale in grado di simulare, quanto più verosimilmente possibile, le condizioni al contorno della geologia, dell'idrogeologia e della presenza delle strutture interferenti. La piezometria di riferimento progettuale, punti di partenza delle elaborazioni, è riportata in figura 5.2.

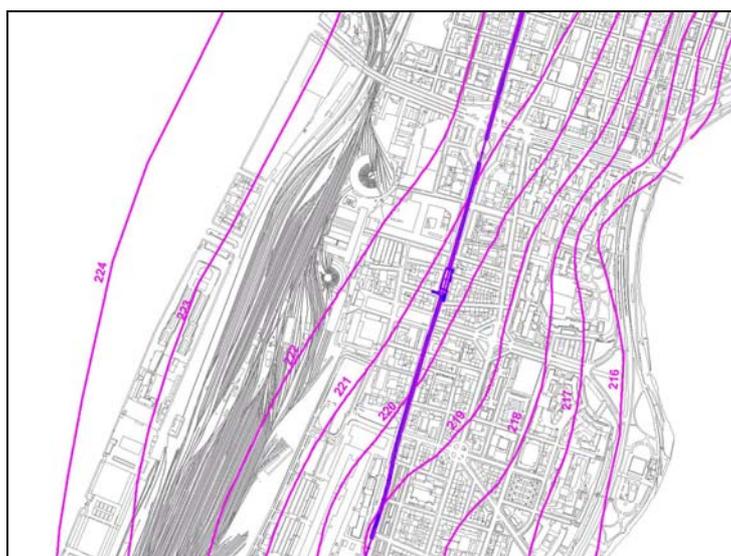


Figura 5.2 – Piezometria di riferimento progettuale.

Il codice di calcolo alle differenze finite utilizzato è MODFLOW (McDonald e Harbaugh, USGS 1988, 1996) nella versione implementata in un apposito software dedicato alla modellizzazione dei sistemi acquiferi (GMS 3.1 Groudwater Modeling System, Boss International, 2001), in grado di sviluppare analisi geostatistiche utilizzando diversi metodi di interpolazione.

La discretizzazione areale del modello è stata realizzata tramite una griglia a celle quadrangolari di dimensione variabile. Ciò ha permesso l'infittimento delle celle della griglia ove ritenuto più opportuno (cella variabile da 1m a 20m), ad esempio, lungo l'area interessata dalla presenza delle paratie. E' stata dunque adottata una griglia di discretizzazione con valori a centro cella. La griglia ha una discretizzazione verticale divisa in 3 strati che partendo dal piano campagna arriva fino a 160m s.l.m.

L'area interessata dal modello e la griglia di discretizzazione sono riportate in figura 5.3.

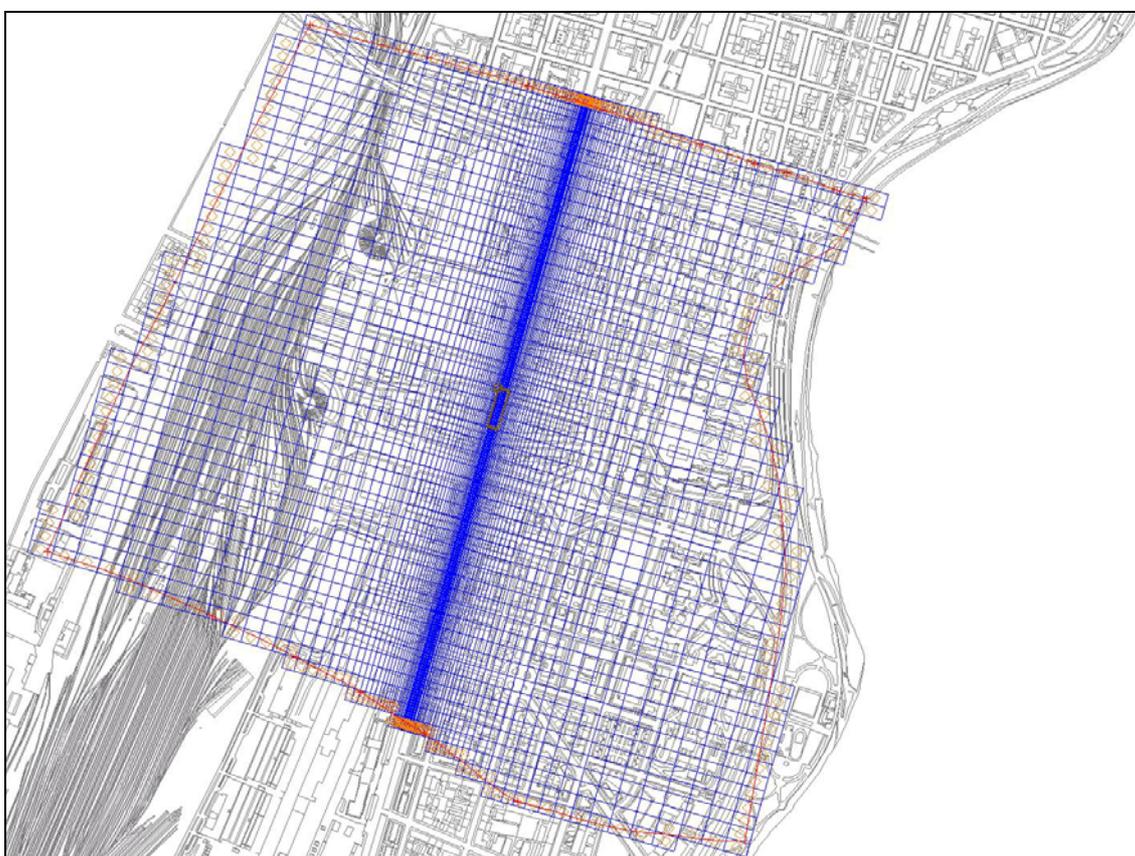


Figura 5.3 – Discretizzazione del dominio di calcolo.

L'estensione del modello è stata ottimizzata al fine di disporre di una zona sufficientemente rappresentativa della direzione generale di flusso senza peraltro perdere la possibilità di evidenziare le zone di maggior o minor permeabilità. Al fine di riprodurre il campo di moto osservato, sono state imposte le seguenti condizioni al contorno:

- condizioni di carico imposto (“condizione di Dirichlet”);
- condizioni di flusso variabile;

– condizioni di non flusso.

Le condizioni di carico idraulico imposto sono state applicate sul bordo ovest ed est del modello al fine di simulare le condizioni di alimentazione della falda superficiale (ricarica laterale prevalente) con riferimento al livello di massimo carico idraulico massimo osservato nel periodo di monitoraggio 2001-2004. Tale geometria di flusso è quella riportata negli elaborati progettuali. L'effetto di richiamo idraulico esercitato dal fiume Po è stato trascurato al fine di snellire il modello, e tenuto comunque conto del mancato condizionamento sul modello dello stesso.

Le condizioni di “non flusso” sono state applicate ai bordi del modello dove la direzione di flusso è perpendicolare agli stessi.

I valori di input del modello sono:

- geometria del cut&cover+consolidamenti: la quota del tampone di fondo impermeabile è stata assunta cautelativamente uguale a quella massima delle paratie e costante per le due tratte (-32m);
- piezometrica di riferimento: dati del monitoraggio aggiornati a settembre 2004. Le letture (settembre 2004) indicano sostanzialmente un allineamento con i valori del 2003 (giugno 2003) La geometria di flusso è ben delineata dagli studi precedenti e assunta perpendicolare all'opera (direzione N $100^{\circ} \div 110^{\circ}$);
- permeabilità del complesso ghiaioso (ghiaie, ciottoli e sabbie in matrice sabbioso-limosa con vari gradi di cementazione): $k=1E-03 \div 1E-4$ m/s (in funzione degli esiti di specifiche prove di pompaggio), complesso argilloso-limoso (limi argillosi, limi sabbiosi) $k=1E-07 \div 1E-8$ m/s;

La profondità dello strato impermeabile è stata definita utilizzando i dati dei sondaggi esistenti e dalle stratigrafie dei pozzi presenti in zona.

Nelle simulazioni in regime stazionario, la fase di calibrazione del modello consiste nella variazione dei parametri di permeabilità orizzontale e verticale (K_h e K_v), cella per cella, al fine di ottenere una buona approssimazione della piezometrica di riferimento.

I valori di permeabilità utilizzati per la taratura rientrano nell'intervallo di riferimento del complesso ghiaioso-sabbioso ($k_{media} > 1E-04$ m/s, $k_v/k_h = 0.1$).

La restituzione grafica della calibrazione è riportata in figura 5.4.

E' stata dunque simulata la presenza dei manufatti tramite l'assegnazione alle celle relative ai manufatti cut&cover di un valore di permeabilità molto basso ($k=1E-08$ m/s). Il codice di calcolo utilizzato permette, tramite una funzione dedicata, la simulazione della presenza di barriere che ostacolano il flusso idrico profondo.

L'interferenza sul pannello piezometrico causata dalla presenza dei manufatti è riportata in fig 5.5.

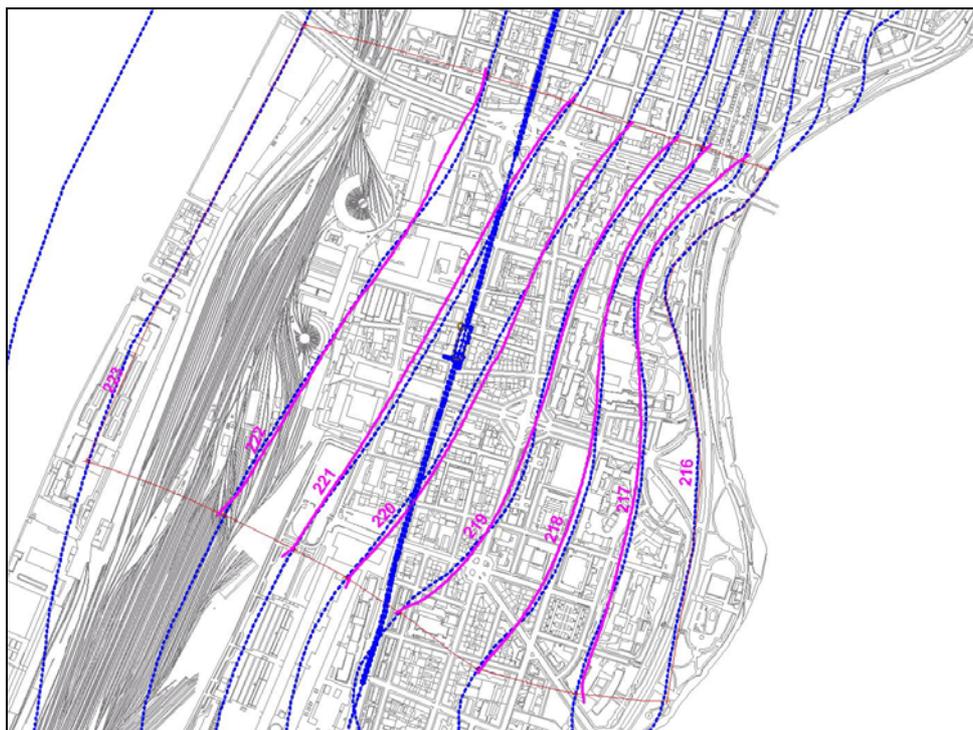


Figura 5.4 – Calibrazione e validazione del modello numerico.

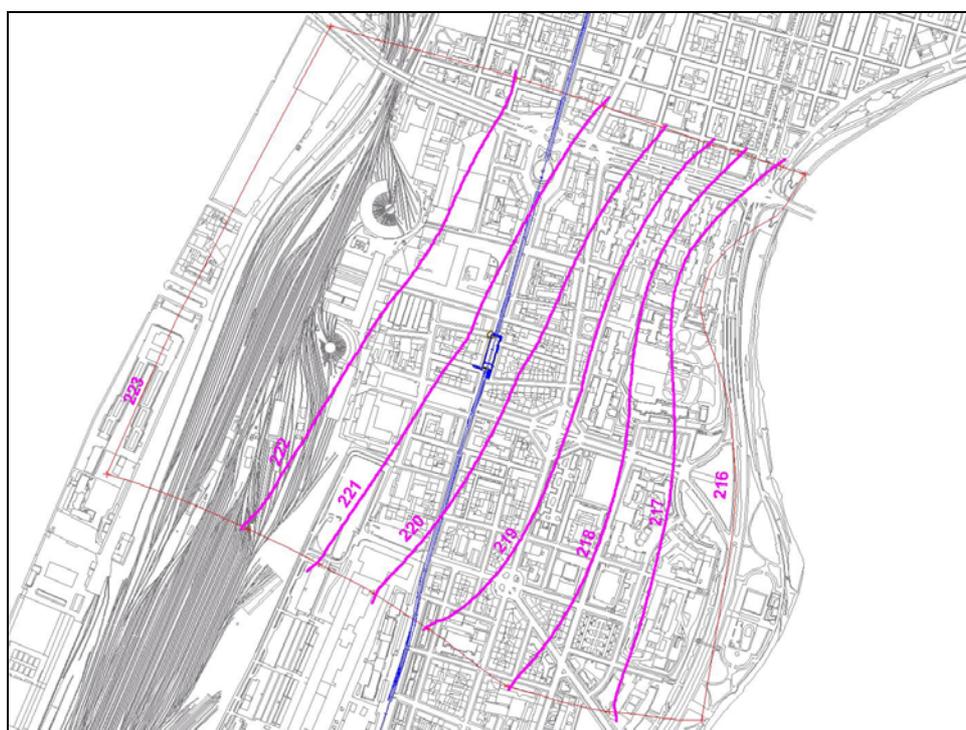


Figura 5.5 – Piezometrica alterata dalla presenza della stazione.

I risultati della simulazione in regime stazionario (lungo termine) mostrano che l'interferenza è inferiore al mezzo metro (+0,2m) nella zona a monte (rispetto al flusso idrico sotterraneo).

L'effetto di depressione a valle è pressoché trascurabile. La figura 5.5 riporta le isoanomalie generate dal confronto tra la situazione prima e quella dopo la costruzione dei manufatti.

I fattori cautelativi assunti in fase di costruzione del modello fanno ritenere ragionevole considerare il dato di +0,2m (rispetto al livello utilizzato nei calcoli) come massimo innalzamento a monte dello scavo. Tale dato si riferisce alla zona centrale dei manufatti e si riduce sensibilmente alle estremità degli stessi.

Questi risultati, come le informazioni sul livello della "falda storica" (cfr. paragrafo 4.5) saranno presi in considerazione nella definizione di livello di falda progettuale da adottare per la fase di esercizio dell'opera (cfr. Relazione Geotecnica codice MTL1T2A2E GEOGENR002).

6. SISMICITÀ DELL'AREA

Il territorio comunale della città di Torino non è inserito nell'elenco delle località sismiche di prima e seconda categoria (elenco allegato alla legge 25/11/1962 n. 1684) dunque non è sottoposto a particolari provvedimenti o restrizioni riguardanti la costruzione di opere o manufatti. Secondo quanto, inoltre, riportato dall'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 12/06/1998 n. 2788 "Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale", il comune di Torino risulta come non classificato e dunque non soggetto a particolari vincoli progettuali.

La vigente O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 introduce la nuova classificazione sismica del territorio italiano, secondo quanto elaborato dal Consiglio Sismico Nazionale (GdL 23/04/1997, con l'introduzione della zona 4 (ex comuni non classificati). Relativamente a tale zona, l'O.P.C.M. da facoltà alle Regioni di imporre o meno l'obbligo di progettazione antisismica.

La Deliberazione Regionale D.G.R. N. 61 - 11017 del 17/11/2003 "Deliberazione della Giunta della Regione Piemonte in merito alla riclassificazione a rischio sismico del territorio regionale", indica "di non introdurre, per la zona 4, l'obbligo della progettazione antisismica, ad esclusione di alcuni tipi di edifici e di costruzioni rientranti tra quelli di interesse strategico di nuova costruzione che verranno individuati con successivo atto deliberativo, come previsto dall'articolo 2, comma 4 dell'O.P.C.M. n. 3274".

Ai sensi della Deliberazione Regionale D.G.R. N.64-11402 del 23/12/2003 (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n.3274 -"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" - Disposizioni attuative dell'articolo 2), si evince che l'opera non ricade nell'elenco delle tipologie di costruzioni di nuova edificazione ritenute d'interesse strategico per le quali, benché in zona 4, è introdotto il rispetto della progettazione antisismica prevista dall'O.P.C.M. n.3274 (Allegato B alla deliberazione), e pertanto l'intervento è svincolato da tale tipo di verifiche.

7. BIBLIOGRAFIA

- A.F.T.E.S. WORKING GROUP N.1 (REF. PANET M.) 1992. Text of recommendations for a description of rock masses useful for examining the stability of underground works.
- 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 (TorinoVercelli). 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.
- CIVITA, M, PIZZO, S. 2001. "L'evoluzione spazio-temporale del livello piezometrico dell'acquifero libero nel sottosuolo di Torino" GEAM n°4 dicembre.
- FETTER, C.W., 1994. "Applied Hydrogeology", Prentice Hall.
- 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.
- HARBAUGH, A.W., MCDONALD, M.G., 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.
- MCDONALD, M.G., HARBAUGH, A.W. Modflow, 1988. A modular three-dimensional finitedifference ground-water flow model. U. S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, Book 6, Chapter A1, 586 p.
- NEUMAN, S.P., 1975. Analysis of pumpinig test data from anisotropoic unconfined aquifers considering delayed gravity response . Water Resources Research, 11:329-42.
- THEIS, C.V. 1935. The lowering of the piezometer surface and the rate and discharge of well using ground-water storage. Transactions, American Geophysical Union, 16:519-24.