

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
 STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE  
 REGIONE PIEMONTE  
 COMUNE DI TORINO



INFRATRASPORTI.TO S.r.l.

METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO  
 LINEA 1 PROLUNGAMENTO SUD – TRATTA 4 LINGOTTO/BENGASI  
 APPALTO INTEGRATO PER LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED  
 ESECUZIONE DEI LAVORI, AI SENSI DELL'ART. 232 D.LGS 163/2006

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTISTA RESPONSABILE  	RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE   <b>Soc. Coop.</b> Mandante		 Mandataria
ENTE CONCESSIONARIO (R.U.P.)	TITOLO ELABORATO:          RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA		
DIRETTORE DEI LAVORI			
SCALA: —			DATA: 23-04-2012

REVISIONI DEL DOCUMENTO											
Rev.	Descrizione						Data	Redatto	Verificato	Approvato	
0	Emissione esecutiva						23-04-'12	Zampieri	Giometti	Comi	
A											
B											
C											
D											

File:	Cartella	Progr.	CODICE	Contratto	Lotto	Fase	Progetto	WBS	Doc.	Num.	R.I.	R.E.
1_MTL1T4AO E_GEOGENR001	2.1	01	ELAB.:	MTL1T4	AO	E	GEOGENR	001	-	0	-	0

## INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1	Documenti di progetto	4
2.2	Normativa	4
2.3	Bibliografia	5
3.	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	6
3.1	Profilo geologico	9
3.1.1	Ghiaia, ciottoli e sabbie in matrice limosa (Depositi fluvio-glaciali e fluviali Rissiani)	9
3.1.2	Limi sabbiosi debolmente argillosi e sabbie grigio-azzurre con fossili (Depositi di ambiente marino neritico del Pliocene)	9
4.	SISMICITÀ' DELL'AREA	10
5.	PRESENZA DI GAS	11
6.	INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE	12
6.1	Indagini effettuate nell'ambito di altri progetti	12
6.2	Indagini per il Progetto Definitivo	13
6.3	Campagna di indagini per il Progetto Esecutivo	14
7.	IDROGEOLOGIA	16
7.1	Inquadramento idrogeologico generale	16
7.2	Indagini idrogeologiche pregresse	16
7.2.1	Progetto Definitivo ed Esecutivo della tratta Marconi - Lingotto	17
7.2.2	Progetto del Palazzo della Regione ed opere collegate	17
7.3	Indagini idrogeologiche per il Progetto Definitivo	18
7.3.1	Prove di permeabilità in foro tipo Lefranc	18
7.3.2	Prove di emungimento in pozzo	18
7.4	Monitoraggio della quota della falda superficiale	19

7.5	Interpretazione dei dati di permeabilità	19
7.6	Modello idrogeologico di riferimento	22
7.7	Interferenze delle strutture sull'acquifero superficiale	23
7.8	Valori progettuali del livello di falda	26
7.8.1	Fase costruttiva	26
7.8.2	Fase di esercizio	26

## 1. INTRODUZIONE

La redazione del Progetto Esecutivo del settore della Linea 1 della Metropolitana Automatica di Torino denominato Prolungamento Sud (Lingotto-Bengasi) è stata affidata al Raggruppamento SELI-Coopsette, attraverso il progettista designato nel Raggruppamento Temporaneo di Professionisti Lombardi S.A. Ingegneri Consulenti e Lombardi Reico Ingegneria S.r.l..

La presente relazione descrive il contesto geologico, geomorfologico ed idrogeologico del sottosuolo interessato dalla tratta in oggetto nell'ambito delle attività di progettazione esecutiva del Lotto 1.

Il tracciato del Prolungamento Sud, totalmente in sotterraneo, congiunge la Stazione Lingotto con Piazza Bengasi percorrendo l'asse di Via Nizza; si sviluppa per una lunghezza pari a circa 1900 m e comprende le due stazioni "Italia 61" e "Bengasi", la predisposizione per il manufatto di bivio per la diramazione verso Lingotto FS, due pozzi di intertratta ed un pozzo terminale.

Il progetto prevede una galleria a doppio binario che consente la circolazione di convogli di larghezza pari a 2.08 m, scavata a foro cieco al di sotto della 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 7.00 m.

Le opere sono ubicate completamente nel comune di Torino, con la sola eccezione del tratto terminale, da Piazza Bengasi al pozzo terminale d'estrazione della macchina di scavo, sito nel comune di Moncalieri.

Il presente documento, unito agli allegati grafici ad esso relativi, si prefigge lo scopo di definire ed illustrare i modelli geologico ed idrogeologico del sottosuolo interessato dalle opere in progetto, sulla base dei dati disponibili.

Tali modelli ricostruiscono i rapporti lito-stratigrafici tra le formazioni geologiche attraversate dalle opere, l'assetto idrogeologico del sottosuolo lungo la linea, e caratterizzano l'acquifero, valutando le possibili interferenze conseguenti alla loro realizzazione.

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

- Carta con ubicazione indagini geognostiche, scala 1:2000 (codice MTL1T4A0EGEOGENS006);
- Planimetria e Profilo geologico Parte Prima, scala 1:2000/200 (codice MTL1T4A0EGEOGENS001.1);
- Planimetria e Profilo geologico Parte Seconda, scala 1:2000/200 (codice MTL1T4A0EGEOGENS001.2).

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documenti di progetto

- [1] Programma delle indagini integrative - elab. MTL1T4A0EGEOGENR002
- [2] Planimetria di ubicazione indagini – elab. MTL1T4A1EGEOGENS006
- [3] Planimetria e profilo geologico 1/2 - elab. MTL1T4A0EGEOGENS001.1
- [4] Planimetria e profilo geologico 2/2 – elab. MTL1T4A0EGEOGENS001.2
- [5] Profilo geotecnico 1/2 - elab. MTL1T4A0EGEOGENS002.1
- [6] Profilo geotecnico 2/2 – elab. MTL1T4A0EGEOGENS002.2

### 2.2 Normativa

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

- [7] Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n.163 e s.m.i. (1° e 2° decreto correttivo): “Codice dei contr atti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/Ce e 2004/18/Ce”;
- [8] 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.”;
- [9] Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- [10] 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 s.m.i.;
- [11] 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”;
- [12] Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152: “Norme in materia ambientale” e s.m.i. (1° e 2° decret o correttivo);
- [13] D.L. 5 Febbraio 1997, N.22: “Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio” e s.m.i.;
- [14] D. L. 5 Febbraio 1998: “Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli artt.31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n.22”;
- [15] O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003: “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e s.m.i.;

- [16] 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";
- [17] Eurocodice 7, "Geotechnical design" (EN 1997-1:2002);
- [18] Eurocodice 8, "Design of structures for earthquake resistance" (EN 1998-1/6:2002-2003).

### 2.3 Bibliografia

- [19] Barla G., Macchi A., Cavallero G., Pedemonte S. (1993) "Il Nodo di Torino. Geologia e geotecnica: misure in corso d'opera". Ass.Geot.It. Atti XVIII Conv. Naz. Rimini.
- [20] Barla G., Macchi A., Mattalia C., Rabagliati U. (1995) "Mathematical modelling and performance monitoring for the Corso Vittorio Emanuele II underpass in Turin". FMGM 95 4th Int. Symp, Bergamo.
- [21] Barla G., Vai L. (1999) "Indagini geotecniche per la caratterizzazione del sottosuolo di Torino lungo il tracciato del Passante Ferroviario". XX Convegno Nazionale di Geotecnica, Parma.
- [22] 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, Vercelli). Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- [23] Bortolami G., De Luca D., Filippini G. (1990) "Le acque sotterranee della pianura di Torino. Aspetti e problemi". Provincia di Torino, Assessorato Ecologia.
- [24] Bottino G., Civita M. (1986) "A computer semi-quantitative model for microzonation of hazard from interconnection of engineering-geological features and urban sub-service network" 5th International IAEG Congress, Buenos Aires, pp. 1731-1740.
- [25] Bottino G., Civita M. (1986) "Engineering geological features and mapping of subsurface in the metropolitan area of Turin, North Italy". 5th International IAEG Congress, Buenos Aires, pp. 1741-1753.
- [26] Civita M, Pizzo S. (2001) "L'evoluzione spazio-temporale del livello piezometrico dell'acquifero libero nel sottosuolo di Torino" GEAM n°4, dicembre 2001.
- [27] 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.
- [28] Lancellotta R. (1987) "Geotecnica" Zanichelli.
- [29] Ricci G., Enrione, R., Eusebio A. (2007) "Numerical modeling of the interference between underground structures and aquifers in urban environment. The Turin subway - Line 1", International Tunnelling Association Congress, Prague.

### 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; la restante parte del territorio è costituito dai rilievi collinari ubicati 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). 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 tale tratto del suo corso da una limitata energia di sedimentazione.

L'assetto geologico generale, ricostruito in base alle numerose indagini svolte nel sottosuolo torinese, è suddiviso, per i primi 150 m circa di profondità, in tre complessi litostratigrafici (dal più superficiale al più profondo):

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

Lo spessore del primo complesso, lungo la tratta in oggetto, è compreso, generalmente, tra 32 m e 40 m circa, salvo possibili variazioni localizzate. Dall'esame dei dati a disposizione, si è avuta parziale conferma, anche per tale tratta, di quanto già riscontrato in corrispondenza delle precedenti tratte funzionali, Collegno - Torino Porta Nuova e Porta Nuova - Lingotto, ovvero della presenza di orizzonti cementati all'interno dei depositi fluvioglaciali (ghiaie, ciottoli e sabbie in matrice limosa), caratteristici del sottosuolo di Torino e noti in letteratura con il termine di "puddinghe". Tali orizzonti possiedono andamento discontinuo e grado di cementazione o di addensamento variabile. Rispetto alle tratte funzionali precedenti, come accennato, questi strati conglomeratici sono stati rinvenuti con minore frequenza e continuità, ed in nessun caso si è riscontrata la presenza di livelli ad elevata cementazione.

Il grado di cementazione e la geometria dei conglomerati assumono rilevanza ai fini della definizione del comportamento geotecnico dei materiali nonché della loro attitudine allo scavo. All'interno dei depositi fluvioglaciali è stata inoltre occasionalmente riscontrata la presenza di livelli di materiali coesivi sotto forma di corpi discontinui lentiformi.

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 m (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.

In corrispondenza della tratta funzionale in esame, il complesso riferibile al Villafranchiano Autoctono non è stato riconosciuto, mentre è presente il complesso marino Pliocenico in maniera estesa, coerentemente con il contatto di eteropia di facies già rilevato nella tratta funzionale precedente, all'altezza della stazione Marconi.



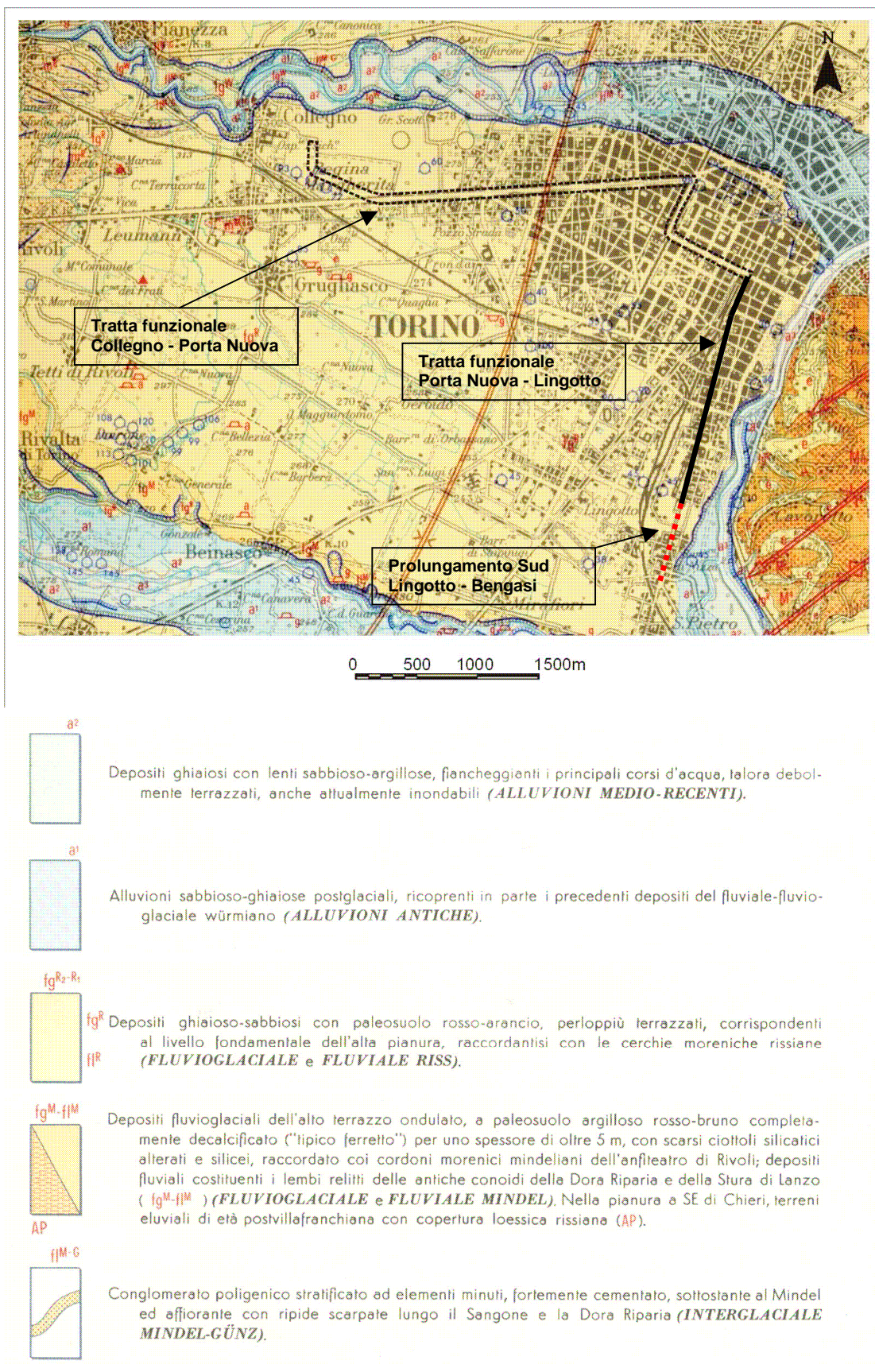


Figura 2.1 - Estratto dal foglio n. 56 della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000.

### 3.1 Profilo geologico

La definizione del modello geologico di riferimento è stata effettuata, a livello generale, sulla base delle informazioni reperite in letteratura oltre che di quelle provenienti dalle indagini geognostiche effettuate nel passato lungo il tracciato in progetto e delle quali è stato possibile ottenere le risultanze stratigrafiche.

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

- depositi fluvioglaciali e fluviali Rissiani: ghiaie, ciottoli e sabbie in matrice limosa;
- depositi d'ambiente marino neritico del Pliocene, composti da limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie grigio azzurre con fossili.

Esso ha trovato conferma dall'esito delle indagini geognostiche condotte in fase di progettazione Definitiva ed Esecutiva.

#### 3.1.1 *Ghiaia, ciottoli e sabbie in matrice limosa (Depositati fluvioglaciali e fluviali Rissiani)*

Le ghiaie, che rappresentano la frazione avente la maggior rilevanza in termini percentuali, si accompagnano a sabbie medio - grossolane, ciottoli 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 assai frequente anche 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, variabile di grado sia in profondità che lungo lo sviluppo complessivo dell'opera. Il fenomeno è dovuto 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. Come già detto precedentemente, sulla base delle informazioni stratigrafiche a disposizione per la tratta Lingotto - Bengasi, la cementazione si presenta prevalentemente all'inizio della tratta, ed è individuabile con una maggiore persistenza in un intervallo di profondità compreso tra 5 m e 15 m.

All'interno di tali depositi grossolani sono stati rilevati dei livelli aventi granulometria più fine (limi sabbioso-argillosi), aventi spessori dell'ordine di 4-5 m.

#### 3.1.2 *Limi sabbiosi debolmente argillosi e sabbie grigio-azzurre con fossili (Depositati di 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 sommitale della formazione e contengono frequentemente resti fossili.

#### 4. SISMICITÀ' DELL'AREA

Dal punto di vista sismico, 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 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 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. Il comune di Torino risulta classificato per l'appunto in zona 4.

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.

## 5. PRESENZA DI GAS

Dal quadro geologico sopra descritto, si desume che 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. La principale radiazione naturale è generata dal 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/m<sup>3</sup> (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.

## 6. INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE

Le informazioni di carattere bibliografico e di inquadramento generale esposte ai paragrafi precedenti sono state, già in fase di progettazione definitiva, integrate e validate alla scala dell'opera con i dati geognostici disponibili, allo scopo di definire il modello geotecnico di riferimento.

In prima fase fu effettuata una ricerca di studi e lavori esistenti, al fine di ottimizzare la definizione della tipologia e della quantità delle indagini integrative necessarie sulla base di quelle disponibili sul territorio, completando le campagne già condotte per precedenti progetti (Metropolitana Automatica Linea 1 – Tratta Marconi/Lingotto, Bonifica e messa in sicurezza delle aree ex Fiat Avio, Nuovo Palazzo della Regione Piemonte).

I dati raccolti sono stati catalogati e validati in fase di P.D. (con l'attribuzione di un grado di affidabilità), ed utilizzati per una prima rappresentazione del contesto geologico-tecnico comprensiva degli aspetti idrogeologici, individuando in particolare i settori di incertezza prevalenti.

A seguito di ciò è stato perciò indirizzato l'approfondimento geognostico, specificatamente dedicato alle opere in progetto ed alla caratterizzazione geotecnica dei terreni da esse attraversati. Sulla base degli esiti di tali attività è stata quindi condotta la campagna geognostica per il Progetto Definitivo che ha permesso la verifica diretta della stratigrafia e la caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati (progetto Piano Indagini: GDTesT, 2007), con lo scopo di acquisire una conoscenza ragionevolmente omogenea del sottosuolo e di investigare in particolare i terreni interessati dalle opere d'arte principali (stazioni, manufatto di bivio, pozzi d'intertratta e pozzo terminale) e quindi quella del presente Progetto Esecutivo, mirata a integrare le informazioni approfondendo aspetti della caratterizzazione stratigrafica e geotecnica potenzialmente rilevanti per l'esecuzione delle opere e non completamente determinati nelle fasi precedenti (cfr. la relazione Programma delle indagini integrative, elab. MTL1T4A0EGEOGENR002, doc. rif. [1], nonché la Planimetria di ubicazione indagini, elab. MTL1T4A0EGEOGENS006, doc. rif. [2]).

### 6.1 Indagini effettuate nell'ambito di altri progetti

Per quanto riguarda le indagini effettuate nell'ambito di altri progetti, e svolte prima del Progetto Definitivo, sono stati considerati principalmente sondaggi -e le relative letture piezometriche e prove in foro (SPT e Lefranc a carico variabile condotte in avanzamento di perforazione)- effettuati in corrispondenza delle Aree delle Ex Fiat Avio.

I dati raccolti forniscono elementi e conoscenze sul terreno lungo il tratto compreso tra la Stazione Lingotto e la Stazione Italia 61, tuttavia non forniscono indicazioni utili per il tratto successivo, fino al pozzo terminale.

Le indagini hanno fornito valide informazioni per la ricostruzione della sequenza litostratigrafica, per la definizione della distribuzione areale dei livelli cementati e delle lenti di materiali fini, e per la caratterizzazione fisico-mineralogica e per una prima caratterizzazione geotecnica delle unità individuate, in particolar modo per quanto riguarda i parametri di deformabilità, resistenza e permeabilità.

L'analisi dei dati ha inoltre permesso di ricostruire l'assetto idrogeologico del settore interessato dal progetto, di quantificare i parametri idrodinamici dell'acquifero, nonché monitorare il livello e le relative oscillazioni della falda nel breve e nel lungo periodo, e determinare le caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua di falda.

La sintesi dei dati raccolti è stata riportata negli elaborati allegati al presente Progetto Esecutivo (Profilo geotecnico, doc. rif. [5] e [6]), oltre che negli omologhi del Progetto Definitivo.

## 6.2 Indagini per il Progetto Definitivo

La campagna di indagine per la progettazione definitiva ha compreso le seguenti indagini in sito (2007 ÷ 2008):

- n. 8 sondaggi a carotaggio continuo, di cui n. 4 (denominati Sc1 ÷ Sc4) geognostici e n. 4 (P1 ÷ P4) mirati ambientali (comunque utilizzati anche al fine della caratterizzazione stratigrafica);
- n. 2 sondaggi a distruzione di nucleo, SD1 e SD2;
- n. 1 pozzo Ø 300 mm per eseguire una prova di pompaggio;
- prove penetrometriche standard SPT nei fori di sondaggio sopra elencati;
- n. 16 prove di permeabilità Lefranc;
- n. 1 prova pressiometrica.

Nei fori di sondaggio Sc1 e SD1 sono state condotte prove geofisiche *down hole*.

In tutti i restanti fori, compreso il pozzo, sono stati installati piezometri a tubo aperto.

Durante l'esecuzione dei sondaggi Sc1 e SD1 sono stati registrati i principali parametri di perforazione (velocità di avanzamento, velocità di rotazione, spinta, coppia, pressione).

I sondaggi a carotaggio continuo non hanno consentito il recupero indisturbato di campioni di materiale cementato, peraltro scarsamente presente, a causa dell'inevitabile disturbo indotto dalla rotazione dell'utensile di perforazione. Ricorrendo ad un'accurata descrizione del materiale estratto, con il lavaggio e l'osservazione dei singoli ciottoli, sono stati identificati e distinti tre livelli di cementazione differenti: debole, corrispondente alla presenza di tracce di materiale fine cementato; diffuso (clasti con patina carbonatica); medio-elevato, corrispondente a materiale "bruciato" per effetto della resistenza offerta all'utensile.

In tutti i sondaggi, oltre al rilievo della temperatura e della conducibilità dell'acqua, sono state eseguite le seguenti prove geofisiche:

- gamma ray,
- down-hole,
- rilievi sonici (5 kHz e 20 kHz).

Le letture piezometriche, rilevate nel corso di febbraio 2008, sono disponibili per tutti i sondaggi, attrezzati in genere con tubo aperto, ed indicano una profondità media della superficie della falda freatica dalla quota del piano campagna di circa 13 m.

Le prove Lefranc a carico variabile effettuate a diverse profondità in quattro degli otto sondaggi carotati, hanno registrato un valore medio di permeabilità pari a circa  $2E-06$  m/s, con un massimo di  $5.7E-06$  m/s ed un minimo di  $5E-07$  m/s.

Dai sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno per le prove di laboratorio, principalmente di classificazione (analisi granulometriche, determinazione dei pesi di volume, del contenuto d'acqua, dei limiti di consistenza) e di resistenza e deformabilità (prove triassiali ed edometriche). Sui clasti di dimensioni maggiori (ciottoli grossolani, di pezzatura anche superiore al decimetro), sono state inoltre condotte prove mirate all'individuazione della tecnologia di scavo più idonea (analisi petrografiche, di abrasività, durezza, perforabilità, resistenza meccanica).

I risultati di tutte queste prove sono allegati agli elaborati del Progetto Definitivo.

### 6.3 Campagna di indagini per il Progetto Esecutivo

Le verticali di indagine proposte sono state scelte e ubicate in relazione ai seguenti obiettivi principali:

- o definizione della successione stratigrafica fino alle profondità di interesse in alcuni tratti non coperti dalle indagini pregresse disponibili, per ricostruire un profilo stratigrafico e geotecnico basato per quanto possibile su dati e riscontri diretti sufficientemente ravvicinati lungo l'intera tratta;
- o in particolare -ma non esclusivamente- individuazione di eventuali lenti e livelli di unità fini entro le profondità di interesse (identificate come 2a, in conformità alla denominazione adottata nel PD, per continuità con lo stesso e comodità di lettura);
- o caratterizzazione di dettaglio delle unità incontrate, con lo scopo non solo di ottimizzare il dimensionamento delle opere previste (diaframmi, galleria, pozzi), ma anche la scelta e la definizione degli interventi di consolidamento, ciò con particolare ma non esclusivo riferimento alle unità più fini;
- o individuazione della superficie piezometrica lungo l'intera tratta;
- o caratterizzazione ambientale dei terreni e delle acque di falda.

Sono state svolte le seguenti indagini in sito:

- o n. 9 sondaggi geognostici a carotaggio continuo di lunghezza pari a 30m;
- o n. 4 sondaggi a distruzione di nucleo di lunghezza pari a 30m;
- o prove penetrometriche standard SPT nei fori di sondaggio;
- o n. 14 prove di permeabilità Lefranc;

- o n. 1 prova pressiometrica.

Per n. 4 sondaggi sono stati registrati i parametri di perforazione (velocità di avanzamento, velocità di rotazione, spinta, coppia, pressione).

Alcuni (n. 9) fori di sondaggio sono stati attrezzati con tubi in PVC da 3" per l'esecuzione di prove geofisiche in foro (*down hole* e *cross hole*).

Il sondaggio SCI-4 è stato attrezzato con tubo piezometrico da 2" con tratto filtrante fra 12 m e 27 m da testa foro.

Dai sondaggi sono stati prelevati complessivamente n. 77 campioni rimaneggiati e n. 2 campioni indisturbati.

Sono stati programmati n. 8 ulteriori sondaggi a valenza ambientale (PI-1 ÷ PI8), posizionati in prossimità dei principali manufatti previsti lungo la tratta in progetto. Questi sondaggi, attrezzati con piezometri a tubo aperto, sono mirati a: caratterizzare dal punto di vista ambientale i terreni di scavo per determinarne l'eventuale riutilizzo e le modalità di stoccaggio e smaltimento; caratterizzare l'acqua di falda e monitorarne la qualità dalla fase *ante operam* al *post operam*; rilevare la quota di falda e verificare eventuali influssi sulla falda a seguito della realizzazione delle opere in progetto. Di sette dei sondaggi ambientali era già prescritta l'esecuzione sin dalla fase progettuale precedente (cfr. el. MTL1T4A0DAMBGENR003 del Progetto Definitivo), in cui se ne definiva numero, ubicazione, lunghezza e obiettivi.

L'ubicazione di tutte le indagini elencate è riportata nell'elaborato di progetto al doc. di rif. [2].



## 7. IDROGEOLOGIA

Gli studi geologici ed idrogeologici generali già eseguiti in sede di Progetto Definitivo ed Esecutivo della Metropolitana Automatica di Torino, prima tratta Collegno - Porta Nuova, nonché le analisi realizzate per lo studio idrogeologico del Progetto Definitivo ed Esecutivo della seconda tratta Porta Nuova - Lingotto, hanno consentito di tracciare un quadro idrogeologico di riferimento abbastanza completo. I sondaggi eseguiti per la seconda tratta hanno poi confermato tale quadro, permettendo di perfezionare l'andamento dei limiti dei complessi idrogeologici individuati.

### 7.1 Inquadramento idrogeologico generale

Con riferimento alla zona interessata dalla tratta funzionale oggetto della presente relazione, l'assetto idrogeologico è schematizzato come segue:

- **complesso ghiaioso-sabbioso**, sede dell'acquifero libero principale, è costituito da depositi grossolani riferibili al Quaternario (ciottoli, ghiaie e sabbie in matrice sabbioso-limosa) aventi spessore medio di circa 30 m. In corrispondenza del tracciato dell'opera, la superficie dell'acquifero si attesta mediamente intorno ai 13 m di profondità dalla quota del piano campagna;
- **complesso limoso-argilloso-sabbioso**, individuato nei depositi di ambiente marino neritico del Pliocene, costituisce un mezzo a scarsa circolazione idrica, e non ospita acquiferi di rilevanza. E' ubicato indicativamente ad una profondità di 35-40 m dal piano campagna, e la sua sommità è costituita da depositi limoso-argillosi, spesso compatti, potenti 20,30 m, che sostanzialmente costituiscono la base impermeabile dell'acquifero freatico soprastante. Tale complesso non è presente in maniera costante lungo la tratta in questione, poiché le indagini geognostiche hanno talvolta identificato i depositi limoso-sabbiosi debolmente argillosi compatti riferibili al Pliocene, che in genere non sono sede di livelli acquiferi.

Considerando la profondità alla quale sarà realizzato lo scavo della galleria e delle stazioni, l'opera interferisce esclusivamente con l'acquifero superficiale del complesso ghiaioso-sabbioso. Lo scavo previsto per la realizzazione delle stazioni non è sufficientemente profondo per raggiungere l'eventuale complesso limoso-argilloso dei depositi pliocenici.

### 7.2 Indagini idrogeologiche pregresse

Allo scopo di completare il quadro delle possibili variazioni dei valori di permeabilità dei depositi quaternari, sede dell'acquifero superficiale, sono stati esaminati i risultati delle prove di permeabilità eseguite per la progettazione definitiva ed esecutiva della tratta Marconi - Lingotto del progetto della Linea 1 della metropolitana.

Sono state inoltre considerate le indagini eseguite nell'area del progetto del Palazzo della Regione Piemonte, adiacente all'area della stazione Italia 61, e gli studi di caratterizzazione idrogeologica allegati al "Progetto Definitivo di messa in sicurezza e bonifica dell'area ex-FIAT AVIO" eseguito dallo Studio Tedesi di Milano nell'anno 2006.

### 7.2.1 Progetto Definitivo ed Esecutivo della tratta Marconi - Lingotto

Nel corso delle diverse fasi progettuali elaborate per la tratta Marconi-Lingotto sono state effettuate n. 64 prove Lefranc, a carico e profondità variabile, nei sondaggi realizzati a carotaggio continuo.

I sondaggi a distruzione, realizzati per la registrazione dei parametri di perforazione (diagrafie), non sono stati utilizzati per l'esecuzione di prove Lefranc.

I risultati acquisiti nelle varie campagne di indagini effettuate, hanno registrato un valore medio di permeabilità pari a circa  $2 \cdot 10^{-5}$  m/s, con un massimo di  $9 \cdot 10^{-4}$  m/s ed un minimo di  $8 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Sono state inoltre eseguite 2 prove di pompaggio a lunga durata in due pozzi (P1 e P2) appositamente eseguiti, rispettivamente ubicati in piazza Bozzolo ed in corso Marconi. Entrambi i pozzi sono stati approfonditi fino alla base dell'acquifero, ed equipaggiati di due piezometri per l'interpretazione dei dati della prova di pompaggio. I valori di permeabilità così registrati sono compresi in un intervallo:

$(1 \div 3) \cdot 10^{-3}$  m/s,

con una porosità efficace del  $15 \div 20\%$ .

### 7.2.2 Progetto del Palazzo della Regione ed opere collegate

In corrispondenza dell'area ex-FIAT AVIO, collocata lungo via Nizza adiacente il complesso del Lingotto, è in progetto la realizzazione di una serie di opere pubbliche della Regione Piemonte. Per la fase di Progetto Definitivo, è stata condotta una campagna geognostica per l'approfondimento del quadro geologico e la caratterizzazione geotecnica ed idrogeologica dei terreni.

I dati relativi alle indagini di carattere idrogeologico, costituite essenzialmente da 29 prove in foro tipo Lefranc, hanno permesso di valutare una permeabilità media dell'ordine di  $6.3 \cdot 10^{-6}$  m/s, con un massimo di  $2.9 \cdot 10^{-5}$  m/s ed un minimo di  $1.2 \cdot 10^{-6}$  m/s.

In precedenza, l'area del progetto è stata studiata per la valutazione e definizione degli interventi di bonifica dei terreni. Nel corso dello studio è stata condotta una prova di pompaggio per la determinazione dei parametri idrodinamici dell'acquifero superficiale. Sebbene la prova sia stata di breve durata, le misure effettuate hanno evidenziato una stabilizzazione dei livelli nei piezometri, per cui si ritiene che i dati elaborati permettano una valutazione attendibile del grado di permeabilità. I dati di risalita, una volta arrestato il pompaggio, sono stati inoltre elaborati per verificare l'attendibilità dell'interpretazione dei dati della fase di pompaggio. I valori di permeabilità variano nell'intervallo:

$(1 \div 2) \cdot 10^{-3}$  m/s ,

con una porosità efficace del 27%.

### 7.3 Indagini idrogeologiche per il Progetto Definitivo

#### 7.3.1 Prove di permeabilità in foro tipo Lefranc

Nel quadro delle indagini geognostiche predisposte per il Progetto Definitivo, sono state effettuate prove Lefranc a carico variabile in ciascuno dei sondaggi realizzati a carotaggio continuo, al fine di determinare il grado di permeabilità dei depositi quaternari.

I dati relativi alle prove eseguite sono riportati nella tabella seguente.

SONDAGGIO	NUMERO PROVA	OPERA	PROFONDITA'	TIPO DI PROVA	MODALITA'	PERMEABILITA'
(CODICE)	(CODICE)	(DESCRIZIONE)	(m)	(DESCRIZIONE)	(DESCRIZIONE)	(m/s)
SC1	1	Pozzo 1	22.25	Lefranc	carico variabile	5.68E-06
SC1	2	Pozzo 1	27.5	Lefranc	carico variabile	1.80E-06
SC1	3	Pozzo 1	32.5	Lefranc	carico variabile	1.79E-06
SC1	4	Pozzo 1	39.25	Lefranc	carico variabile	5.04E-07
SC2	1	Pozzo 2	21.5	Lefranc	carico variabile	4.76E-06
SC2	2	Pozzo 2	27.5	Lefranc	carico variabile	2.70E-06
SC2	3	Pozzo 2	32.25	Lefranc	carico variabile	5.68E-07
SC2	4	Pozzo 2	35.5	Lefranc	carico variabile	8.47E-07
SC3	1	Stazione Bengasi	22.5	Lefranc	carico variabile	4.02E-06
SC3	2	Stazione Bengasi	25.5	Lefranc	carico variabile	1.06E-06
SC4	1	Pozzo terminale	21.5	Lefranc	carico variabile	2.48E-06
SC4	2	Pozzo terminale	27.5	Lefranc	carico variabile	7.98E-07
SC4	3	Pozzo terminale	32.5	Lefranc	carico variabile	6.57E-07

**Tabella 7-1:** risultati delle prove di permeabilità Lefranc eseguite in fase di PD

#### 7.3.2 Prove di emungimento in pozzo

In corrispondenza della stazione Bengasi è stata effettuata una prova di pompaggio a lunga durata per la determinazione dei parametri idrodinamici dei depositi quaternari, mediante un pozzo di emungimento (PP1) di diametro di perforazione  $\varnothing$  300 mm attrezzato con una tubazione filtrante di rivestimento e ubicato in prossimità dei sondaggi Sc3 e SD2 (rispettivamente a 7.6 m ed a 14.8 m di distanza), attrezzati con piezometro a tubo aperto per l'acquisizione dei dati di abbassamento della falda indotto dal pompaggio.

L'interpretazione dei dati registrati ha portato alla definizione di valori di permeabilità variabili nell'intervallo:

$$(4.1 \div 4.6) \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

#### 7.4 Monitoraggio della quota della falda superficiale

Il monitoraggio del livello di falda superficiale è stato effettuato per mezzo dei piezometri a tubo aperto installati nei sondaggi geognostici.

I valori registrati indicano una soggiacenza della superficie della falda freatica variabile tra i 12 m ed i 14 m. Il dato è basato sulle letture effettuate nell'ambito della Progettazione Definitiva (2008) e su quelle effettuate ad Aprile 2012 nei piezometri del PD ancora attivi; le quote di falda rilevate sono per altro nella sostanza concordi con quelle rilevate nei fori di sondaggio del PE.

Le letture ai piezometri del PD (sia quelle del 2008 che quelle del 2012) sono state utilizzate per la ricostruzione dei seguenti profili di falda di riferimento:

- profilo involuppo delle minime soggiacenze rilevate;
- profilo di progetto per le opere provvisorie (+2m dall'involuppo delle minime soggiacenze);
- profilo di progetto per le opere nella configurazione definitiva (+5m dall'involuppo delle minime soggiacenze).

Questi profili di riferimento sono riportati sul profilo geologico e su quello geotecnico (cfr. rispettivamente elaborati MTL1T4A0EGEOGN1S001.1/.2 e MTL1T4A0EGEOGN1S002.1/.2, doc. rif. [3] ÷ [6]).

Le misure condotte in alcuni piezometri delle tratte precedenti (Marconi - Lingotto), sia durante la fase progettuale che nel corso della fase costruttiva, hanno evidenziato un'oscillazione annuale della quota della falda, in questa zona del territorio urbano, inferiore al metro.

#### 7.5 Interpretazione dei dati di permeabilità

Dai risultati riportati nei paragrafi precedenti risulta evidente la differenza tra i valori ricavati dalle prove Lefranc condotte nei sondaggi geognostici e quelli desunti dalle prove di pompaggio, non solo nel pozzo PP1 all'interno di questa tratta, ma anche quelle eseguite lungo il tracciato delle tratte precedenti, dalla stazione Marconi alla stazione Lingotto della Linea 1 della metropolitana. Considerando i valori medi, i coefficienti di permeabilità desunti dalle prove di pompaggio risultano superiori di 2 o anche 3 ordini di grandezza rispetto a quelli ottenuti dalle prove Lefranc.

In merito a tale differenza tra i due tipi di prova, si deve tuttavia considerare che il pompaggio, per le modalità di esecuzione, fornisce un risultato che è riferibile all'intero spessore dell'acquifero interessato, ed i valori ottenuti sono dunque molto meno influenzati dal "fattore umano" e dalla presenza di eventuali livelli fini nei depositi quaternari; mentre le prove Lefranc si riferiscono in particolare alla profondità della "tasca", risentono maggiormente del disturbo arrecato dalla perforazione, e sono più facilmente influenzabili dalla locale presenza di materiale limoso meno permeabile.

L'analisi dei dati a disposizione indica con buona probabilità che la causa delle differenze osservate è attribuibile alle modalità di preparazione della tasca di prova, la quale è realizzata tramite rotazione della corona, approfondendo la perforazione per circa 0.5 m oltre il limite inferiore del rivestimento. Tale rotazione facilita la creazione di uno strato poco permeabile, dovuto alla compattazione della matrice

limoso-sabbiosa praticamente sempre presente nei depositi quaternari attraversati. La procedura della prova Lefranc non permette la rimozione dello strato compattato alla superficie della tasca, che perciò può influenzare il risultato della prova.

La prova di pompaggio, realizzata in foro appositamente sviluppato con tubazione di rivestimento filtrante e sottoposto successivamente alle operazioni di spurgo, non risente di questa locale alterazione granulometrica superficiale e permette di valutare in maniera più attendibile il grado di permeabilità dei terreni.

Le prove di pompaggio sono state ritenute quindi più attendibili per la definizione dei parametri idrodinamici dei depositi quaternari, sede dell'acquifero superficiale.

La permeabilità stimata caratteristica dei depositi quaternari del complesso idrogeologico ghiaioso-sabbioso assume valori compresi tra  $2 \cdot 10^{-3}$  m/s e  $3 \cdot 10^{-4}$  m/s, con una porosità efficace variabile da 15% a 30%.

La figura seguente riporta l'ubicazione delle prove distinte per opera e tipologia.

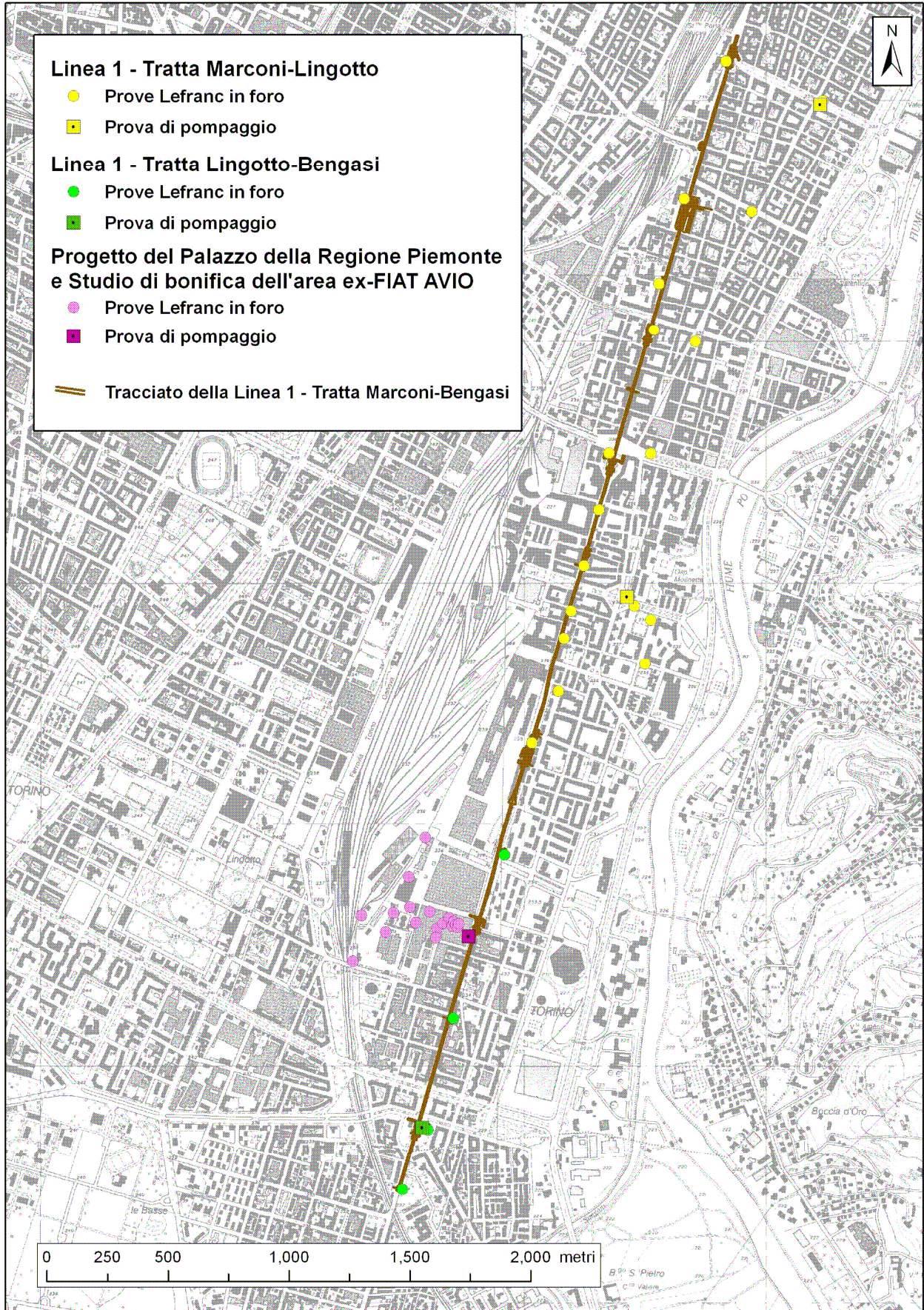


Figura 7-2: ubicazione delle prove di permeabilità.

## 7.6 Modello idrogeologico di riferimento

La sottostante figura 7.3 riporta una carta delle isopiezometriche della falda superficiale, elaborata in fase di PD e confermata dai dati a oggi disponibili. L'aggiornamento della parte relativa all'opera in progetto (tratta Lingotto - Bengasi), ha confermato sostanzialmente le ipotesi del modello di circolazione idrica sotterranea concepite durante la progettazione della tratta precedente, e qui di seguito riportate.

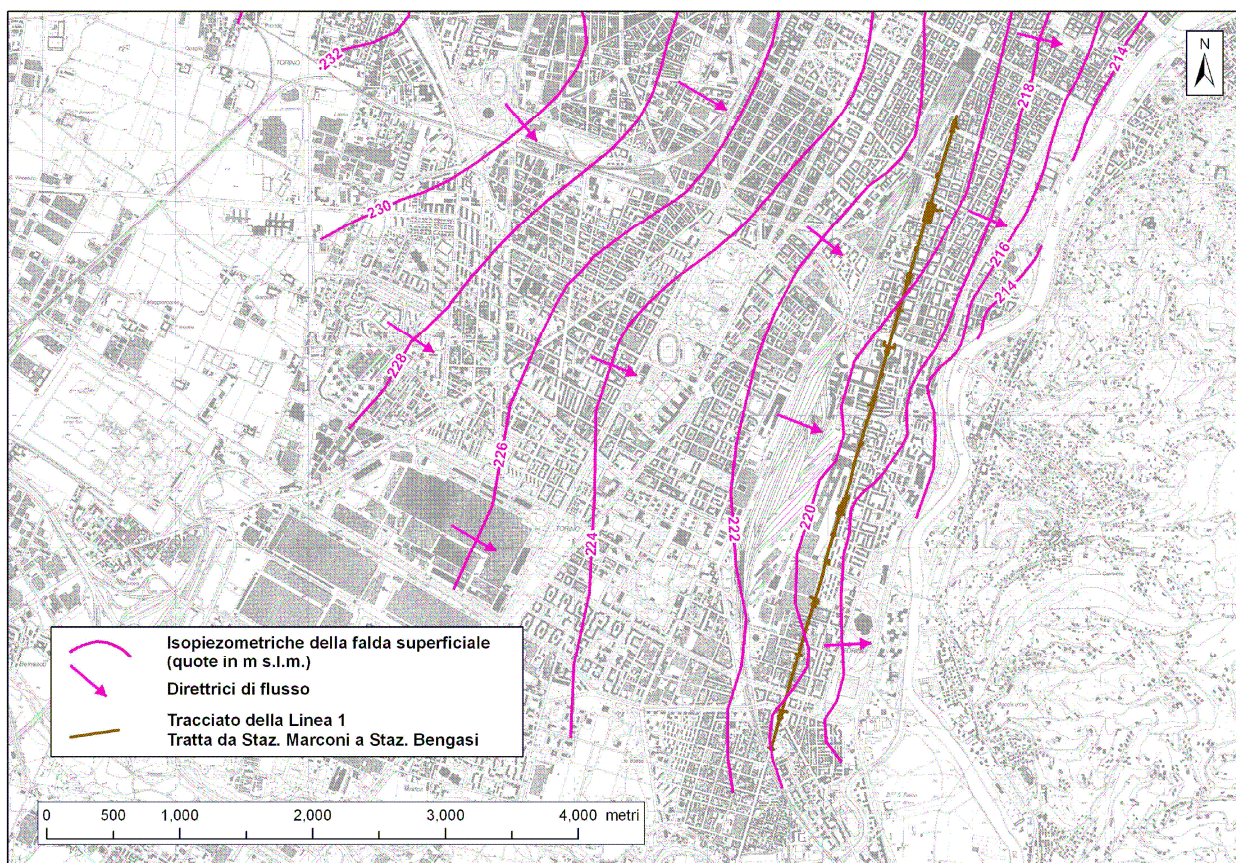


Figura 7-3: piezometria della falda superficiale ed indicazione delle direttrici di flusso.

L'acquifero superficiale è alimentato principalmente dagli apporti provenienti da Ovest, considerando che l'infiltrazione, sul territorio urbano di Torino, è di solito intercettata dalla rete di drenaggio superficiale. Gli studi eseguiti da Bortolami, De Luca e Filippini (1990, doc. rif. [23]) definiscono biunivoci rapporti tra la falda superficiale ed 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 prevalente del flusso è ESE (120°N), con variazioni locali in funzione del grado di permeabilità dei depositi, che si manifestano con zone di convergenza (o divergenza) delle direttrici di flusso.

Il gradiente idraulico della falda superficiale varia da 0.25% (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.

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). In tal caso, l'incremento pluriennale consiste generalmente in +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 il livello della falda storica sarebbe 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; data l'assenza di dati affidabili sul resto del territorio urbano, si deve ipotizzare che le condizioni generali di deflusso non siano variate nel corso delle epoche storiche, e che perciò 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, hanno determinato un innalzamento della falda che, in via teorica, avrebbe dovuto riallinearsi ai livelli dell'ottocento. I dati recenti mostrano tuttavia che l'effetto di innalzamento indotto dalla dismissione dei pozzi collegati alle attività produttive si è praticamente annullato, in quanto l'urbanizzazione del territorio ha modificato le condizioni di infiltrazione fino ad azzerare la ricarica diretta del sottosuolo di Torino. Gran parte dell'acqua che cade sul territorio urbano è intercettata dalla rete di drenaggio delle acque bianche, e convogliata nel fiume Po.

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 della città.

Il dato del livello di falda storica è stato comunque tenuto in conto per la definizione della quota di falda superficiale in fase di esercizio dell'opera (lungo termine).

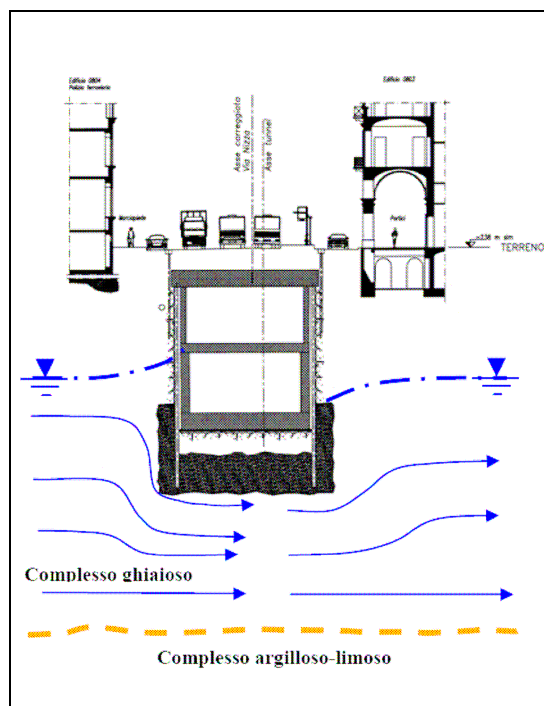
### **7.7 Interferenze delle strutture sull'acquifero superficiale**

La direzione di flusso della falda, per quanto indicato al paragrafo precedente, risulta circa ortogonale alla direzione del tracciato del tratto di prolungamento della Linea metropolitana 1 in oggetto; i manufatti sotterranei previsti in progetto raggiungono profondità anche superiori a quelle della galleria di linea.

Si ricorda inoltre che nell'area immediatamente adiacente alla via Nizza, sul lato Ovest, nel tratto corrispondente alla stazione Italia 61 (a "monte" rispetto alla direzione di flusso idrico sotterraneo) è prevista la costruzione di importanti infrastrutture, di cui il Palazzo della Regione costituisce quella più rilevante.



A causa dell'effetto di riduzione della sezione idraulica determinata dalle opere di fondazione, si verifica un'interferenza tra il flusso idrico sotterraneo e queste ultime, con un "effetto barriera" (vedi figura 7-4) che produce un innalzamento del carico idraulico a monte (rispetto alla direzione di flusso) ed un abbassamento a valle della struttura, per deficit e a parità di altre condizioni, generalmente di entità inferiore rispetto al rigurgito di monte.



**Figura 7-4:** schema delle potenziali variazioni di flusso indotto dalla presenza di manufatti interferenti con la falda superficiale.

L'interferenza indotta è stata simulata dal Progettista del Progetto Definitivo (Rel. MTL1T4A0DGEOPENR001) tramite l'elaborazione di un modello numerico tridimensionale basato su un calcolo "alle differenze finite" implementato mediante il codice di calcolo MODFLOW (McDonald e Harbaugh, USGS 1988, 1996), nella versione attivata in un apposito software dedicato alla simulazione dei sistemi acquiferi (GMS 3.1 Groundwater Modeling System, Boss International, 2001), in grado di sviluppare analisi geostatistiche utilizzando diversi metodi di interpolazione.

Il modello ha considerato la zona della stazione in progetto Italia '61, tenendo conto anche delle strutture del Palazzo della Regione previsto immediatamente a Ovest e delle opere provvisorie e consolidamenti necessari.

E' stata modellata la geometria dei complessi geologici superiori e del tetto del substrato pliocenico (unità 6 sugli elaborati geologici e geotecnici allegati al presente PE, in conformità e continuità con la denominazione di PD), ricostruito sulla base delle indagini disponibili. E' stato modellato anche il livello sabbioso-limoso giacente al tetto del substrato stesso, indicato come unità 2b negli elaborati competenti.

Alle varie unità sono stati assegnati valori di permeabilità desunti dai dati e indagini disponibili, secondo quanto descritto nei paragrafi precedenti; e sono state in seguito introdotte variazioni locali in tali valori, o

barriere impermeabili, per simulare gli interventi di consolidamento e la realizzazione delle opere provvisionali e delle strutture previste (diaframmi, eccetera).

Allo scopo di valutare il grado di interferenza prodotto sia a medio che a lungo termine, sono stati quindi considerati diversi scenari, e in particolare:

1. costruzione della Stazione Italia 61 e delle opere provvisorie;
2. costruzione della Stazione Italia 61 e del Palazzo della Regione.

In relazione ai due scenari citati, i risultati indicano che la realizzazione della sola Stazione Italia 61 e delle opere provvisorie per la fase costruttiva, determinano incrementi del flusso a monte valutati in  $+0.2 \div +0.3$  m sulla paratia. La costruzione di entrambe le opere determina invece un'alterazione del livello di falda che si manifesta in un'anomalia negativa in corrispondenza della Stazione Italia 61 (abbassamento) sulla paratia di monte flusso; mentre il lato monte flusso del Palazzo della Regione registra un innalzamento valutato dal modello in  $+0.2$  m. Questo effetto sulla stazione è causato dall'azione di "schermo" esercitata localmente dalla fondazione del Palazzo della Regione.

Tenendo conto delle semplificazioni che inevitabilmente un modello numerico deve adottare, ed optando per un approccio conservativo, si può comunque presumere che le interferenze, negative o positive a seconda degli scenari considerati, corrispondano a valori inferiori a 0.5 m, sostanzialmente paragonabili al ciclo annuale di escursione della falda.

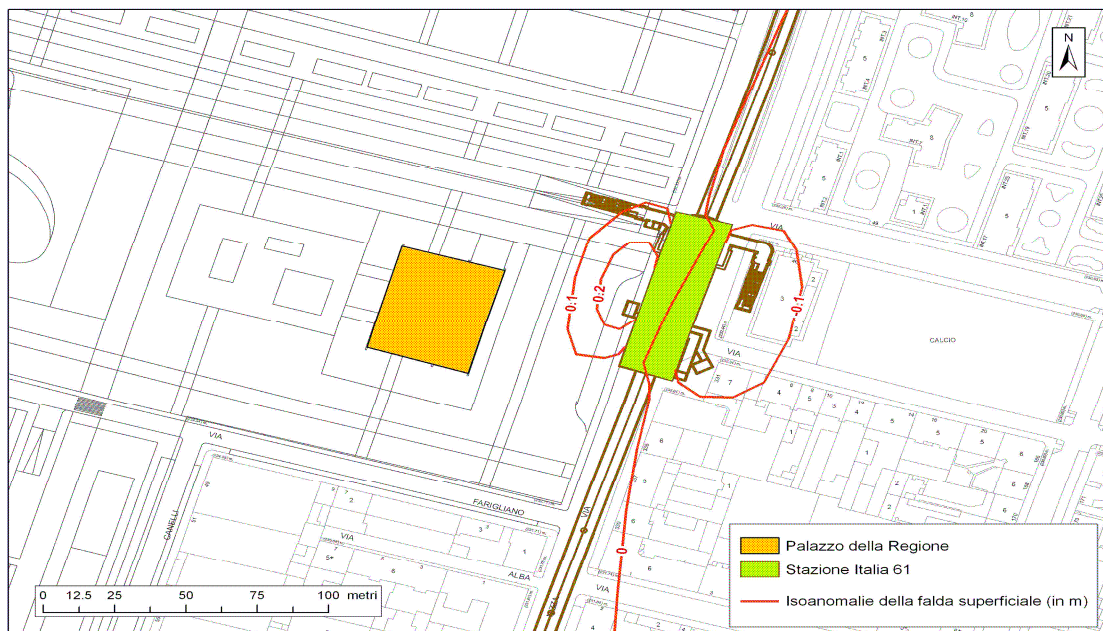


Figura 7-5: isoanomalia generate dalla costruzione della Stazione Italia 61 (da modello di calcolo del PD)

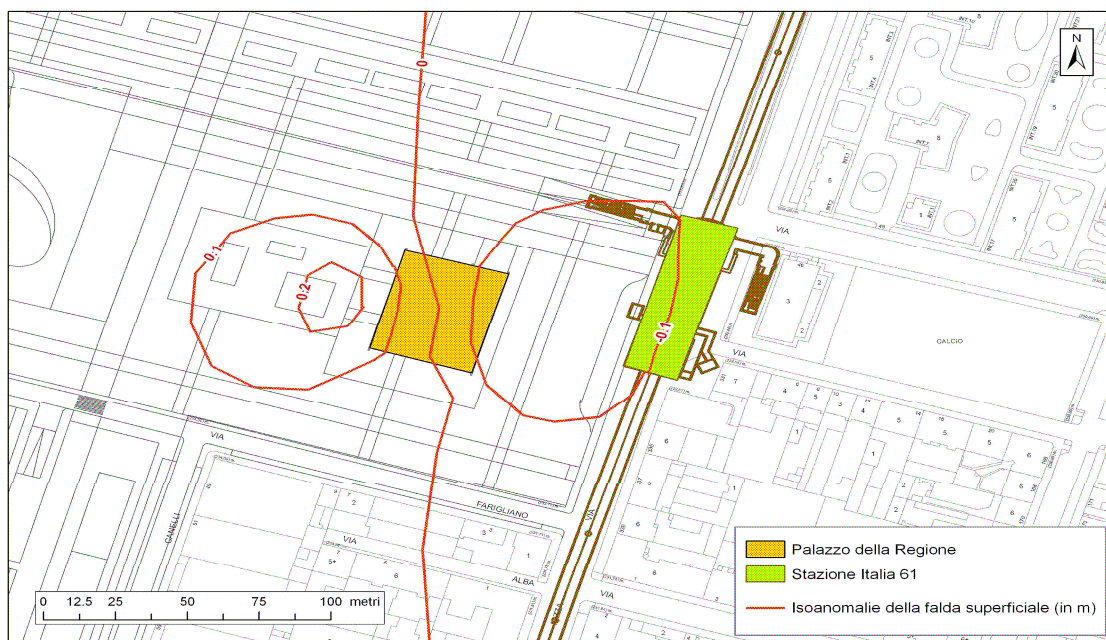


Figura 7-6: isonomalie generate dalla costruzione della Stazione Italia 61 e del Palazzo della Regione (da modello di calcolo del PD)

## 7.8 Valori progettuali del livello di falda

La necessità di definire un livello di falda superficiale che tenga conto delle possibili variazioni, sia in fase costruttiva che in fase di esercizio dell'opera, si basa sulle valutazioni qualitative e quantitative espresse nei paragrafi precedenti.

In linea generale, il livello di riferimento della falda superficiale (definito sulla base dei dati di monitoraggio) è stato incrementato di un differenziale variabile in funzione delle diverse fasi di realizzazione.

### 7.8.1 Fase costruttiva

Considerando le tempistiche della fase di costruzione dell'opera, i fattori che influenzano la definizione dell'incremento da adottare sono sostanzialmente quelli legati agli input di ricarica stagionali ed ai cicli pluriennali di elevate precipitazioni meteoriche. Come evidenziato nel paragrafo 7.5, un periodo pluriennale d'elevata piovosità può determinare un incremento del livello di falda di poco superiore al metro. Occorre inoltre ricordare come il livello di falda di riferimento risenta delle scarse precipitazioni del periodo autunnale ed invernale.

Pertanto, si assume il livello di falda per la fase costruttiva dell'opera come: quota di riferimento + 2m.

### 7.8.2 Fase di esercizio

Data la mancanza di una serie di dati storici sufficienti per definire la variazione del livello della falda superficiale nel tempo, la scelta della quota di riferimento per la fase d'esercizio è basata sui valori della falda "storica". La presenza di opere interferenti con il regime di falda, determina un ulteriore incremento

lungo il bordo a monte (rispetto al flusso) dei manufatti, sebbene di entità ridotta. Tale incremento è stato calcolato con un modello numerico di simulazione di flusso.

Pertanto, si assume il livello di falda per la fase di esercizio dell'opera come: quota di riferimento + 5m.

I valori progettuali del livello di falda in relazione alle due diverse fasi citate sono riportati nei profili geologico e geotecnico già citati.