0	02/2017	Emissione	Fresia	Pesce	Venturini
Revisione	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato

COMUNE DI GENOVA

OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL RIO NOCE NEL TRATTO COMPRESO TRA LA SCUOLA D'INFANZIA DELIA REPETTO IN SALITA SUPERIORE DELLA NOCE ED IL POZZO CARENA MEDIANTE REALIZZAZIONE DI UNA GALLERIA BY-PASS

AREA TECNICA - DIREZIONE OPERE IDRAULICHE E SANITARIE

Dirigente **Ing. Stefano PINASCO**

PROGETTISTI:

A.T.I.

TECHNITAL S.p.A. (Capogruppo mandataria)

STUDIO MAJONE INGEGNERI ASSOCIATI

SGI STUDIO GALLI INGEGNERIA S.r.l.

RESPONSABILE UNICO PROCEDIMENTO **Ing. Stefano PINASCO**

Staff tecnico

TECHNITAL S.p.A. (Capogruppo mandataria)
Ing. S. Venturini

STUDIO MAJONE INGEGNERI ASSOCIATI
Ing. D Cerlini - Ing. M. Ferrari

SGI STUDIO GALLI INGEGNERIA S.r.l.
Ing. A.Galli

Oggetto della tavola

GEOLOGIA E GEOTECNICA

GEOLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

Elaborato
TECHNITAL S.p.A.

Dott. Ing. Simone Venturini

Scala
- - -

Data
Febbraio 2017

Progetto Esecutivo

Tavola N° PE.RG.101

Codice GULP	Codice Commessa Precedente	Revisione
12383	DSU100	0

I DISEGNI E LE INFORMAZIONI IN ESSI CONTENUTE SONO PROPRIETA' ESCLUSIVA DEL COMUNE DI GENOVA E NON POSSONO ESSERE MODIFICATI, RIPRODOTTI, RESI PUBBLICI O UTILIZZATI PER USI DIFFERENTI DA QUELLI PER CUI SONO STATI REDATTI, SALVO AUTORIZZAZIONE SCRITTA.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

I N D I C E

1. INTRODUZIONE 5

2. OGGETTO E SCOPO DEL LAVORO 9

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 10

4. DOCUMENTAZIONE DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE 11
   4.1. Piano di bacino stralcio del Torrente Bisagno. 11
   4.2. Piano Urbanistico Comunale. 19

5. GEOLOGIA 23
   5.1. Assetto geologico regionale 23
   5.2. Assetto geologico locale 25
      5.2.1. Le Argilliti di Montoggio 28
      5.2.2. Flysch di Monte Antola 29
      5.2.3. Le Argille di Ortovero 32
      5.2.4. Depositi alluvionali 35
      5.2.5. Coltri detritiche eluvio-colluviali 36
      5.2.6. Depositi di spiaggia 36
      5.2.7. Materiale di riporto 36

6. GEOMORFOLOGIA 38
   6.1. Geomorfologia del by pass del Rio Noce. 40

7. IDROGEOLOGIA 45
   7.1. Idrogeologia del by pass Rio Noce. 47

8. INDAGINI GEOGNOSTICHE 51
   8.1. Indagini pregresse 51
   8.2. Indagine del 2016 54
   8.3. Risultati 59

9. SISMICITA' 65
   9.1. Liquefazione dei terreni 76

10. IL BY PASS DEL RIO NOCE 77
   10.1. Modello stratigrafico e idrogeologico di riferimento 81
   10.2. Interazione opere terreni 85

11. CONCLUSIONI 87

12. BIBLIOGRAFIA 89

DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO:

- Geotecnica Veneta s.r.l., 2016. Progetto definitivo scolmatore del torrente Bisagno in Comune di Genova, Primo Lotto 2° stralcio - Opere di sistemazione idraulica del rio Noce – Campagna di indagini geognostiche ed ambientali - Relazione illustrativa, stratigrafie sondaggi, foto cassette, prove in sito, indagini geofisiche (Masw e tomografia elettrica);
- ATI Technital, Artelia, Studio Maione, Studio Galli S.p.A. 2013-2014 – Progetto definitivo scolmatore del torrente Bisagno in Comune di Genova Primo Lotto – Primo stralcio. Realizzazione delle opere per la messa in sicurezza idraulica del torrente Fereggiano (e rivi Rovare e Noce);
- Bellini, Siviglia, Tubino, Masetti, 2012. Relazione di consulenza tecnica procedimento penale 38335/2011/44 presso la procura della Repubblica del Tribunale di Genova.
- ATI Technital, Sogreah, Studio Maione, Studio Galli, 2006. Progetto definitivo dello scolmatore del torrente Bisagno in Comune di Genova. Provincia di Genova.
- Genova Acque S.p.A., 2006. Progetto definitivo per la sistemazione idraulica del rio Noce nel tratto compreso tra la Scuola d'infanzia "Delia Repetto" in Salita Superiore della Noce ed il pozzo Carena all'incrocio tra via Benedetto XV e C.so Europa, ed opere di presidio di edifici situati in Salita Superiore della Noce;
- Barbaro E., 2005. Progetto per la realizzazione di un autosilos interrato in Largo Benzi – Relazione geologica, idrogeologica e sismica;
- Ekki, 2002. Caratterizzazione geomeccanica di sottosuolo in supporto alla progettazione di opere in microtunnelling presso l'area ospedaliera San Martino, Genova.
- ATI Binnie Black & Vetach – Geodata – D'Appolonia, 2000. Canale scolmatore a servizio del Torrente Bisagno in Comune di Genova. Progetto Preliminare. Provincia di Genova.
- Comune di Genova. C.I.L.T (Consorzio Iniziative Liguri – Toscane) 1989. Progetto del deviatore del torrente Fereggiano, redatto dall'ufficio tecnico Italstrade S.p.A. Progettazione idraulica e strutturale: Prof. Ing. Luigi Da Deppo, Prof. Ing. Claudio Datei, Prof. Ing. Guido Furlanetto. Consulente per idrologia e idraulica: Hydro Co (Genova). Consulente per geologia e geomeccanica: Prof. Dott. Alfonso Bellini. Consulente per la parte ambientale: ITER S.r.l. (Genova).
- Comune di Genova. C.I.L.T. (Consorzio Iniziative Liguri – Toscane. Progetto del deviatore del torrente Fereggiano. Perizia di variante tecnica senza aumento di spesa.

- Comune di Genova. C.I.L.T. (Consorzio Iniziative Liguri – Toscane) 1997. Disegni di contabilità del progetto del deviatore del torrente Fereggiano.
- Comune di Genova. Dipartimento VII della programmazione e degli interventi sul territorio. Servizio strade. 1997. Verbale di visita. Relazione e certificato di collaudo relativo ai lavori di rivestimento definitivo della calotta del tratto di galleria del tipo 1 tra le pk 16,25 – 96,83. Collaudatori Prof. Ing. Giorgio Berardi, Prof. Dott. Stani Giammarino, Prof. Ing. Luciano Mascia, Prof. Ing. Sandro Stura. CART. N° 6848.
- Comune di Genova. Dipartimento VII della programmazione e degli interventi sul territorio. Servizio strade 1997. Verbale di visita. Relazione e certificato di collaudo relativo ai lavori di rivestimento definitivo della calotta del tratto di galleria del tipo 2 realizzato mediante fresa full face. Collaudatori Prof. Ing. Giorgio Berardi, Prof. Dott. Stani Giammarino, Prof. Ing. Luciano Mascia, Prof. Ing. Sandro Stura. CART. N° 6768.
- Comune di Genova. Direzione Servizi, 2000. Verbale di visita. Relazione e certificato di collaudo dell'opera. Collaudatori Prof Ing Giorgio Berardi, Prof Dott Stani Giammarino, Prof. Ing. Luciano Mascia, Prof. Ing. Sandro Stura.
- 1980 – 2003. Indagini geognostiche relative a lavori pubblici e privati ricadenti nell'area d'interesse progettuale fornite dalla banca dati del Comune di Genova.
- Torrente Bisagno. Piano di bacino stralcio per la difesa idrogeologica, geomorfologica, per la salvaguardia della rete idrografica e per la compatibilità delle attività estrattive. Provincia di Genova. Dicembre 2001, aggiornamento luglio 2016.
- Piano urbanistico comunale (PUC) di Genova. Marzo 2000.
- Atlante cartografico geologico del territorio del Comune di Genova. Comune di Genova - Regione Liguria - AMGA.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 Foglio 183 "Rapallo" e note illustrative. Servizio geologico.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 Foglio 213 – 230 "Genova" e note illustrative. APAT.

SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL RIO NOCE

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Codice	Titolo
PE.RG.102	Relazione sulle indagini geognostiche per la progettazione esecutiva
PE.DS.105	Planimetria generale con ubicazione delle indagini
PE.RG.103	Risultati indagini geognostiche pregresse
PE.RG.104	Stratigrafie sondaggi, risultati prove in sito e documentazione fotografica
PE.RG.105	Prove di laboratorio geotecnico
PE.RG.106	Prove di laboratorio ambientale

GEOLOGIA E GEOTECNICA

Codice	Titolo
PE.DS.101	Carta geologica
PE.DS.102	Carta geomorfologica
PE.DS.103	Carta idrogeologica
PE.DS.104	Profilo geologico
PE.RG.107	Relazione geotecnica e geomeccanica
PE.DS.107.	Profilo geotecnico - geomeccanico

1. INTRODUZIONE

Il Rio Noce è un corso d'acqua che, provenendo dal rilievo in cui sorge il forte di Santa Tecla, con un percorso avente orientazione prevalente NE-SW raccoglie le acque meteoriche dei bacini imbriferi in esso confluenti prima di immettersi nel Rio Rovare. All'altezza di Corso Casaregis il Rovare piega bruscamente a sud procedendo, con decorso parallelo al torrente Bisagno, verso lo sbocco a mare che avviene all'inizio di Corso Italia.
L'espansione urbanistica della città di Genova ha portato, in un periodo a cavallo fra fine 1800 e il 1900, a tombare buona parte dei corsi d'acqua; non fa eccezione il bacino del Rio Noce, specie nell'area in studio che comprende il triangolo fra Corso Europa, via Benedetto XV e la Salita Superiore del Noce (figura 1.1) dove la struttura interrata risulta generalmente costituita da un ovoide largo circa 1 m e alto circa 1,5 m realizzato attorno al vecchio alveo del torrente. Il manufatto è caratterizzato da una volta in mattoni pieni e pareti in calcestruzzo o muratura in pietra; il fondo è in cls o roccia in posto.

Negli ultimi anni la vetustà di questo manufatto e la relativa tipologia costruttiva hanno reso necessari interventi di manutenzione, o di vera e propria ricostruzione, consistiti per lo più nel rivestimento dei tratti maggiormente ammalorati, o nel rifacimento di porzioni crollate, mediante posa di un "liner" interno costituito da elementi in lamiera ondulata zincata. In particolare lo stato di conservazione del tratto compreso tra la Scuola d'infanzia "Delia Repetto" ed il Pozzo Carena è andato sempre più deteriorandosi, con anche crolli della volta e/o delle pareti che hanno ostacolato il naturale funzionamento idraulico e inflitto danni agli edifici circostanti e/o soprastanti. Tale situazione, associata agli intensi eventi meteorici di questi ultimi anni che si sono sempre più moltiplicati come intensità e frequenza, ed aggravata dalla continua espansione del tessuto urbano che determina un incremento delle porzioni di territorio non permeabili, ha generato condizioni di funzionamento in pressione, rigurgiti e fuoriuscite d'acqua con allagamenti e danni ad edifici e scantinati, alcuni dei quali collegati idraulicamente allo scatolare del Rio Noce, fra cui i laboratori degli Ospedali S. Martino, piani interrati degli istituti universitari, la scuola Materna Delia Repetto, il Dipartimento Anziani e Penitenziari della ASL, garage e piani terra privati posti alle quote topograficamente più basse etc.

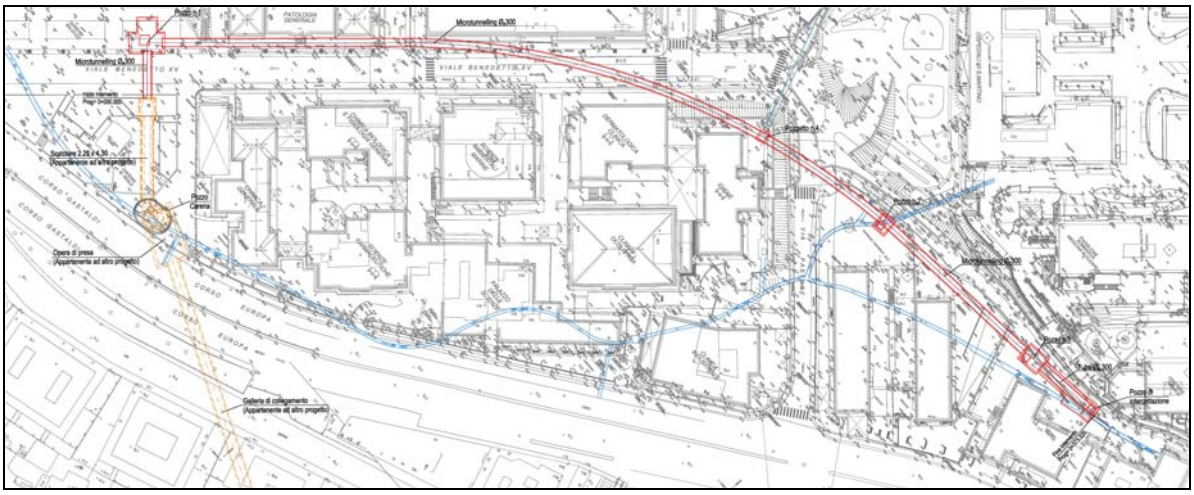

Figura 1.1 Planimetria generale dell'intervento (colore rosso) con evidenza del tracciato del Rio Noce (tombato) e relativi immissari.

Considerato che i succitati disservizi sono evidentemente destinati a peggiorare nel tempo l'amministrazione comunale ha ritenuto necessario intervenire radicalmente prevedendo la realizzazione di un'opera di by-pass del Rio Noce nel tratto compreso fra l'opera di presa all'altezza della scuola Repetto, in Salita Superiore della Noce, e il pozzo Carena nei giardini Reale.
L'opera s'inserisce in un contesto dove numerose sono le interferenze fra cui in particolare sotto-servizi interrati, il costruendo parcheggio sotterraneo di Piazzale Benzi, gli Ospedali Civili, lungo Salita Superiore della Noce la scuola d'infanzia Delia Repetto, alcuni condomini a più piani, una centrale termica ed una vecchia ciminiera, e ancora lungo via Benedetto XV una serie di istituti universitari fra cui Chimica Biologica e Fisiologia generale, Scienze Ambientali e Marine, Dermatologia Clinica, Igiene, Patologia Generale ed altri.

Per la realizzazione del by-pass del torrente Noce l'elevata antropizzazione del tratto di territorio in studio ha comportato il ricorso ad una galleria, avente diametro esterno di 3.000 mm, interno di 2.500 mm, realizzata con tecnica del microtunneling. Il tracciato in progetto si sviluppa per complessivi 330 m circa, di cui 315 m compresi fra il pozzo di lancio (P1) in corrispondenza dei Giardini Balduzzi e l'opera di intercettazione in salita Superiore della Noce, ed ulteriori 15 m circa dallo stesso pozzo P1 fino a raggiungere i Giardini Reale sottopassando via Benedetto XV.
Dal pozzo P1 la galleria si sviluppa a margine di Viale Benedetto XV fino all'istituto di Dermatologia raggiunto il quale piega, rimanendo a valle del costruendo parcheggio in-

terrato di largo Benzi, verso la Salita Superiore della Noce dove raggiunge il pozzo di recupero (P3) della macchina e l'opera di intercettazione nel cortile della "Scuola d'Infanzia Delia Repetto".
A valle di piazzale Benzi è posizionato il pozzo P2, che garantisce il collegamento fra il by pass del Rio Noce e uno scatolare interrato che raccoglie le acque provenienti dall'area ospedaliera. Infine nel cortile dell'istituto d'igiene è ubicato il piccolo pozzo P4 che convoglia in galleria le acque bianche provenienti dalla zona della Clinica Chirurgica e quelle dell'area universitaria a valle di Viale Benedetto XV.
Nei giardini Reale un separato appalto prevede la realizzazione di una struttura scatolare fra micropali che completa il collegamento fra il pozzo P1 e il pozzo Carena, dove viene nuovamente intercettato l'attuale scatolare del Rio Noce e dove si innesta la galleria di collegamento con lo scolmatore del Rio Fereggiano, attualmente in fase di scavo.
Il tracciato planoaltimetrico è definita dal connubio fra esigenze idrauliche e la necessità di evitare/ minimizzare le interferenze con edifici e sottoservizi mantenendo l'opera, ove possibile, all'interno dei terreni del substrato e in corrispondenza, o a margine, di viabilità esistente senza passare mai al di sotto degli edifici. Le coperture variano da un minimo di 5 m ad un massimo di 10 m, con 130 m di sviluppo in rettilineo e 185 m con raggio di curvatura di 250 m.

Il lavoro ha preso avvio attraverso una raccolta dati ed informazioni disponibili riguardanti l'areale in studio.
Per un primo inquadramento è stata consultata la Carta Geologica d'Italia, foglio 84 "Genova" con relative note illustrative, ed il foglio 213 "Genova" della più recente Carta Geologica d'Italia in scala 1.50.000, prodotta dall'APAT nel 2008. Un'ulteriore livello di dettaglio è ottenuto dalla documentazione allegata al Piano di Bacino del Torrente Bisagno ed al Piano Urbanistico Comunale (PUC) di Genova.
Successivamente sono state reperite le stratigrafie di sondaggi relativi a progetti distribuiti lungo l'asse progettuale fra cui in particolare:

- indagini eseguite per la progettazione della galleria del deviatore del Fereggiano nel 1989 da Radelli e Castelletti per conto di ITALSTRADE;
- indagini eseguite nel 1999 e nel 2005 per la progettazione del parcheggio interrato di Largo Benzi;
- indagini eseguite nel 2002 nell'ambito del Progetto Definitivo dell'intervento di sistemazione idraulica del Rio Noce redatto nel novembre 2006 dalla società AMGA su incarico del Comune di Genova;

- indagini eseguite dagli scriventi nel 2005 nell'ambito della progettazione delle gallerie del deviatore del Rio Fereggiano e dello scolmatore del Bisagno;
- indagini eseguite nel 2015 dalla ditta PAC per la progettazione esecutiva del deviatore del Rio Fereggiano;
- indagini eseguite nel 2016 specificamente finalizzate alla progettazione esecutiva del by pass del Rio Noce.

Ad integrazione del quadro conoscitivo nella primavera del 2016 sono stati condotti accurati sopralluoghi e rilievi all'interno del pozzo Carena, dello scatolare del Rio Noce e dei collettori in esso convergenti, nonché rilievi topografici di superficie lungo l'intera area in studio.

2. OGGETTO E SCOPO DEL LAVORO

Il presente documento, unitamente agli elaborati grafici che lo accompagnano, costituisce la relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica a corredo del Progetto Esecutivo della sistemazione idraulica del Rio Noce nel tratto compreso tra la Scuola Repetto, in salita Superiore della Noce, ed il pozzo Carena nei giardini Reale a Genova.

Oggetto del lavoro è la descrizione delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geomorfologiche e sismiche delle aree interessate dai lavori.

Scopo del lavoro è l'identificazione dei terreni presenti nell'area di stretto interesse progettuale, le definizione del modello geologico e idrogeologico del sottosuolo, la descrizione degli aspetti relativi alla sismicità, litologia, struttura, idrogeologia, geomorfologia, la valutazione della prevista interazione opere terreni e del livello di pericolosità geologica in relazione agli interventi previsti.
Il quadro informativo disponibile illustrato nel testo, ed integrato dagli elaborati grafici allegati, permette di rappresentare tutta la gamma di informazioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche finalizzate alla corretta progettazione delle opere.

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto Ministero dei Lavori Pubblici n. 47 (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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998).
- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483 "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. Istruzioni per l'applicazione". (Pres. Cons. Superiore — Servizio Tecnico Centrale).
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 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 (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);
- Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14/01/2008 pubblicate sulla G.U. n° 29 del 04.02.2008.
- Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 14/01/2008. Circolare 02/02/2009 n° 617 C.S.LL.PP.

4. DOCUMENTAZIONE DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

4.1. Piano di bacino stralcio del Torrente Bisagno.

L'area in studio è inclusa nel foglio 21360 in scala 1.10.000 di cui alla cartografia del Piano di Bacino Stralcio del Torrente Bisagno.

Nella carta geologica e geolitologica, di cui uno stralcio è rappresentato in figura 4.1, sono indicati termini prevalentemente argillosi perimetrati da un sistema di faglie. All'esterno di tale reticolo sono cartografati calcari marnosi e, assai più limitatamente e comunque fuori dalle aree d'interesse progettuale, depositi alluvionali.

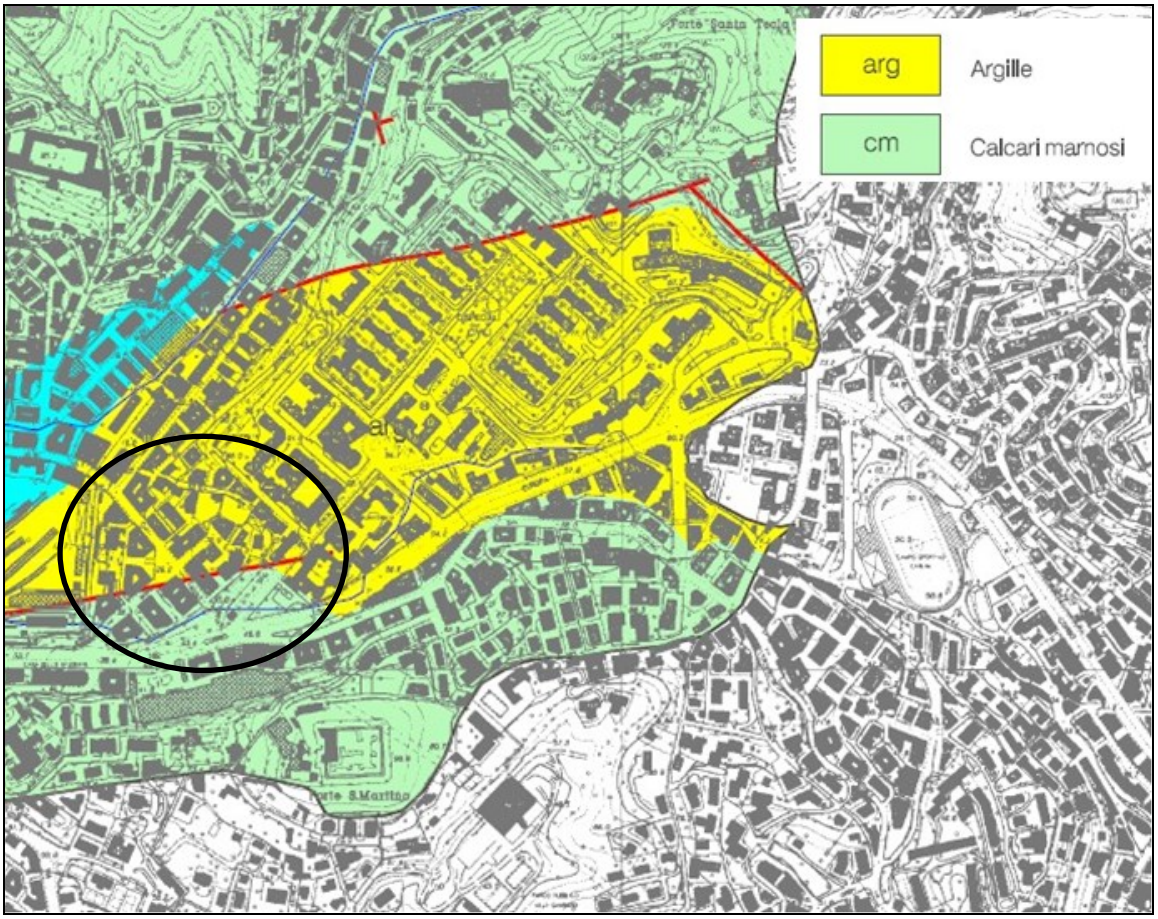

Figura 4.1 Stralcio Carta Geolitologica del Piano di bacino del T. Bisagno

La carta del reticolo idrografico di cui alla figura 4.2 riporta la porzione centrale e meridionale del Rio Noce, avente orientazione NE-SW, confluente nel Rio Rovare. Superato il fascio di binari il Rio Rovare piega, con una curva e un tracciato che ne tradiscono

l'antropizzazione, decisamente verso sud proseguendo al di sotto di via Casaregis sino allo sbocco a mare.

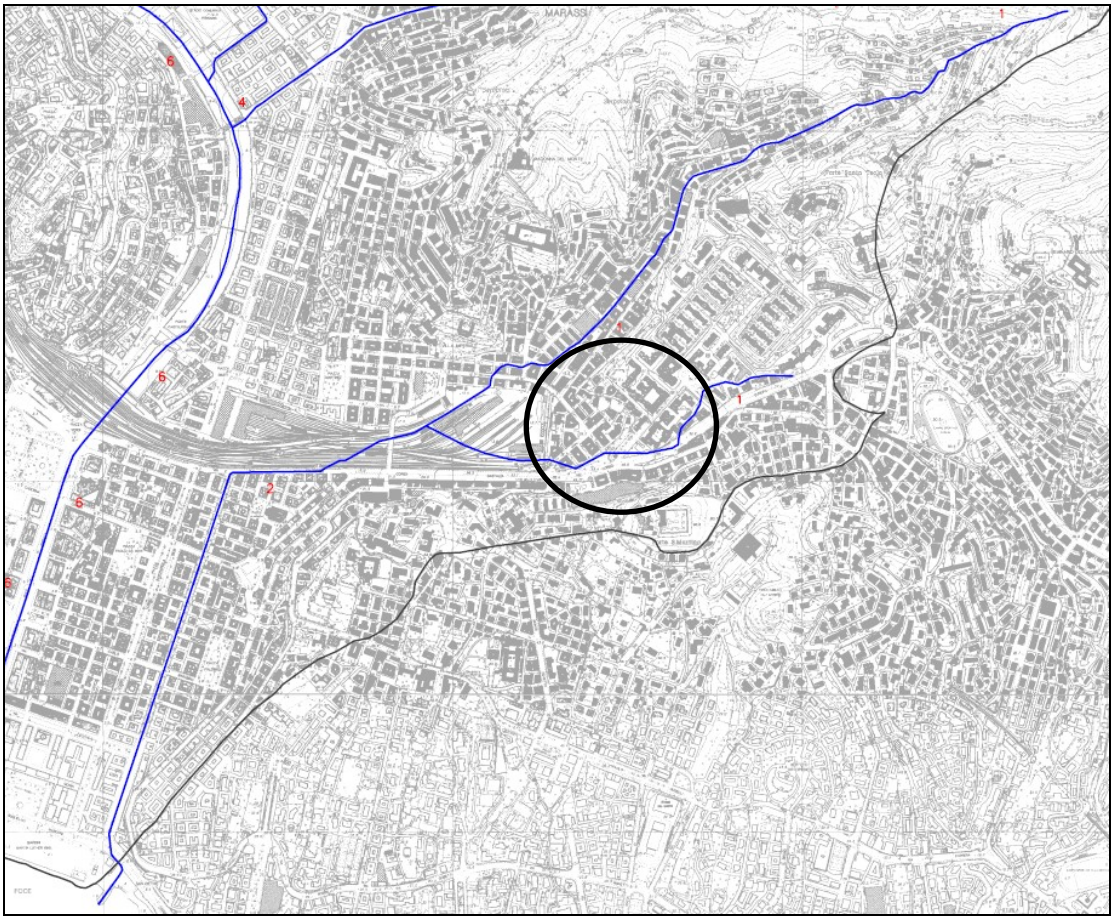

Figura 4.2 Stralcio Carta del reticolo Idrografico del Piano di bacino del T. Bisagno

Dalla carta idrogeologica, rappresentata in figura 4.3, risultano diffusi terreni impermeabili in un contesto francamente urbanizzato. Esternamente ai sistemi di faglie il substrato calcareo marnoso risulta permeabile per fratturazione, comunque ricoperto da un urbanizzato sostanzialmente impermeabile. Entro e nell'intorno dell'area rappresentata non sono riportati pozzi o sorgenti.

Dalla carta degli elementi di rischio di figura 4.4 l'intera area è classificata E3: "centri urbani, grandi insediamenti industriali e commerciali, beni architettonici storici e artistici".

Dalla carta dei principali vincoli territoriali, di figura 4.5, non risulta alcun elemento o perimetrazione; in particolare l'area in studio non è sottoposta a vincolo idrogeologico e non interessa siti di interesse comunitario o parchi.

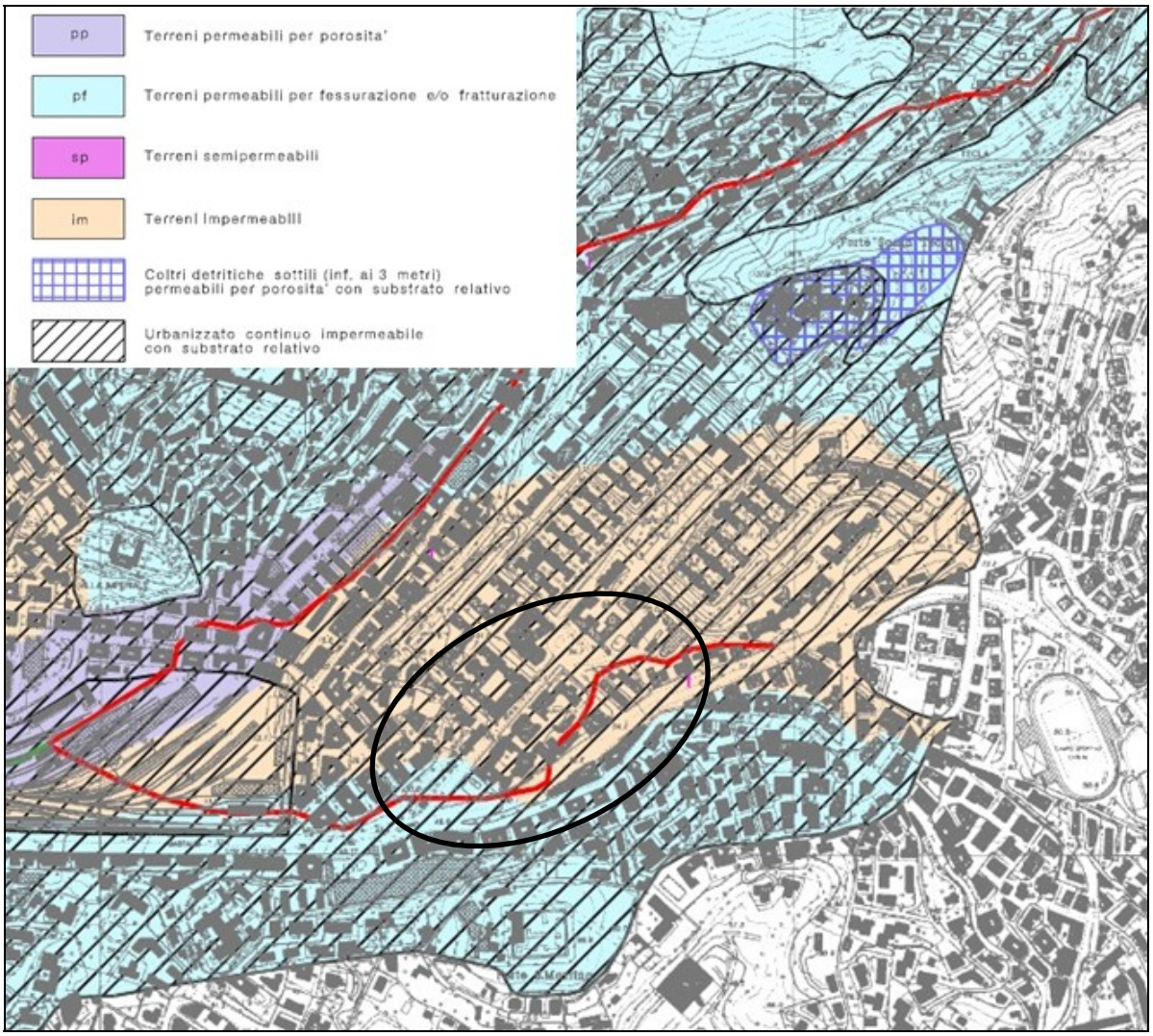

Figura 4.3 Stralcio Carta idrogeologica del Piano di bacino del T. Bisagno

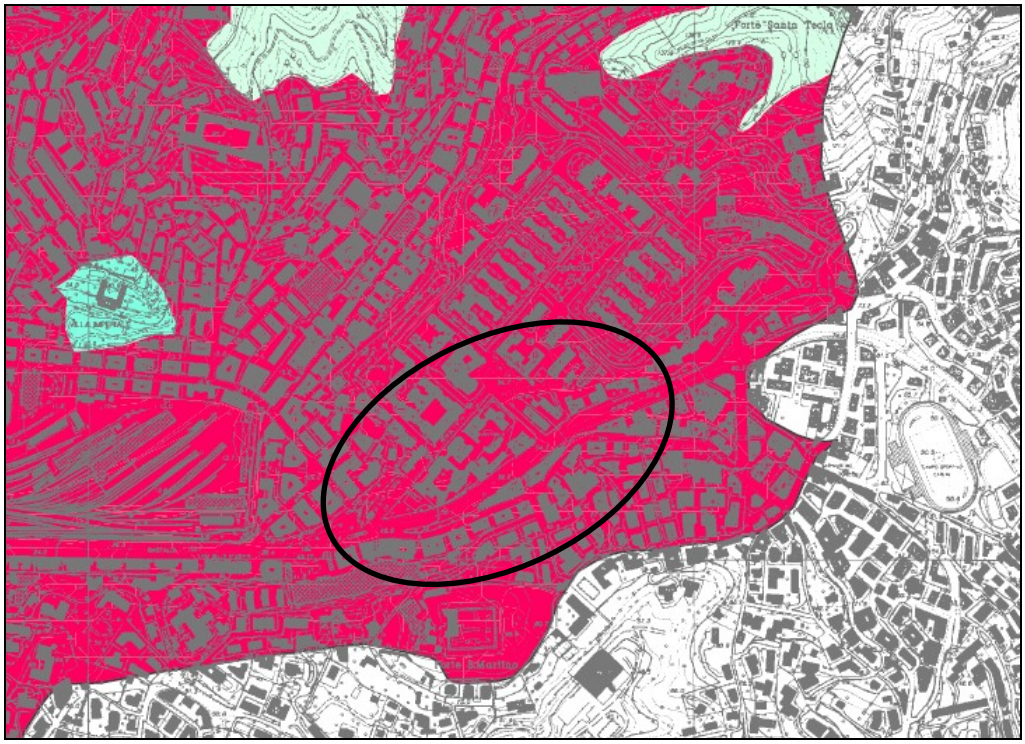

Figura 4.4 Stralcio Carta degli elementi di rischio del Piano di bacino del T. Bisagno.
Area E3 centri urbani.

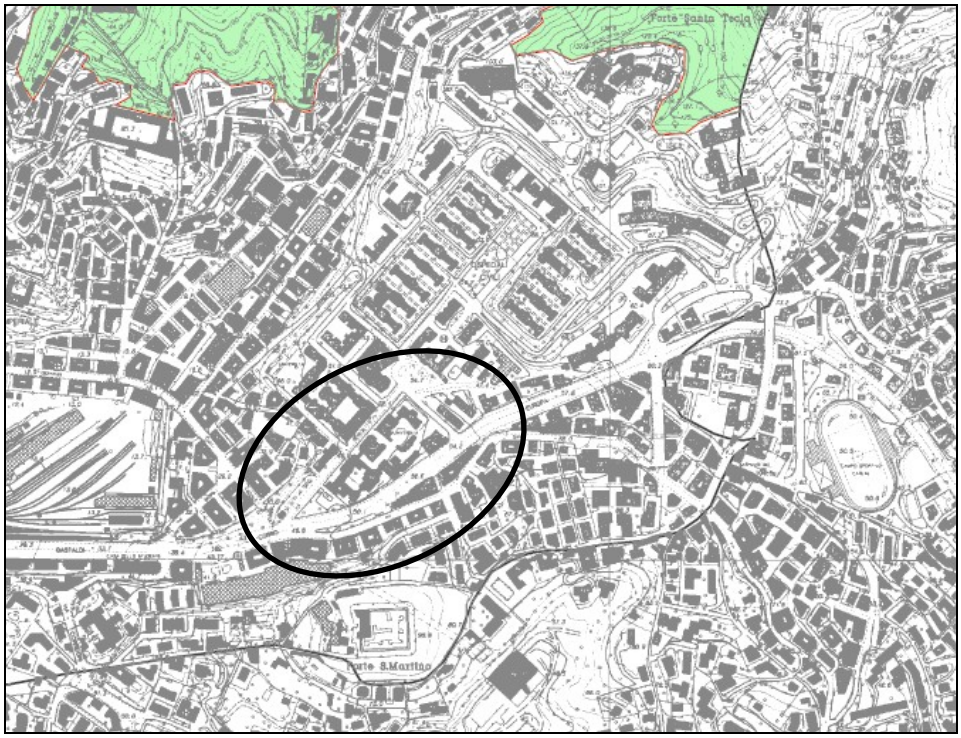

Figura 4.5 Stralcio Carta dei principali vincoli territoriali del Piano di bacino del T. Bisagno.

Dalla carta geomorfologica di figura 4.6 risulta un contesto privo di connotazioni naturali per effetto di una marcata e diffusa antropizzazione.

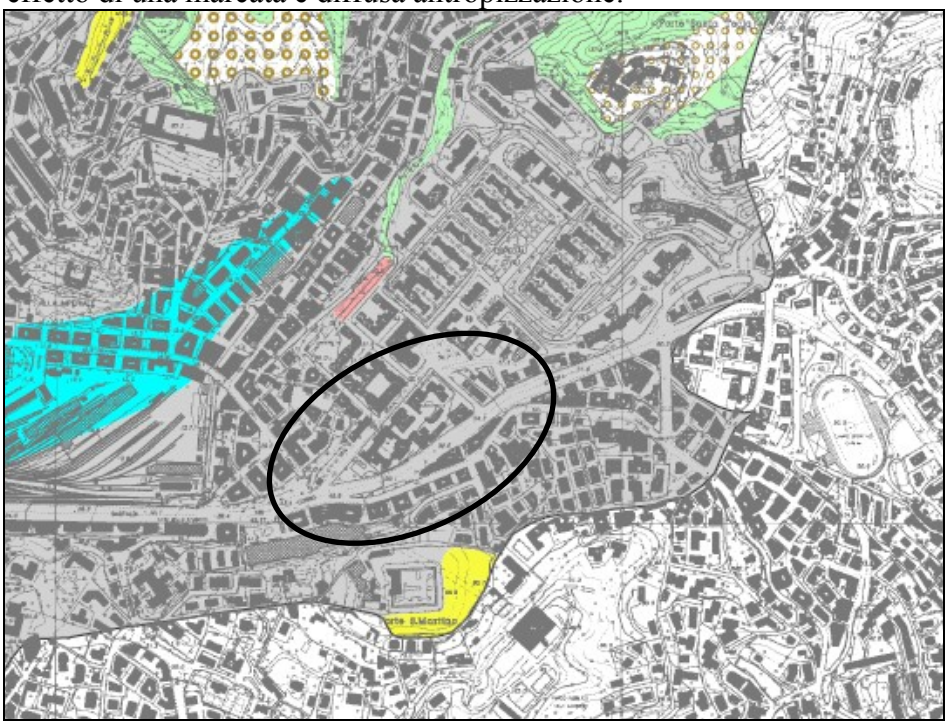

Figura 4.6 Stralcio Carta geomorfologica del Piano di bacino del T. Bisagno.

La carta della franosità reale di figura 4.7 non riporta alcun elemento di attenzione in un intorno significativo.

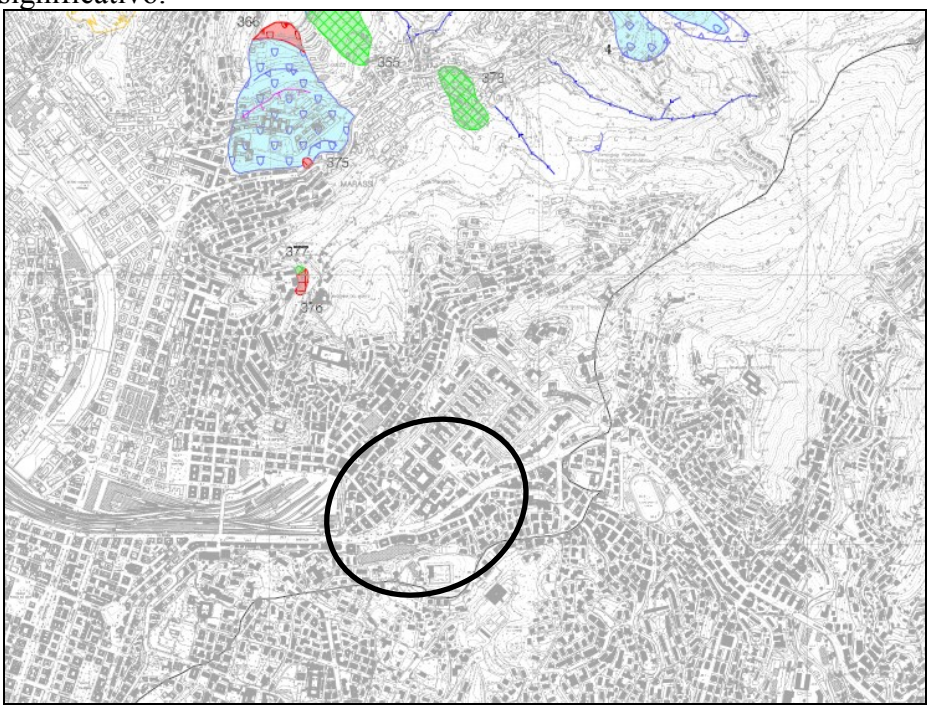

Figura 4.7 Stralcio Carta della franosità reale del Piano di bacino del T. Bisagno.

La carta della suscettività al dissesto di figura 4.8 riporta una classe di rischio generalmente media nelle aree di previsto affioramento o subaffioramento dei termini argillosi, ed una classe bassa limitatamente alla zona dei giardini Reale dove si prevede la presenza di litotipi calcareo marnosi (vedi figura 4.1).

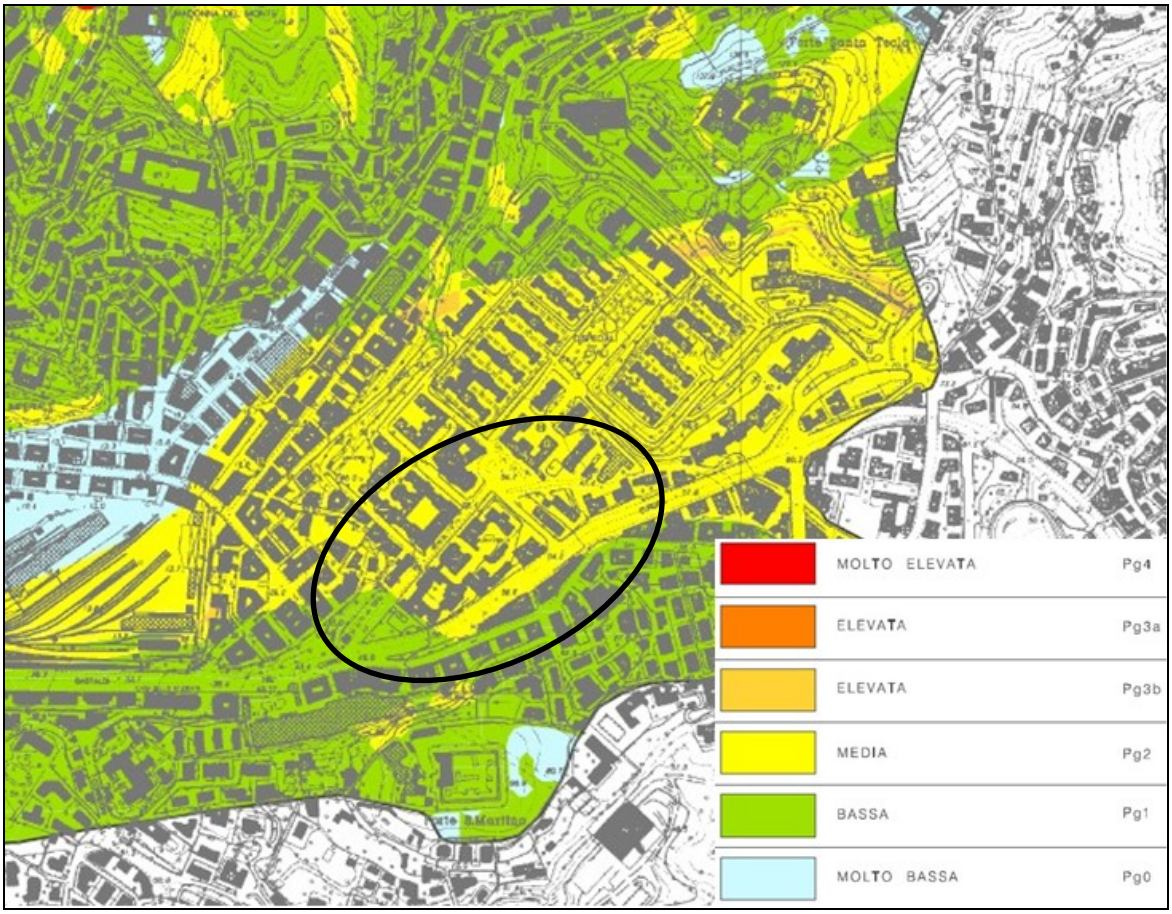

Figura 4.8 Stralcio Carta della suscettività al dissesto del Piano di bacino del T. Bisagno

Nella carta degli interventi di figura 4.9 è riportato il tracciato della galleria dello scolmatore del Torrente Bisagno (prevista in progetto) e della galleria del deviatore del Torrente Fereggiano (in fase di realizzazione); quest'ultima attraverso gallerie di derivazione e opere di presa una volta completata andrà a convogliare anche le portate del Rivi Rovare e Noce.

Figura 4.9 Stralcio Carta degli interventi del Piano di bacino del T. Bisagno. In colore scuro l'ingombro della galleria del Bisagno, in colore chiaro retinato quello della galleria del Fereggiano.

Dalla carta del rischio idraulico di cui alla figura 4.10 risultano condizioni di elevato rischio (R4) limitatamente al settore nord orientale compreso fra la Salita Superiore della Noce e Corso Europa, ivi inclusa la scuola Repetto.

Nella carta delle aree inondabili di figura 4.11 le aree di cui sopra risultano inondate durante gli eventi del 4/11/2011 e più limitatamente del 9/10/2014.

Figura 4.10 Stralcio Carta del rischio idraulico del Piano di bacino del T. Bisagno. Condizioni di rischio molto elevato sono individuate fra salita Superiore della Noce e Corso Europa.

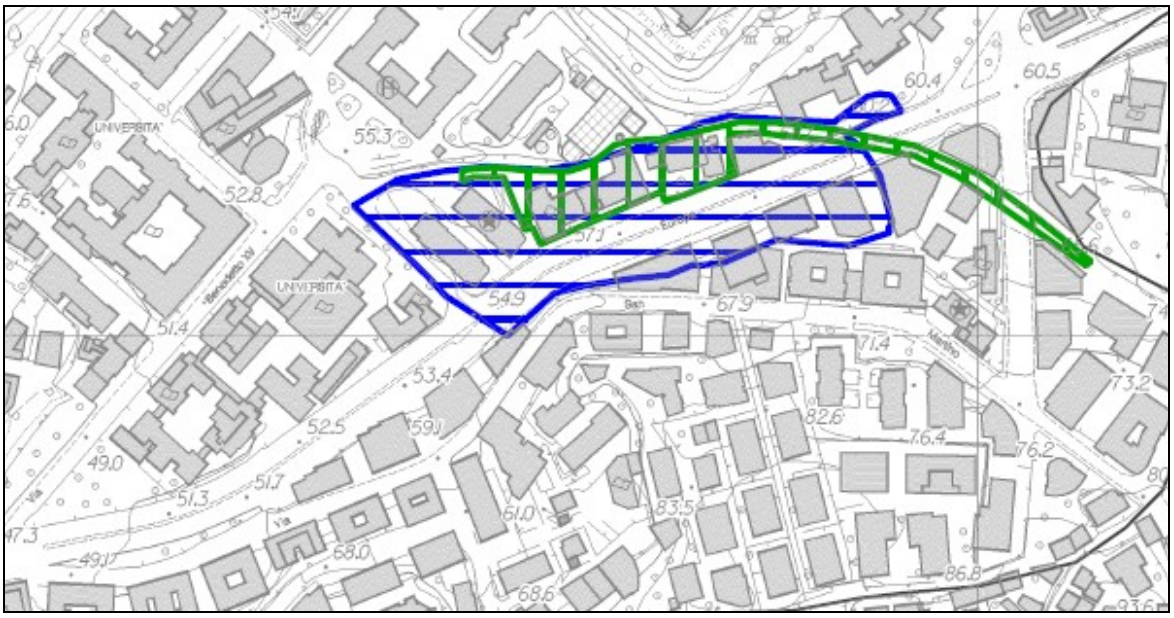

Figura 4.11 Stralcio Carta delle aree inondabili e aree storicamente inondate del Piano di bacino del T. Bisagno. Aree inondate il 4.11.2011 (colore blu retino orizzontale) e 9.10.2014 (colore verde retino verticale).

Dalla carta delle microzone omogenee in chiave sismica di figura 4.12 risultano condizioni generali di substrato coesivo sovraconsolidato affiorante - subaffiorante o riporti con spessore superiore a 5 m, entrambe zone soggette ad amplificazione stratigrafica con Vs30 inferiore a 800 m/s. La zona sismica è la 4.

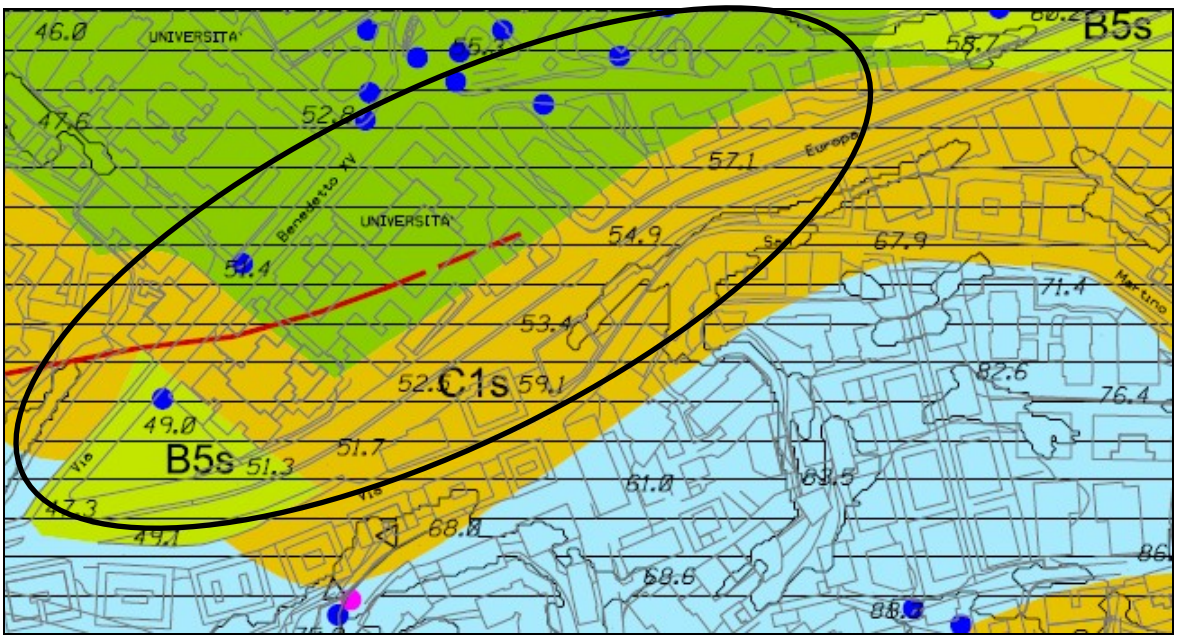

Figura 4.12 Stralcio Carta delle microzone omogenee del Piano di bacino del T. Bisagno. Prevalenti materiali caratterizzati da fenomeni di amplificazione sismica (riporti e argille sovraconsolidate).

4.2. Piano Urbanistico Comunale.

L'area in studio è inclusa nel foglio 39 in scala 1.5.000 di cui alla cartografia del Piano Urbanistico Comunale (PUC) di Genova.

La carta geologica riporta diffusi depositi argillosi (Argille di Ortovero) delimitati da sistemi di faglie all'esterno delle quali si riscontrano calcari marnosi (Flysch di Monte Antola); rispetto alla cartografia del PAI alcune differenze sono individuabili nell'andamento dei contatti stratigrafici e tettonici in corrispondenza del limite sud occidentale del contatto calcari/argille.

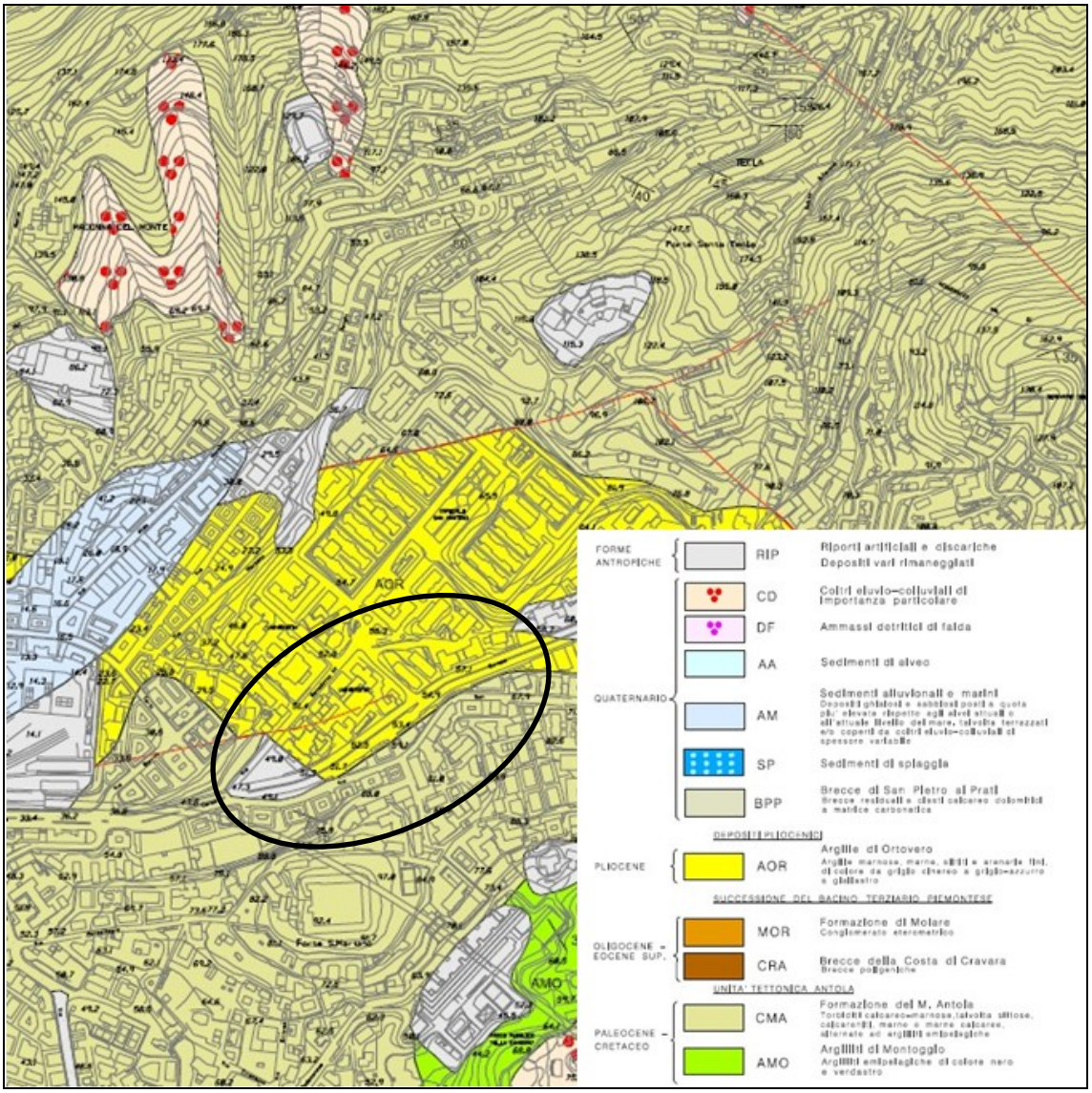

Figura 4.13 Stralcio Carta Geologica del PUC del Comune di Genova.

La carta geomorfologica del PUC di cui alla figura 4.14 riporta generali e diffuse coltri eluvio colluviali di spessore compreso fra 0,5 – 3 m con, nella zona dei giardini Reale, una sacca di materiale di riporto (che le indagini eseguite nel 2016 confermano). A nord del Forte di San Martino è cartografata una scarpata di origine antropica (ex cava alle spalle del supermercato COOP) in corrispondenza della quale è possibile osservare un ampio affioramento del Flysch di Monte Antola con giacitura immergente verso SW. Non è riportata alcuna evidenza geomorfologica (nella carta del PAI tutto l'areale in studio è indistintamente riportato come elemento antropizzato) ed in particolare non vi sono morfologie riconducibili a fenomeni di dissesto.

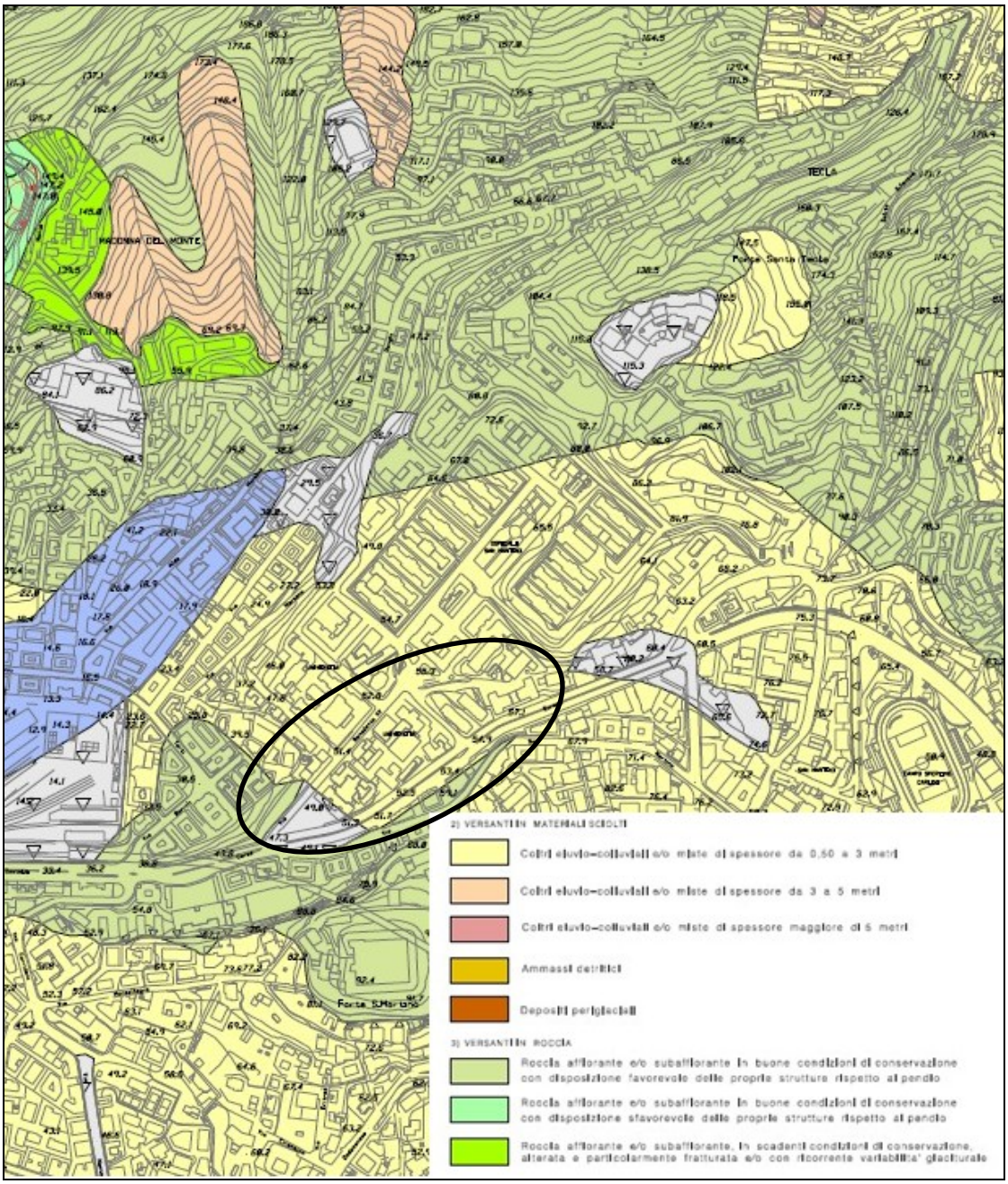

Figura 4.14 Stralcio Carta Geomorfologica del PUC del Comune di Genova.

La carta idrogeologica del PUC riportata in figura 4.15 suddivide i terreni in base alla permeabilità e classifica: l'areale di competenza delle argille come materiale permeabile per porosità su substrato impermeabile; i riporti come depositi a permeabilità variabile; il calcare marnoso come permeabile per fratturazione e/o carsismo, localmente ricoperto da coltri permeabili per porosità. Il tutto comunque all'interno di una zona urbanizzata

sostanzialmente impermeabile. Entro e nell'intorno delle aree in studio non sono censite sorgenti o pozzi.

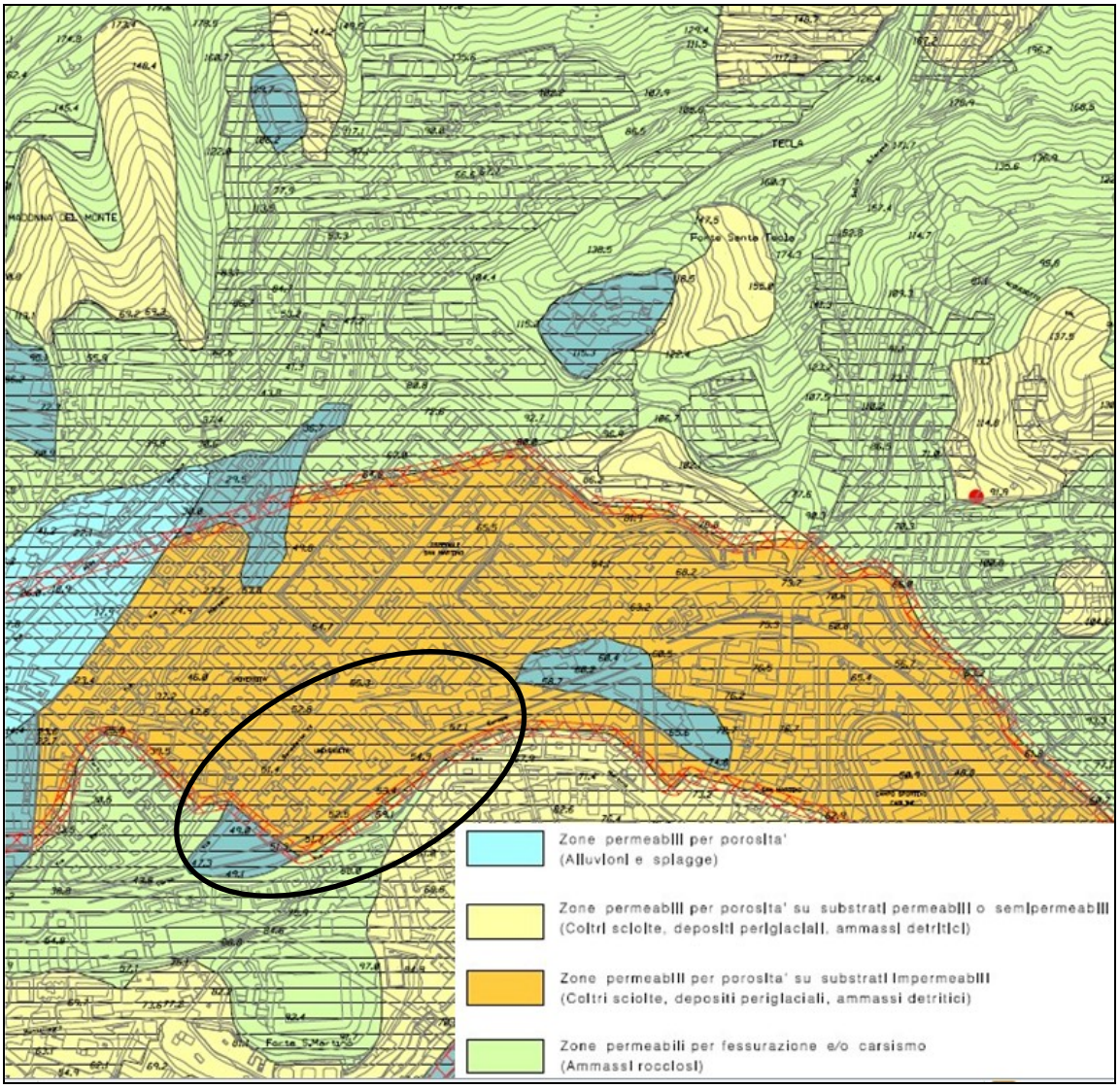

Figura 4.15 Stralcio Carta Idrogeologica del PUC del Comune di Genova.

5. GEOLOGIA

Nel presente capitolo è descritto l'assetto geologico a scala regionale e, successivamente, il contesto geologico, stratigrafico e strutturale a livello di scala dell'opera.
La carta geologica che accompagna il progetto, ed a cui si rimanda per maggiori dettagli, è stata redatta sulla base di documentazione bibliografica (fra cui quella citata al capitolo 4) della cartografia geologica allegata al progetto definitivo dello scolmatore del Bisagno ed alla cartografia geologica dei progetti definitivo ed esecutivo del deviatore del Rio Fereggiano.

5.1. Assetto geologico regionale

Geologicamente il territorio di Genova ha caratteristiche del tutto peculiari in quanto è considerato l'area di transizione fra la catena Alpina e quella Appenninica; comprende unità delle Alpi Liguri dapprima coinvolte nell'evoluzione alpina a livelli più o meno profondi, successivamente interessate da una tettonica attribuibile all'evoluzione appenninica.
L'evento che maggiormente caratterizza il territorio in esame ha inizio con un movimento di divergenza dei blocchi cratonici di Europa ed Africa, che porta alla formazione dell'Oceano Ligure - Piemontese. Al termine della sua evoluzione, sviluppatasi nell'intero periodo Cretaceo, ha inizio l'Orogenesi Alpina durante la quale si verifica un riavvicinamento delle zolle continentali; queste collidono e si sovrappongono mentre una parte dei terreni generatisi durante la fase espansiva è subdotta.
La deposizione dell'Unità del Monte Antola (UMA) cui appartengono i terreni rilevati nell'area in studio, avviene nel Cretaceo medio – superiore all'interno di una fossa circa subparallela al piano di subduzione ed in un bacino allungato in direzione circa E-W.
A seguire la deposizione (Fase 0, Marini 1981) inizia la prima fase di ripiegamento (fase alpina precoce) con carattere decisamente compressivo, vergenza verso S ed assi delle pieghe diretti verso E. Nel corso di questa fase vengono generati vasti piani di rottura (faglia inversa di Ellera – Magrania) ed accavallamenti di masse a diversa vergenza, le pieghe assumono scala chilometrica e l'UMA va in emersione. La fase tettonica successiva, concomitante con il parossimo principale alpino e responsabile dell'instaurarsi più ad oriente della zona a scaglie Sestri – Voltaggio, ha una direzione circa ortogonale alla prima e genera due famiglie di pieghe a scala chilometrica, accompagnate da pieghe minori cui corrispondono due sub-fasi con assi dapprima in direzione circa Est e poi Nord-Est. Ad esse è associata una scistosità di frattura molto evidente in particolare nel-

le argilliti, dove il clivaggio è la superficie più evidente in affioramento rispetto alla stratificazione.

Le linee di cerniera e le superfici assiali dei due sistemi di strutture sono, generalmente, perpendicolari tra loro, tranne che nelle zone dove la seconda fase riorienta gli elementi strutturali della prima fase. Uno schema tridimensionale dell'interferenza geometrica tra le due deformazioni plicative principali è rappresentato in Figura 5.1.

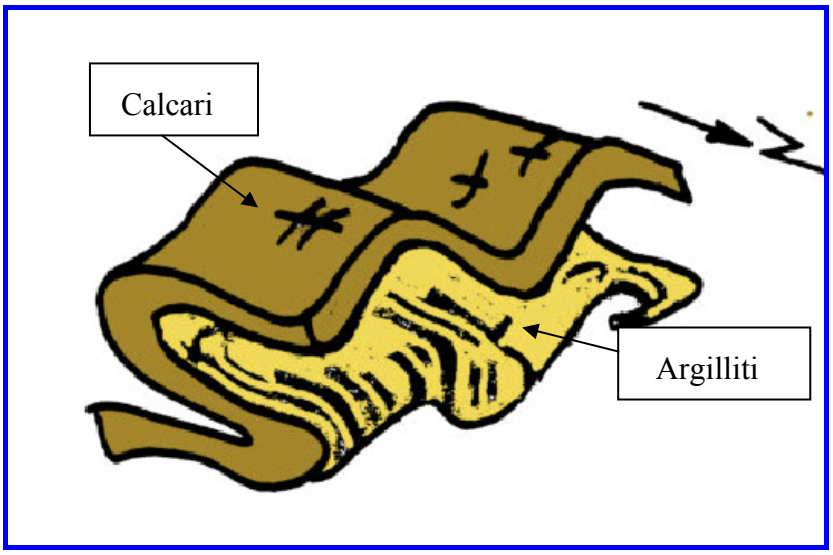

Figura 5.1. Schema geometrico dell'interferenza fra diverse fasi plicative.

Dall'analisi delle stereo proiezioni polari delle famiglie di discontinuità ottenute dai rilievi di campagna effettuati in sede di progettazione dello scolmatore del Bisagno e del Fereggiano si è potuto osservare come, spesso, le giaciture dei due sistemi principali di fratture siano disperse in relazione alla sovraimposizione della fase 2 sulla fase 1.
Le fasi plicative hanno comunque dato una risposta deformativa diversa in relazione ai materiali coinvolti; infatti gli orizzonti a comportamento duttile generano pieghe a diverso raggio mentre negli orizzonti rigidi possono crearsi diffuse fratturazioni secondo piani ortogonali alla stratificazione.
L'unità è successivamente interessata da ulteriori fasi deformative in ambiente duttile e fragile. I piani di discontinuità sono in un primo momento paralleli alla costa (E-W) e successivamente normali alla stessa, contribuendo in tal modo ad impostare le direttrici dei principali corsi d'acqua.

La fase tettonica più recente ha generato due sistemi di faglie con direzione circa Est – Ovest che hanno interessato l'UMA lungo una striscia che corre tra la zona della Sta-

zione di Porta Principe, a ponente, e il quartiere di Sturla a levante. Gli eventi dislocativi hanno abbassato una zolla del massiccio calcareo (struttura a graben). Nella fossa creatasi, denominata **graben di Terralba** e delimitata da faglie e fianchi gradonati, si è inserito il mare che ne ha determinato il riempimento con sedimenti principalmente fini (argillo – limosi, Argille di Ortovero) in ragione della profondità di deposizione. Ai margini della fossa talvolta si riscontrano rifluimenti di natura argillosa che si sovrimpongono, generalmente per spessori modesti, al basamento calcareo.
Alla base della fossa si rileva la presenza di depositi grossolani che costituiscono il prodotto del progressivo disfacimento delle falesie calcaree che delimitavano la fossa stessa prima dell'inizio del colmamento. Ai margini della depressione si sono originate, nel corso dello "strappo" che ha portato all'approfondimento della fossa, fasce di cataclisiti e contesti dove la roccia ha subito processi di alterazione anche in profondità.

5.2. Assetto geologico locale

L'area interessata dal by pass del Rio Noce si ubica a nord del Forte di San Martino e ad est della collina di San Fruttuoso; più esattamente nel triangolo compreso fra la Salita Superiore della Noce, Viale Benedetto XV e Corso Europa. Da un punto di vista geologico ricade all'interno, secondo alcune cartografie parzialmente lungo il limite meridionale, del graben di Terralba.

In figura 5.2 si riporta uno stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, Foglio 83 Rapallo, con riferimento all'area d'interesse progettuale.

Analogamente e in coerenza con quanto sopra in figura 5.3 si riporta uno stralcio della più recente Carta Geologica in scala 1:50.000 foglio 213 Genova.

Figura 5.2. Stralcio Carta Geologica d'Italia 1:100.000 F. 83 Rapallo. Colore verde Flysch di Monte Antola, colore giallo Argille di Ortovero

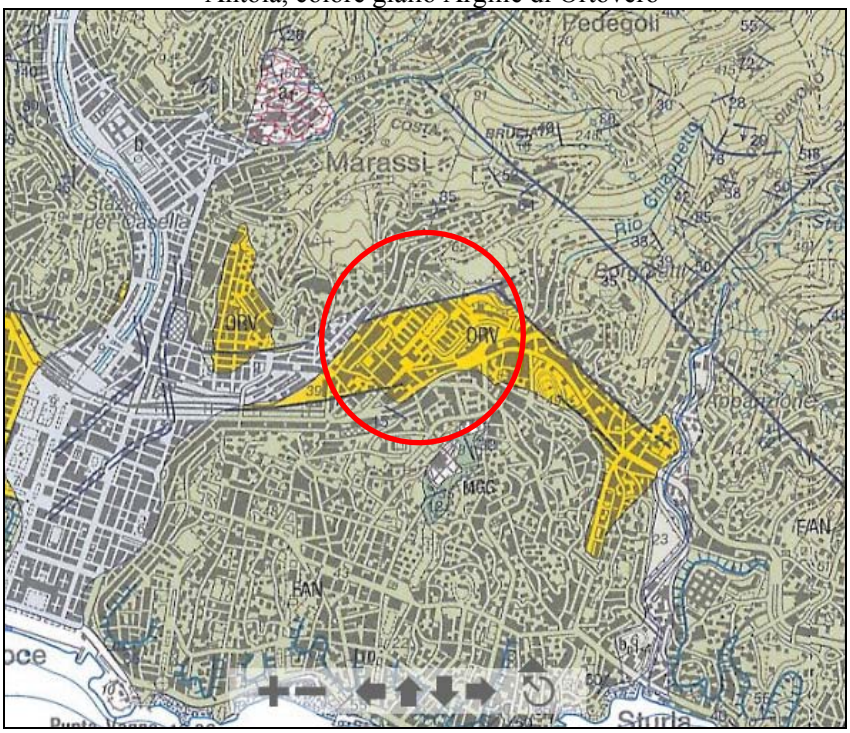

Figura 5.3 Stralcio carta geologica 1:50.000 foglio 213 Genova

Dal punto di vista geolitologico questo settore è caratterizzato dalla presenza delle seguenti Formazioni, le cui datazioni sono riprese dalla più recente cartografia al 50.000 dell'APAT:

- Argille di Ortovero (Pliocene inferiore; Zancleano).
- Flysch di Monte Antola (Campaniano sup).
- Argilliti di Montoggio – (Cretaceo sup; Campaniano -).

Le prime due Formazioni concorrono a formare l'Unità Tettonica di Monte Antola (UMA), che compete ad un'area di bacino di fondo oceanico sviluppatasi a partire dal Giurassico superiore fra i margini paleoeuropeo e adriatico, non interessata dal metamorfismo di alta pressione e colmata rapidamente nel corso delle fasi orogeniche iniziali dell'edificio strutturale nordappenninico. Rappresenta una delle falde d'impilamento tettonico a margine della linea Sestri-Voltaggio poggiante tettonicamente sull'Unità di Ronco; la base del sovrascorrimento è rappresentata dalle Argilliti di Montoggio, non affioranti nell'area in studio, che avrebbero funzionato da livello di scollamento e lubrificante tettonico.
Come in parte già anticipato l'assetto tettonico dell'unità è caratterizzato dalla sovrapposizione di diversi eventi plicativi; possono quindi essere presenti settori dove prevalgono superfici di strato a giacitura normale ed altri dove si riscontrano giaciture a polarità rovesciata (vedi figura 5.1); in generale comunque le giaciture rilevabili in campagna risultano caratterizzata da una forte dispersione..
In tale contesto e come in parte già anticipato le Argille di Ortovero, cartografate a valle dell'ospedale di S. Martino (vedi carta geologica di progetto) sono il risultato del riempimento di un basso strutturale (graben) del fondale marino pliocenico avente orientazione circa E – W.

Nell'ambito dell'anfiteatro genovese il flysch di Monte Antola rappresenta la litologia arealmente predominante che determina la morfologia dei versanti.
Le argilliti di Montoggio affiorano lungo i fianchi della media Val Bisagno, dove sono più diffuse in sponda destra rispetto alla sinistra, mentre sono praticamente assenti nell'area cittadina se si eccettua una ristretta zona in Albaro; questa formazione pur descritta in questo documento non interessa in alcun modo i lavori.
Le argille plioceniche di Ortovero, infine, sono presenti con buona continuità in una larga fascia che attraversa la città in direzione ponente – levante costituente il graben di Terralba.

Interessate da scarso o nullo metamorfismo le formazioni dell'Unità dell'Antola hanno subito almeno tra fasi plicative: a causa di questa marcata tettonizzazione si registra una ripetizione della sequenza sedimentaria, per cui i calcari dell'Antola raggiungono spessori apparenti nell'ordine di migliaia di metri. Nei litotipi calcarei le deformazioni subite hanno determinato un'evidente fratturazione a differente scala sviluppata prevalentemente (come peraltro confermato nel corso dei carotaggi e degli scavi in galleria) ortogonalmente agli strati.

Nel seguito si descrivono in dettaglio i depositi presenti in corrispondenza e nell'immediato intorno delle opere, dal più antico al più recente, ivi inclusi i termini di copertura.

5.2.1. Le Argilliti di Montoggio

Sono argilliti manganesifere varicolori prevalentemente grigio scuro-nerastro, talvolta verde pallido o rosso-vinaccia, ad accentuata scistosità con sporadiche intercalazioni di arenarie quarzose o calcari arenaceo marnosi di spessore decimetrico. Sono depositi di ambiente emipelagico; poste alla base del Flysch di Monte Antola morfologicamente sono facilmente distinguibili per la brusca rottura di pendio che determinano. La struttura nel complesso si presenta fortemente scagliettata per effetto in special modo dell'intensa milonitizzazione alla quale il materiale è stato sottoposto; tali argilliti rappresentano infatti una superficie di scorrimento preferenziale per le principali dislocazioni tettoniche. Nei rari affioramenti in cui è visibile il passaggio al soprastante Flysch di Monte Antola il contatto è quasi sempre riattivato tettonicamente da zone di taglio.
Lo spessore della formazione è normalmente modesto. Marini (1998) lo ipotizza compreso fra 40 – 60 m. Nella zona di Montoggio è indicato in bibliografia, normalmente, nell'ordine di una trentina di metri. Valori localmente riscontrati nell'ordine di 70 – 80 m sono imputabili a sovrapposizione tettonica.
Il grado di alterazione delle argilliti è sempre elevato; sono fortemente aggredibili dagli agenti esogeni e, pertanto, scarsamente rappresentate in affioramento ammantate da una estesa copertura detritica. L'alterazione, causa l'elevato stato di fratturazione, può spingersi anche in profondità per effetto del regime di circolazione delle acque.
Le Argilliti di Montoggio sono cartografate in posizioni esterne rispetto alle opere e non hanno alcuna interferenza con i lavori.

5.2.2. Flysch di Monte Antola

E' costituito da una sequenza monotona di strati torbiditici accumulati in facies probabilmente distale lungo superfici di fondale inclinate ed instabili. La sequenza litologica tipo è costituita da alternanze eteropiche di calcari e calcari marnosi, calcari arenacei fini, marne calcaree, livelli di argilliti emipelagiche talora scistose e, più raramente, strati a base arenacea (foto 5.1 e 5.2).

Foto 5.1 Flysch di Monte Antola fotografato in Corso Europa (sinistra) e Via Berghini (destra)

Foto 5.2 Flysch Monte Antola. Sondaggio S1N fra 30 – 35 m da p.c. Calcari marnosi grigi

Per questa formazione lo spessore originario è difficilmente quantificabile a causa di più fasi plicative sovrapposte. Marini (1998) ipotizza uno spessore non superiore a 1.000 m. Nel genovese secondo alcuni autori non dovrebbe superare i 200 m; nell'ambito della sua intera area di affioramento, fra il bordo padano dell'Appennino settentrionale ed il Mar Ligure, si ritiene che la sua potenza complessiva, causa accavallamenti tettonici, possa superare i 2000 m.

L'ordine di grandezza delle differenti litofacies in ambito cittadino vede una netta prevalenza della componente calcarea, calcareo marnosa o marnoso calcarea (70-80)%, limitati calcari arenacei (10 - 15%) ed argilliti complessivamente inferiori al 10% (Limoncelli e Marini, 1969 – Marini, 1981 e 2003).

I livelli calcarei e calcareo-marnosi si presentano in strati e banchi aventi spessori da sub-metrici a plurimetrici (spessore medio 1,0-1,50 m), generalmente compatti, mediamente fratturati esternamente alle zone di maggior disturbo tettonico. Gli interstrati argillitici hanno spessore decimetrico ed un elevato grado di alterazione.

I rilievi di campagna mostrano, a livello sia di grande che piccola scala, frequenti ed improvvise variazioni della giacitura e del grado di fratturazione per effetto sia di complessi fenomeni sinsedimentari (slumping) sia delle intense sollecitazioni tettoniche su-

bite dall'ammasso in diverse fasi. Questo spiega la notevole dispersione di giacitura riscontrabile in campagna e nelle diverse fonti bibliografiche consultate.
E' stato accertato che il Flysch dell'Antola non è interessato da processi metamorfici oltre il campo della diagenesi.
La transizione alle sottostanti Argilliti di Montoggio è graduale e rappresentata da pochi metri di fitte intercalazioni di straterelli marnoso calcarei, argillitici ed arenacei.
Il Flysch di Monte Antola evidenzia una certa eterogeneità imputabile alla presenza di diverse litologie con comportamento ora rigido (calcari arenacei fini), ora mediamente rigido (calcari marnosi) ora duttile (marne ed argilliti), ed una spiccata variabilità dello stato fessurativo della roccia.
Il grado di alterazione del materiale in banco dipende essenzialmente dalle condizioni di esposizione, dalla circolazione di acque di falda e dalla natura della facies interessate. Le bancate francamente calcaree sono, in genere, poco alterate già a livello di affioramento. Non è inconsueto riscontrare a modeste profondità livelli calcarei con roccia essenzialmente sana, anche se fratturata, avente resistenza medio – elevata. Differenti sono le caratteristiche medie dei livelli marnosi ed argillitici. I primi se superficiali o soggetti a circolazione di acqua di falda sono, in genere, molto alterati, suddivisi in scaglie, oppure ad aspetto terroso e plastico pur con consistenza medio-alta. Se l'alterazione non ha ancora prodotto il disfacimento totale si può avere uno stato di conservazione intermedio con roccia tenera o debole. Situazione analoga si riscontra nei livelli argillitici, quasi sempre scistosi, le cui caratteristiche di resistenza decadono rapidamente al crescere del grado di alterazione che può interessare livelli anche relativamente profondi (fino a molte decine di metri).
Le intercalazioni marnose e argillose alterate costituiscono, in caso di giacitura sfavorevole, i piani di debolezza preferenziali lungo i quali possono instaurarsi fenomeni d'instabilità. Tale contesto, unitamente ad un certo grado di frammentazione della massa rocciosa imputabile a motivi tettonici, giustifica la presenza di accumuli di frana, localmente anche importanti e generalmente di antica data (paleofrane) rilevati nella cartografia del piano di bacino, ma comunque in aree esterne rispetto quelle in studio.
Il Flysch di Monte Antola, rappresentato da calcari non puri, sulla base degli elementi bibliografici acquisiti integrati dai riscontri in sito, non risulta soggetto a fenomeni carsici di rilievo ovvero il carsismo, ove sporadicamente presente, assume carattere blando e poco pervasivo. Tanto che alcuni autori addirittura dubitano che per l'Antola si possa parlare di vero e proprio carsismo. Non è comunque possibile escludere che in corrispondenza di bancate calcaree poste in zone di disturbo tettonico siano riscontrabili sporadiche e limitate evidenze, come sembrerebbero confermare alcune grotte segnalate in

Val di Lentro e nell'areale di Quezzi. I dati disponibili escludono in ogni caso la presenza di una circolazione idrica a grande scala di tipo carsico.

Il Flysch di Monte Antola è la formazione di maggiore rilevanza nell'ambito del territorio del Comune di Genova, ed affiora estesamente in prossimità delle aree di competenza delle opere rispetto alle quali delimita lateralmente il graben di Terralba; all'interno dello stesso costituisce il substrato su cui poggiano le Argille di Ortovero.
Anche la galleria dello scolmatore del Fereggiano è scavata, fatta eccezione per alcuni metri all'imbocco lato mare, nel Flysch dell'Antola.

In linea generale gli ammassi rocciosi osservabili in affioramento si trovano in condizioni di conservazione non particolarmente buone; i riferimenti bibliografici consultati ed i rilievi sul terreno portano ad individuare valori di RMR (Rock Mass Rating, classificazione Bieniawsky 1989) variabili ma generalmente riferibili a classi di qualità generalmente "mediocre" e "scadente", alcune volte "discrete". In congruenza con ciò i valori di RMR desunti in ambito progettuale sulla base dei rilievi di superficie e delle indagini geognostiche hanno classificato gli ammassi rocciosi previsti nelle gallerie del Fereggiano e del Bisagno nelle classi "mediocre" (RMR compreso fra 41 e 60) e "scadente" (RMR compreso fra 21 e 40), e le medesime condizioni sono attese nell'ambito del presente progetto; si consideri inoltre che l'area di competenza del by pass del Noce è soggetta ad un particolare grado di fratturazione in quanto prossima o compresa nei sistemi di faglie delimitanti il graben di Terralba.
Per maggiori dettagli sull'argomento si rimanda ai contenuti della relazione geotecnica e geomeccanica.

5.2.3. Le Argille di Ortovero

Le Argille di Ortovero sono un deposito marino costituito da prevalenti marne, argille marnose sovraconsolidate e molto consistenti o dure, siltiti ed arenarie fini; il colore prevalente quando non alterate è grigio o grigio azzurro (foto 5.3). Più raramente si registra la presenza di livelli di ghiaie e sabbie a giacitura lentiforme. Alla base della Formazione e al contatto con il Flysch dell'Antola alcuni sondaggi eseguiti hanno rilevato la presenza di livelli ghiaiosi e conglomeratici il cui spessore varia da pochi centimetri a qualche metro; ciò testimonia la rapidità dell'evento trasgressivo e un affondamento fino a profondità stimate intorno ai 400 – 500 m.
Le argille di Ortovero affiorano in lembi isolati lungo la costa ligure tra Albenga e il levante genovese dove occupano una fascia, di larghezza variabile (massimo circa 1 km),

disposta grosso modo est – ovest tra il centro città e Sturla. Difficilmente riscontrabili in affioramento in quanto confinate in aree densamente urbanizzate, e/o ricoperte da materiale detritico, alluvionale o di riporto, le argille hanno colmato fosse tettoniche neogeniche, tipo graben, delimitate da faglie sub parallele alla costa per larghezze e spessori molto variabili.

I limiti di questa formazione sono quindi, al letto il contatto con la Formazione dell'Antola, ed al tetto con depositi alluvionali, detritici, materiale di riporto o affioramento diretto della stessa formazione. Lateralmente il passaggio fra le Argille di Ortovero ed il Flysch dell'Antola è contrassegnato da un materiale di faglia e da slumping sindsedimentari, strutturalmente complesso e litologicamente eterogeneo (argille, sabbie e ghiaie con inclusi litici).

A livello generale le informazioni disponibili mostrano per questa formazione una certa simmetria rispetto all'asta torrentizia del Bisagno, con un marcato ispessimento passando da Est verso Ovest. Gli spessori maggiori delle Argille di Ortovero sono previsti proprio ad Ovest del Bisagno, in corrispondenza del parco dell'Acquasola e Piazza Corvetto (140 m, anche oltre 200 m secondo alcune fonti) e in zona Corte Lambruschini (80 – 90 m). Tendono poi a ridursi fino ad alcune decine di metri (o pochi metri) alle estremità della depressione.

Con riferimento all'area d'interesse progettuale sono cartografate all'interno del graben di Terralba (localmente identificato anche come graben di San Martino) delimitate da faglie dirette sub parallele alla costa, soggiacenti coperture colluviali o materiale di riporto di spessore variabile .

Foto 5.3 Argille di Ortovero nel sondaggio S4N fra 5-10 m da p.c.

La figura seguente, tratta dalla documentazione del Piano di bacino Stralcio del Torrente Bisagno, mostra la carta delle isopache della Formazione di Ortovero. Gli spessori indicati sono congruenti con le evidenze di cui ai sondaggi eseguiti per la progettazione dello scolmatore del Bisagno e del deviatore del Fereggiano, nonché con i sondaggi specificamente realizzati in fase di progettazione del by pass del Rio Noce.

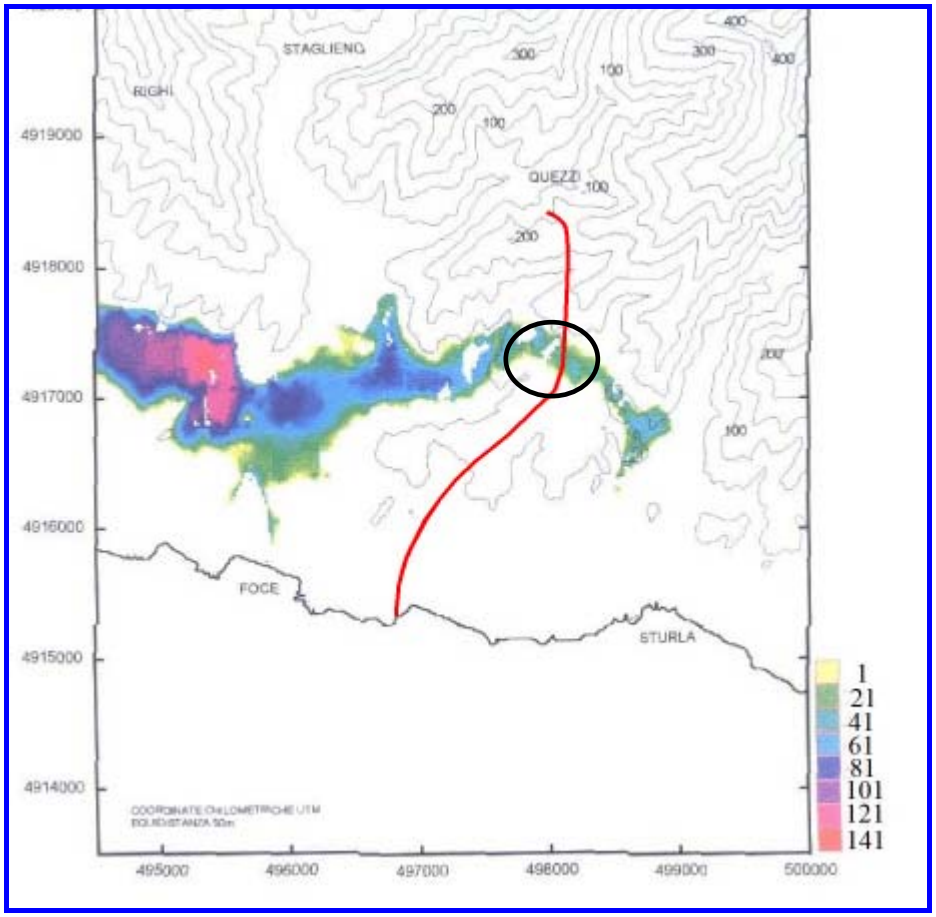

Figura 5.4. Carta delle isopache della Formazione di Ortovero (fonte: Piano di Bacino stralcio sul bilancio idrico del torrente Bisagno – da un lavoro di Ottonello et al 1989). In rosso il deviatore del Fereggiano.

5.2.4. Depositi alluvionali

Depositi alluvionali sono circoscritti alle principali aste fluviali e in particolare al tratto mediano e terminale del Torrente Bisagno. In seno al materasso alluvionale, poggiante normalmente sui calcari dell'Antola, è possibile distinguere due settori differenti. Il primo, più esteso (circa 8 km) e settentrionale costituito da ghiaie, ghiaie limose e ghiaie sabbiose che raggiungono spessori massimi di 25-30 m. Il secondo tratto, più prossimo alla foce e dove vengono raggiunti i massimi spessori, presenta all'interno delle ghiaie uno strato pressoché continuo di limi ed argille con spessori compresi tra 4 e 15 m.

I depositi alluvionali ricadono in aree esterne rispetto alla cartografia di progetto e pertanto non sono ivi rappresentati.

5.2.5. Coltri detritiche eluvio-colluviali

Le coltri eluvio colluviali si riscontrano in plaghe più o meno estese distribuite "a macchia di leopardo" su tutto il territorio dell'anfiteatro genovese, dove ricoprono il substrato calcareo marnoso. Nella maggior parte dei casi lo spessore delle coltri è limitato a pochi metri (range 1 - 5 m) più raramente si evince la presenza di coltri di spessore superiore a 5 m fino a 10 - 15 m. La natura delle coltri è essenzialmente eterogenea e ad ampio spettro; esse sono infatti tipicamente costituite da un'abbondante scheletro grossolano di clasti calcarei immerso in una matrice dove prevale ora la frazione sabbiosa ora quella limo-argillosa in funzione del materiale sottostante da cui derivano.
Nella cartografia geologica di progetto, come in quella del PAI e del PUC, le coltri detritiche sono cartografate solo laddove gli spessori attesi sono maggiori; solo in questo modo è infatti possibile dare evidenza delle caratteristiche del sottostante substrato.

5.2.6. Depositi di spiaggia

I depositi di spiaggia bordano, localmente, il margine costiero per spessori di alcuni metri. Sono in genere costituti da depositi ciottolosi se non oggetto di ripascimenti; ghiaiosi – ciottolosi sabbiosi se artificiali.
Sono stati accuratamente indagati in sede di progettazione definitiva ed esecutiva dello scolmatore del Fereggiano e non interessano in alcun modo le aree d'interesse progettuale.

5.2.7. Materiale di riporto

Il materiale di riporto ha una composizione granulometrica molto eterogena che rispecchia il terreno di provenienza, ed è particolarmente diffuso nell'area urbanizzata in relazione alla necessità di spianare e regolarizzare le superfici.
Con riferimento al by pass del Noce è stato riscontrato, seppure con spessori diversi, praticamente in tutte le verticali geognostiche.
Litologicamente è rappresentato da una matrice limoso argillosa inglobante una quantità variabile di ghiaia e sabbia, con anche possibili clasti eterogenei (foto 5.4). Spesso difficilmente riconoscibile dalle coltri colluviali, da cui può localmente provenire a seguito di lavori di sistemazione e spianamento, viene generalmente riconosciuto per la presenza di elementi antropici quali cocci, elementi di laterizio, chiodi metallici e pezzi di calcestruzzo.

Foto 5.4 Riporto fra 0 – 5 m nel sondaggio S3R

6. GEOMORFOLOGIA

Il Rio Noce è incluso nel piano di bacino del torrente Bisagno pur non essendo un relativo affluente.
La stragrande maggioranza del territorio rappresentato nel piano di bacino del Torrente Bisagno ricade all'interno dell'areale di affioramento o subaffioramento della Formazione di Monte Antola, un flysch a dominante calcareo marnosa. Lungo il Rio Mermi (a monte ed esternamente all'area in studio) e assai più limitatamente ad E-SE del Forte di S. Martino, si rileva la presenza delle sottostanti Argilliti di Montoggio, mentre all'interno di una depressione tettonica orientata circa E-W al di sopra del Monte Antola si posizionano le marne grigio azzurre delle Argille di Ortovero.
La presenza dei calcari marnosi del Flysch di Monte Antola determina una buona energia di rilievo e un grado di acclività medio – elevato. Le principali variazioni di pendenza sono riconducibili ora a variazioni nell'assetto giaciturale degli strati (condizioni di reggipoggio determinano pendenze maggiori rispetto a quelle a franapoggio), ora ai cambi di litologia; caratteristico è proprio il "salto di pendenza" dei versanti nel punto di passaggio fra calcari ed argilliti.

Dall'esame della carta geologica è evidente come la predominanza di un tipo litologico, seppur diversificato al suo interno, contribuisca a determinare caratteri morfologici sostanzialmente omogenei. La presenza di una marcata tettonica, sia fragile - duttile che duttile, caratterizza morfologicamente l'area. Il secondo aspetto, quello fragile, ha comunque la maggiore influenza sul quadro geomorfologico generale. Infatti l'allineamento dei corsi d'acqua risulta coerente con le principali lineazioni tettoniche che rappresentano zone di debolezza lungo le quali le acque hanno potuto incidere il proprio corso. Nei calcari il reticolo idrografico è disposto secondo lineazioni strutturali e corre fra fianchi incassati e stretti; in presenza di materiali argillosi il reticolo si è sviluppato, in assenza di vie preferenziali, a raggiera secondo le linee di massima pendenza. In tale contesto la presenza di superfici fossili, terrazzi morfologici, movimenti di massa e meandri testimonia come l'assetto attuale sia stato raggiunto attraverso fasi successive di erosione rapida avvenute in epoche relativamente recenti.

Un fattore importante ai fini della caratterizzazione geomorfologica del bacino, che concorre alla comprensione delle dinamiche che regolano lo scorrimento delle acque superficiali, è l'acclività dei versanti. Prendendo in considerazione una suddivisione del bacino in classi di acclività si evince che il 60,4% del territorio è caratterizzato da accli-

vità compresa nelle classi media ed alta. La diffusa presenza di materiali lapidei determina pendenze che per il 70% dei casi sono superiori al 30%; il territorio drena così in tempi brevi le precipitazioni, ostacolando l'infiltrazione efficace ed alimentando il deflusso di fondovalle. Nell'ambito dell'intero bacino il tessuto urbano occupa una superficie importante, valutata nell'ordine dell'11%, che incrementa ulteriormente il deflusso a discapito dell'assorbimento.

Il Bisagno scorre a cielo aperto per buona parte del suo percorso anche se nella parte di attraversamento della città di Genova la sua attuale configurazione geometrica, per effetto di importanti interventi antropici, risulta molto lontana da quella naturale. A partire dalla stazione di Brignole sino alla foce il corso d'acqua è tombato.
Come il Bisagno anche le valli dei suoi tributari principali e minori, fra cui i rivi Fereggiano, Rovare e Noce, hanno subito nel tempo importanti trasformazioni a causa dell'espansione del tessuto urbano. Già nella prima metà del XX secolo parte degli alvei era tombata; anche laddove il corsi d'acqua scorrono a cielo aperto la sezione naturale di deflusso è fortemente compromessa a seguito della realizzazione di costruzioni all'interno degli argini, o addirittura a cavallo dell'alveo.

Per quanto attiene la stabilità dei versanti nel solo bacino del Bisagno sono censite oltre 300 frane. Alcune di queste rappresentano gli accumuli di antichi dissesti (paleofrane) imputabili a periodi climatici molto diversi da quelli attuali, ad eventi neotettonici o ad una ripetuta attività sismica. Il 56% dei dissesti censiti è classificato come quiescente, mentre il 44% è risultato avere evidenze morfologiche tali da classificarlo come attivo. Nell'ambito dell'area di stretto interesse progettuale non sono rilevabili fenomeni franosi attivi o quiescienti.

La giovane età del paesaggio è tradita nel suo complesso, oltre che dai fenomeni franosi, anche da fenomeni di erosione regressiva particolarmente evidenti lungo le valli secondarie. L'evoluzione intensa dei versanti, anomalie del reticolo idrografico, catture a scapito dei bacini retrostanti, e lo stesso assetto geologico del bacino sono il risultato delle azioni della tettonica distensiva fragile che ha interessato in tempi geologicamente vicini il versante meridionale della catena ligure. Il profilo longitudinale dei torrenti in questo territorio non sembra aver raggiunto l'equilibrio e mostra un trend evolutivo che si manifesta anche attraverso un'intensa erosione al piede che può essere concausa di fenomeni d'instabilità. E' evidente, anche nei rii minori, un alluvionamento con presenza di ghiaie ciottoli e blocchi di grandi dimensioni imputabili alla grande varietà di detriti

di cui sono serbatoio coltri o paleofrane. Come conseguenza di tutto ciò durante le piene possono registrarsi apporti di materiale con conseguente innalzamento dell'alveo; successivamente quando il regime viene normalizzato avviene una ripresa dell'erosione ed i corsi d'acqua reincidono le proprie alluvioni.

6.1. Geomorfologia del by pass del Rio Noce.

Il bacino del Rio Noce è stato per lungo tempo uno dei meno conosciuti fra i rivi genovesi in quanto il suo percorso, e quello dei tributari, è quasi interamente tombato. La necessità di approfondimenti e studi si palesò in maniera prepotente nel 1977, quando un cedimento della struttura scatolare provoco rilevanti danni agli edifici universitari.

Come si evince dallo stralcio cartografico di figura 6.1, risalente a metà ottocento, la parte alta del bacino del Rio Noce è composta da due rami che nascono al piede del rilievo su cui sorge il Forte di Santa Tecla; a est l'incisione del Rio Noce vera e propria e a ovest una seconda incisione di cui non si conosce il nome. I due rivi si uniscono prima di raggiungere l'asta di fondovalle lungo la quale si sviluppa la Salita Superiore della Noce; dalla carta non è possibile dirlo con certezza ma si può ipotizzare che questo tratto già all'epoca fosse tombato. Più oltre riceve in destra il Rio S Martino ed in sinistra il Rio Papigliano, che scende dal rilievo dov'è costruito il forte di S Martino. Prosegue quindi (fuori carta, vedi figura 4.2) con un tracciato ondulato fino alla zona di Terralba dove, al di sotto dell'ampio fascio di binari, incontra il Rio Rovare con cui confluisce nel Rio Casaregis per sfociare a mare all'inizio di Corso Italia.

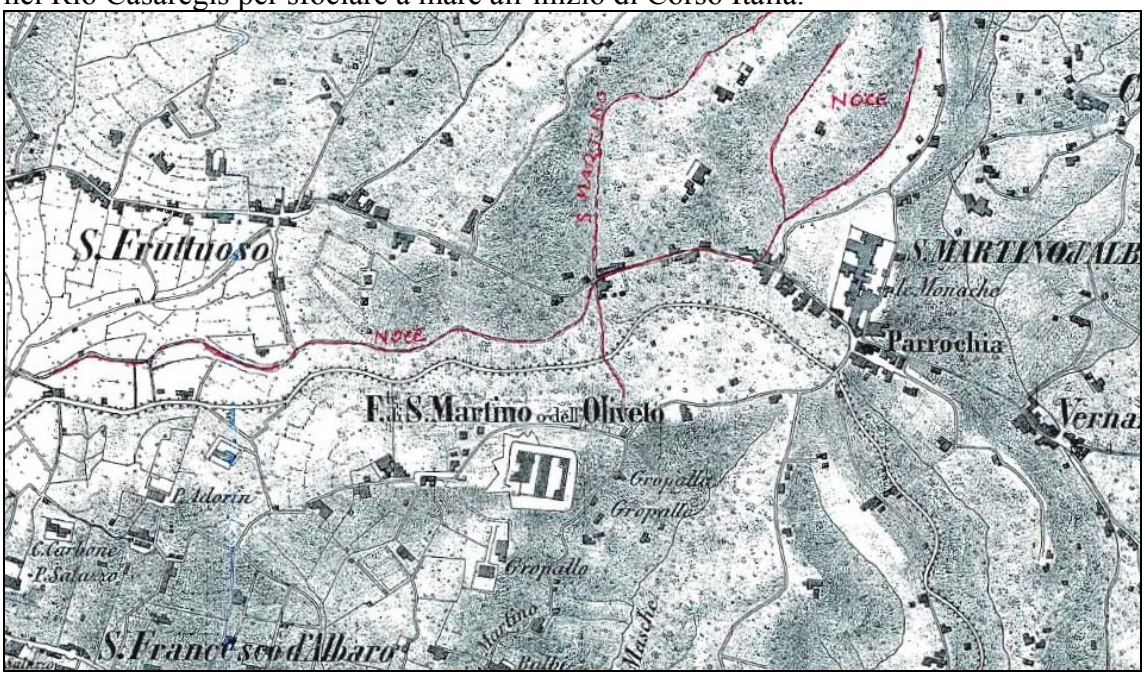

Figura 6.1 Carta di metà ottocento con evidenza del tracciato del Rio Noce (da Bellini et al 2012)

In figura 6.2 è riportato l'andamento del Rio Noce su una recente cartografia dell'area; qui il Rio S. Martino, probabilmente a seguito dei lavori di costruzione dell'ospedale, è traslato e diviso in due rami.

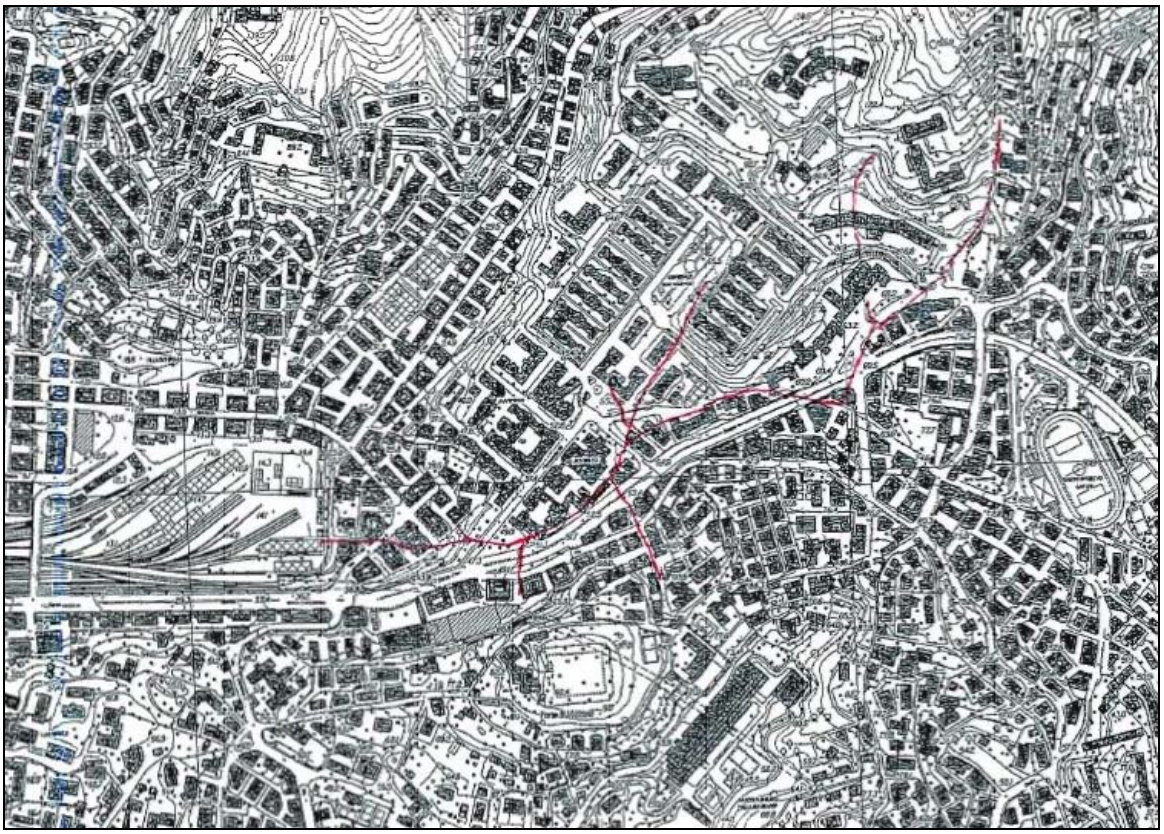

Figura 6.2 Il Rio Noce in una cartografia recente (da Bellini et al 2012)

In figura 6.3 è riportata una foto aerea risalente alla fine degli anni '40. E' possibile osservare il tracciato della Salita Superiore della Noce, che nel catasto napoleonico è indicata anche come "antica strada romana", e l'ospedale, mentre gli edifici universitari sono realizzati solo in parte. Più a valle si sviluppa Via San Martino, mentre l'attuale Largo Europa sembra fermarsi all'altezza di Via Pastore.

Figura 6.3 Foto aerea fine anni '40

Originariamente il Rio Noce era impostato su versanti con pendenza medio elevata nel settore settentrionale, dove affiorano i più competenti calcari di Monte Antola, e più dolci nel settore centrale e meridionale dove affiorano i depositi teneri ed erodibili delle Argille di Ortovero. Sul versante sinistro i calcari probabilmente si spingevano diffusamente sino all'alveo del Rio Noce, come suggerisce l'ampio e vecchio fronte di cava dietro all'attuale supermercato COOP, oltre Largo Europa.

Dal confronto tra le figure 6.1 e 6.2 si evince come il bacino abbia totalmente perso la forma originaria, evento questo in buona parte imputabile alla costruzione del complesso ospedaliero di S Martino e dei sottostanti edifici universitari (figura 6.4). I lavori, iniziati prima della Grande Guerra (1907) e sviluppati lungo tutto il novecento (gli ultimi padiglioni sono degli anni '80) hanno obliterato la forma valliva naturale con importanti riempimenti che hanno interessato anche i tributari laterali. In particolare la valle del Rio Noce venne tombata e colmata, probabilmente utilizzando materiale proveniente dagli scavi dei padiglioni ospedalieri stessi (in buona parte Argille di Ortovero) per spessori che raggiunsero i 14 m nella parte inferiore di Largo Benzi e 20 m lungo l'attuale asse di Corso Europa e giardini Reale, come peraltro confermato dalle indagini eseguite in questa sede.

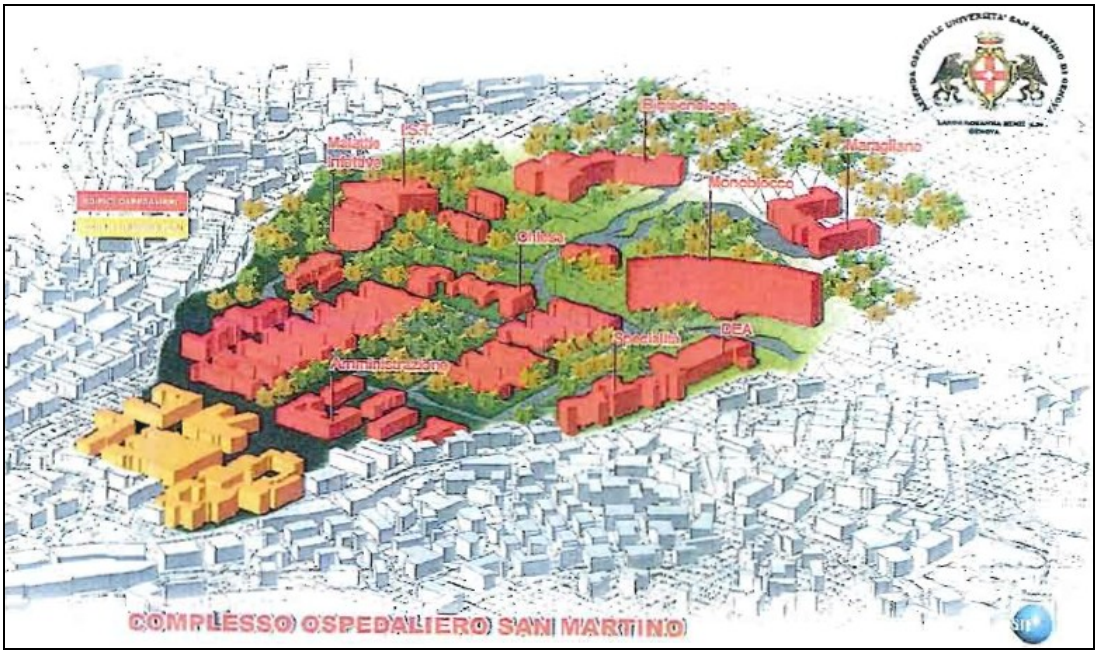

Figura 6.4 Complesso ospedaliero di S. Martino e, in giallo, edifici universitari (da Bellini et al 2012)

Realizzati sulla nuova morfologia gli edifici universitari (in giallo in figura 6.4) presentano piani seminterrati che mantengono la quota a livelli ribassati rispetto la viabilità circostante. La grande colmata, risalente ai primi del novecento, termina ad ovest con una scarpata che oggi, percorsa da una viabilità pedonale, scende al piano ferroviario di Terralba, al tempo esistente e punto fermo topografico. Fu incisa e modellata anche l'intera valle del Rio S Martino, il cui tracciato originario venne coperto e quasi dimenticato, tanto che durante i lavori di costruzione del parcheggio di Largo Benzi fu intercettato un collettore non previsto in progetto, mentre era nota la presenza di un ulteriore ramo. Entrambi confluivano nel Rio Noce all'altezza di Via Pastore; uno di questi riprende (almeno parzialmente) il percorso del Rio S Martino, l'altro è parallelo e potrebbe essere una deviazione realizzata durante i lavori di costruzione dell'Ospedale.

Attualmente quindi solo la parte sommitale del Rio Noce è visibile, nei pressi del piazzale del civico 3 di Via Razeto, dove appare un alveo largo solo 60 cm compreso tra due muri.

Come in parte anticipato la tombinatura del Rio Noce è stata rilevata ed ispezionata dagli scriventi, ed in precedenza almeno a seguito delle alluvioni del 1977 e 2011. Comprendente quasi l'intero bacino è stata realizzata in periodi diversi (il tratto più giovane ha comunque oltre un secolo) con tipologie e capacità diverse, Più volte nel tempo l'opera ha dato segnali di insufficienza idraulica. Il fenomeno di maggiore gravità è probabilmente quello registrato nel 1977 quando, a seguito di piogge intense, crollò un tratto in prossimità delle confluenza con il Rio Papigliano. Gli effetti furono devastanti,

poiché in tale settore sono collocati gli edifici universitari con i loro piani interrati. Vi furono importanti allagamenti con anche diffusa presenza di acque putride (la tombinatura riceveva le fognature dell'ospedale) che rimasero anche dopo le piogge. I danni agli edifici furono ingenti, e le porzioni alluvionate rimasero inagibili a lungo in quanto l'occlusione della tombinatra ne comportava l'allagamento a seguito di ogni pioggia. Fu in questa occasione che, per ripristinare la condotta, venne scavato il pozzo Carena nei giardini Reale; attraverso il pozzo fu possibile accedere alla condotta ancora integra, soggiacente 20 m di riporto, e mediante essa risalire, raggiungere e ripristinare il tratto di scatolare crollato (sono le sezioni rivestite con elementi ARMCO osservate in sede di ispezione).
Nel corso dell'alluvione del 2011 la tombinatura del Rio Noce andò in pressione non solo rifiutando le acque riceventi, ma anche funzionando in maniera inversa. Furono segnalati casi di tombini e caditoie "esplosi", che riversarono le acque sulle strade. Queste, specie alle quote più basse a monte e valle di via Pastore, ricevevano anche le acque ruscellanti provenienti dall'area ospedaliera. Vennero allagati i laboratori dell'ospedale, i piani interrati degli edifici universitari, e gravi danni si registrarono a monte di via Pastore (furono raggiunti tiranti di 3 m) con gravi rischi per bambini e personale dell'asilo Delia Repetto, in Salita della Noce. Danni e allagamenti si registrarono anche più a monte in garage e pianti terreni, seppure i tiranti fossero considerevolmente minori. Con il rallentamento e termine delle piogge la tombinatura gradualmente riprese a funzionare correttamente in quanto la sezione, diversamente al 1977, non era stata danneggiata.
Una situazione sostanzialmente analoga si è registrata con la piena del 2014.
E' importante osservare che durante questi eventi post 1977:

- gli allagamenti hanno visto la presenza di acque moderatamente fangose, quasi prive di trasporto solido;
- nel bacino non si sono registrati fenomeni franosi, come logico vista l'estesa urbanizzazione.

In estrema sintesi e con riferimento all'area del by pass del Rio Noce il territorio risulta interamente urbanizzato e spianato, con ricorso ad abbondanti riporti che lasciano spazio all'espansione dell'ospedale e degli istituti universitari; non sono quindi osservabili elementi morfologici di rilievo fatta eccezione per alcuni limiti di terrazzo a sud di Largo Europa. Dal quadro informativo disponibile non risultano elementi geomorfologici imponenti vincoli o condizionamenti alla progettazione, fatta ovviamente eccezione per l'estesa e diffusa presenza antropica e per i cedimenti/collassi dello scatolare già registrati in passato.

7. IDROGEOLOGIA

La formazione più diffusa nell'ambito del bacino del Torrente Bisagno è rappresentata dalla sequenza flyschoide di Monte Antola, costituita da prevalenti calcari e calcari marnosi con subordinate marne calcaree ed argilliti. Il Flysch di Monte Antola è caratterizzato da una permeabilità a piccola scala bassa. A grande scala può invece essere considerato permeabile per fratturazione e caratterizzato da un grado di carsismo, ove presente, debole e non pervasivo.
Tale formazione costituisce un serbatoio idrico nel quale l'accumulo è favorito dalla presenza, alla base della sequenza sedimentaria, delle Argilliti di Montoggio che per caratteristiche litologiche possono considerarsi sostanzialmente impermeabili.
Più in dettaglio, ed in presenza di una spiccata disomogeneità litologica, i termini calcarei presentano permeabilità variabile in funzione del diverso e locale grado di fratturazione. In caso di fessurazione e fratturazione intensa la permeabilità può risultare localmente elevata ed i circuiti idrici presenti sono fortemente condizionati dall'andamento (orientazione e densità) e dalla persistenza delle discontinuità stratigrafiche e strutturali presenti. Le discontinuità possono però essere cementate o presentare un riempimento di materiale fine, ed in tal caso la permeabilità dell'ammasso si riduce in maniera sensibile.
I rilevamenti piezometrici eseguiti in sede di progettazione dello scolmatore del Bisagno e deviatore del Fereggiano mostrano condizioni generali di falda a modesta profondità da p.c. a monte del graben di Terralba, e falda a profondità almeno decametrica a valle dello stesso.
In base a riferimenti bibliografici al Flysch di Monte Antola viene normalmente attribuita una permeabilità media isotropa variabile fra $1x10^{-7}$ – $1x10^{-8}$ m/sec, un valore che risulta in linea con quanto ottenuto sperimentalmente dalle prove Lugeon eseguite in foro di sondaggio nelle diverse campagne d'indagine.

Gli interstrati argillitici in seno al flysch, e le Argilliti di Montoggio alla base dello stesso, rappresentano materiali a permeabilità estremamente modesta. Costituiscono quindi soglie impermeabili che determinano localmente, lungo i versanti e nelle zone di contatto, la comparsa di locali emergenze idriche. Gli interstrati argilliti, o depositi argillosi più superficiali, possono altresì determinare condizioni locali di falda in pressione all'interno dello stesso Flysch di Monte Antola, come rilevato in alcuni piezometri installati per la progettazione dello scolmatore del Bisagno dove localmente, e pur se con portate modeste, si è riscontrata una risalienza fino a circa 2 m da p.c.

Allo stesso modo a bassissima permeabilità sono le Argille di Ortovero ubicate all'interno del graben di Terralba, dove le permeabilità dedotte dalle prove in sito eseguite nelle diverse fasi e campagne d'indagine forniscono valori compresi nel range $k = 1x10^{-9/-10}$ m/s.

La permeabilità delle coltri colluviali e dei materiali di riporto dipende dalla relativa natura e dal materiale cui derivano; se la composizione è prevalentemente granulare risultano permeabili per porosità; laddove la composizione è prevalentemente fine sono poco o per nulla permeabili.

Alla luce delle informazioni disponibili, relative ad un areale limitato al solo intorno delle gallerie del Bisagno e Fereggiano, gli scriventi hanno avanzato l'ipotesi che il graben di Terralba costituisca una sorta di "barriera a deflusso difficoltoso" tra l'area a monte, dove la falda si trova a modesta profondità, e l'area a valle dove la stessa falda si approfondisce.

Per effetto della presenza di materiali eterogenei (litotipi prevalentemente calcareo marnosi variamente fratturati con irregolari intercalazioni argillitiche) la circolazione idrica in seno all'ammasso roccioso risulta fortemente compartimentata. Le sorgenti censite nell'ambito del bacino del Bisagno sono poco numerose ed hanno il più delle volte portate modeste che seguono l'andamento annuale delle piogge, in quanto i serbatoi di alimentazione presentano volumi ridotti.
In particolare, come riportato nella cartografia di progetto e come congruentemente evidenziato nel PAI e nel PUC, non sono censite sorgenti o pozzi in corrispondenza o nell'intorno del by pass del Rio Noce.

L'ammasso è alimentato dalle precipitazioni meteoriche attraverso l'infiltrazione efficace.
In base ai dati raccolti da diverse fonti bibliografiche nell'area in studio, a fronte di precipitazioni medie annue comprese tra 1.000 – 1.200 mm e 1.500 – 1.700 mm (minimi in prossimità della costa e massimi alle quote più elevate del bacino) viene identificata, su base ventennale, un'infiltrazione compresa tra 400 e 750 mm/anno. Per contro valori più cautelativi potrebbero essere desunti sulla base di recenti dati sperimentali ottenuti attraverso la misura delle portate, in entrata ed uscita, in corrispondenza di bacini appenninici aventi caratteristiche geologiche, morfoaltrimetriche ed idrogeologiche paragonabili al caso in studio.

Visti i riscontri effettuati, le caratteristiche dei materiali nonché l'insieme dei dati disponibili si ritiene che la profonda incisione creata dal Bisagno, colmata da depositi alluvionali

ad elevata permeabilità, rappresenti un asse di drenaggio naturale nei confronti dell'ammasso roccioso. Analogamente parte del drenaggio probabilmente è diretto verso mare, oltre la linea di costa, dove l'Antola affiora. L'ipoteso di un drenaggio esercitato dall'incisione del Bisagno è condivisa dai relatori del Piano di Bacino dove testualmente si legge: *"la ricarica dell'acquifero (*del T. Bisagno*) avviene con modalità diverse che possono essere così schematizzate:*

- *alimentazione diretta …..per infiltrazione delle acque defluenti nell'alveo;*
- *alimentazione del sistema acquifero dovuta al contributo laterale sotterraneo delle acque circolanti nel substrato roccioso;*
- *contributo delle falde di subalveo degli affluenti minori …..*"

Dalla ricostruzione dei livelli piezometrici di cui al progetti del deviatore del Bisagno e scolmatore del Fereggiano risulta che anche i corsi d'acqua minori sembrano il più delle volte fungere da assi drenanti per le acque subsuperficiali che percolano dai vicini comparti di versante.

7.1. Idrogeologia del by pass Rio Noce.

Da quanto sin qui esposto si evince come l'assesto idrogeologico del tratto di competenza del by pass del Rio Noce sia governato dalla forte antropizzazione, per effetto della quale l'intera area risulta pavimentata e quindi pressoché impermeabile, e dalla presenza di unità stratigrafiche con caratteristiche molto diverse.

Il substrato è uniformemente rappresentato dal calcare marnoso del Flysch di Monte Antola, che in tutti i piezometri installati mostra una falda alla profondità di alcuni metri da p.c., talvolta con risalienza al di sopra del tetto dell'unità ma comunque (nell'area in studio) sempre ben al di sotto del piano campagna. La permeabilità viene valutata attorno al valore medio di $k = 1 \times 10^{-7}$ m/s.

Le argille di Ortovero possono considerarsi materiali sostanzialmente impermeabili, come dimostrato dalle prove Lefranc effettuate in tutte e campagne geognostiche. All'interno di questa unità sono possibili locali e limitate falde contenute all'interno degli orizzonti a maggiore composizione sabbiosa. La sua permeabilità è valutata attorno al valore di $k = 1 \times 10^{-8}$ m/s

La permeabilità delle coltri colluviali e del materiale di riporto è variabile in funzione della relativa natura; risulta generalmente non troppo elevata a causa della diffusa pre-

senza di una aliquota di materiale fine. Valutata attorno al valore minimo di k = 1 x 10^{-5} m/s raggiunge valori fino a $1x10^{-8}$ m/s in funzione della granulometria prevalente e della profondità.

La figura seguente riepiloga gli esiti delle prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile effettuate nel corso delle campagna d'indagini del 2016 in funzione della profondità e della litologia. Oltre a quelle indicate sono state eseguite ulteriori due prove (ubicate su materiale di riporto) che, non avendo dato apprezzabili abbassamenti del livello idrico (materiale sostanzialmente impermeabile) non sono state interpretate.

Sondaggio	Prova	Tratto (m)	Permeabilita' m/s	Litologia
S1N	Lefranc	1,0 - 1,5	2,4 x 10-8	Riporto
S1N	Lefranc	11,0 - 11,5	4,2 x 10-10	Argille Ortovero
S2N	Lefranc	1,0 - 1,5	4,1 x 10-5	Riporto
S2N	Lefranc	11,5-12,0	1,1 x 10-6	Colluvioni
S3N	Lefranc	1,0-1,6	4,6 x 10-5	Riporto
S4N	Lefranc	1,5-2,0	6,9 x 10-9	Argille Ortovero
S4N	Lefranc	10,2-10,7	1,4 x 10-9	Argille Ortovero
S6N	Lefranc	1,7-2,2	1,7 x 10-5	Riporto

Figura 7.1 Prove Lefranc campagna 2016 By pass Rio Noce

Al fine di ottenere delle misure precise del livello piezometrico lungo l'asse di progetto durante la campagna geognostica per la progettazione esecutiva, condotta nella primavera del 2016, sono stati installati piezometri in corrispondenza di tutti i sondaggi eseguiti. In particolare si sono montate 2 celle Casagrande a profondità diverse nei sondaggi S2N – S4N – S5N, mentre nei sondaggi S1N – S3N ed S6N sono stati installati piezometri a tubo aperto.
La figura seguente riepiloga le misure effettuate ad aprile 2016 e gennaio 2017. Le soggiacenze nella seconda misura sono moderatamente aumentate. Fa eccezione solo il rilievo nel sondaggio S4N, realizzato interamente nelle Argille di Ortovero, dove entrambe le celle installate mostrano una lettura attorno a 5 m da p.c. E' probabile che per questo piezometro la misura del febbraio 2017 sia affetta da un errore o malfunzionamento dello strumento; peraltro il valore del gennaio 2016 risulta in linea con i rilevamenti effettuati in corso d'opera durante lo scavo del parcheggio interrato di Largo Benzi.

Sondaggio	Piezometro tubo aperto (m)	Posizione Casagrande cella 1 (m)	Misura cella 1 (m)	Posizione Casagrande cella 1 (m)	Misura cella 1 (m)
S1N	17,72				
S2N		19	17,2	30	20
S3N		8	asciutto		
S4N		5,4	asciutto	15,8	13,7
S5N		6	asciutto	19,5	7,4
S6N	5,6				
Misure aprile 2016					
Sondaggio	Piezometro tubo aperto (m)	Posizione Casagrande cella 1 (m)	Misura cella 1 (m)	Posizione Casagrande cella 1 (m)	Misura cella 1 (m)
S1N	18,32				
S2N		19	18,85	30	20,03
S3N		8	aciutto		
S4N		5,4	5,02	15,8	5,06
S5N		6	asciutto	19,5	8,18
S6N	7,22				
Misure gennaio 2017					

Figura 7.2 Piezometri 2016 Soggiacenze misurate ad aprile 2016 e gennaio 2017

Le celle ed i tratti finestrati che hanno letto un livello piezometrico sono quelli all'interno del Flysch di Monte Antola e delle Argille di Ortovero.

I livelli piezometrici letti si collocano qualche metro sopra o sotto il tetto del Flysch di Monte Antola. Le misure disponibili suggerisco quindi, come in parte già anticipato, che la falda sia contenuta all'interno del substrato roccioso del Flysch di Monte Antola, che la trasmette anche ai depositi soprastanti, specie le Argille di Ortovero che colmano il graben tettonico sviluppatosi all'interno del flysch stesso.

Essendo che le quote dei 6 sondaggi eseguiti in sede di progettazione esecutiva sono molto simili, e comprese tra + 48.1 e 49.5 m s.l.m., e che la soggiacenza del livello piezometrico aumenta da nord a sud da valori di circa 5 – 7 m a 10 – 20 m dal piano campagna, si ha che la quota della superficie piezometrica passa da circa + 43 m s.l.m. a circa + 31 m s.l.m. con un dislivello di 12 m ed un gradiente di circa il 3.5 %. Si può ragionevolmente dedurre una direzione di deflusso della falda indicativamente da monte verso mare.

Il suddetto sistema idrogeologico spiega la frequente presenza di calcite di precipitazione riscontrata all'interno dei giunti di fratturazione del Flysch di Mt. Antola, soggetto a

forti oscillazioni del livello piezometrico in funzione della neotettonica e delle variazioni eustatiche nel corso del Quaternario.

8. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche disponibili ricadenti nell'area di competenza del by pass del Rio Noce sono state suddivise in:

- indagini pregresse: relative ad altri lavori ed ubicate nelle medesime aree, e/o relative a precedenti fasi progettuali (progetto definitivo del by pass del Noce);
- indagini specificamente eseguite in sede di progettazione esecutiva fra la primavera del 2016 e l'inverno del 2017.

Le ubicazioni sono riportate nella specifica planimetria allegata al progetto, elaborato PE.DS.105. Sempre in allegato al progetto sono disponibili le stratigrafie dei sondaggi ed i risultati delle prove in sito e di laboratorio, cui si rimanda per maggiori dettagli.

8.1. Indagini pregresse

Sono disponibili 5 diverse campagne d'indagini geognostiche pregresse nell'area di progetto realizzate in un arco di tempo compreso fra il 1988 e il 2005.

<u>Indagine 1988 (Progetto Italstrade del deviatore del Fereggiano) e scavo galleria deviatore del Fereggiano.</u>

Nel 1988 l'impresa Raedelli Castellotti ha eseguito una campagna geognostica per la progettazione del deviatore del Fereggiano, i cui lavori sono iniziati l'anno successivo. Ogni sondaggio è comprensivo di prove in sito, fra cui Lefranc e Lugeon, e prelievo campioni su cui si sono eseguite prove di classificazione e caratterizzazione.

In tale ambito il sondaggio S6 ricade in prossimità del by pass del Rio Noce, alle spalle di Largo Benzi e all'interno del graben di Terralba.

Sondaggio	Progetto	Profondità (m da p.c.)	Litotipo	Falda (m da p.c.)
S6F	Progetto deviatore Fereggiano di Italstrade 1989	60	Argille Ortovero/Flysch Antola	10,3

Tabella 8.1 Progetto Italstrade del Fereggiano. Sondaggio prossimo all'area in studio

Per un approfondimento delle caratteristiche dei terreni si sono inoltre consultati i rapporti periodici eseguiti al fronte dall'impresa Italstrade durante lo scavo della galleria del Fereggiano da progressiva 0+00 fino alla progressiva 0+909 m, quando sono stati sospesi i lavori, nonché i rilievi strutturali eseguiti al fronte di scavo dall'impresa PAC

che ha ripreso i medesimi scavi a partire dalla pk 0+909 raggiungendo, alla data di stesura del presente documento, la pk 1+900 circa. Dalle informazioni disponibili risulta che gli scavi si sviluppano interamente nel Flysch di Monte Antola variamente fratturato, ad esclusione di un breve tratto compreso fra l'imbocco e l'attraversamento di Corso Italia (lunghezza circa 33 m) che rimane per buona parte in depositi di spiaggia e/o materiale di riporto. Dal punto di vista idrogeologico è stato riscontrato un diffuso stillicidio in assenza di venute concentrate significative. L'avanzamento, tolte le tratte in zona d'imbocco, è avvenuto ed avviene prevalentemente con l'ausilio di spritz beton fibrorinforzato e chiodi e/o spritz e centine radiali.

Indagine del 1999 (Progetto garage interrato di Largo Benzi).

L'indagine è stata realizzata per la progettazione del garage interrato di Largo Rosanna Benzi, di fronte agli ospedali di S. Martino. In questa sede sono stati eseguiti 3 sondaggi, lunghi 35 m, con prove in foro tipo SPT e di permeabilità tipo Lefranc, mentre sulle carote si sono realizzate prove puntuali tipo pocket penetrometer. Sono stati prelevati campioni rimaneggiati e indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

I sondaggi sono attrezzati con piezometri a tubo aperto.

La tabella seguente riepiloga le caratteristiche principali dei sondaggi e relativa stratigrafia.

Sondaggio	Anno	Profondita' (m da p.c.)	Litotipo	Falda (m da p.c.)
S1	1999	35	Riporto/Argille Ortovero	10,45
S2	1999	35	Riporto/Argille Ortovero	19,96
S3	1999	35	Riporto/Argille Ortovero	

Tabella 8.2 Sondaggi per il parcheggio interrato di Largo Benzi. Campagna 1999.

Per queste indagini non sono disponibili le stratigrafie di dettaglio ed i risultati delle prove, ma nella relazione geologica, idrogeologica e sismica del progetto (datata 2005) è riportata una sezione stratigrafica con i citati sondaggi, e sono altresì commentati i risultati delle prove in sito e di laboratorio eseguite.

Indagine del 2002 (Progetto by-pass Noce)

L'indagine è stata eseguita a supporto della progettazione di opere in microtunneling presso l'area ospedaliera di S. Martino ed è composta da 5 sondaggi e 4 stendimenti geoelettrici.

I sondaggi, riepilogati in tabella 8.3, hanno una lunghezza variabile tra 6 e 25 m, e sono comprensivi di prove in sito tipo SPT. Non sono stati installati piezometri.
In corso d'opera sono stati prelevati 6 campioni indisturbati tipo Shelby per l'esecuzione di prove di laboratorio quali granulometrie, limiti di Atterberg, determinazione del peso dell'unità di volume, taglio diretto, prove di compressione monoassiale non confinata e prove edometriche. Si sono inoltre eseguite prove per valutare l'indice e la pressione di rigonfiamento sui materiali marnosi.
I 4 stendimenti di geoelettrica sono lunghi 120 m circa e sono ubicati lungo via Benedetto XV e Salita Superiore Noce al fine di individuare il contatto fra depositi di copertura e substrato roccioso.

Sondaggio	Progetto	Profondità (m da p.c.)	Litotipo	RQD (medio)
SA1	Caratterizzazione geomeccanica in supporto alla progettazione di opere in microtunneling. 2002	22,5	Argille di Ortovero	
SA2		22	Argille di Ortovero/Faglia	
SA3		25	Argille di Ortovero/Flysch di Monte Antola	35%
SA4		16,2	Argille di Ortovero	
SA5		6	Argille di Ortovero	

Tabella 8.3 Riepilogo sondaggi 2002 by pass del Rio Noce

Indagine del 2005 (Progetto garage interrato di Largo Benzi)

L'indagine è stata realizzata, ad integrazione della campagna del 1999, per la progettazione del garage interrato di Largo Rosanna Benzi. Si tratta di 3 sondaggi lunghi tra 10 e 30 m attrezzati con piezometro a tubo aperto riepilogati in tabella 8.4. Non sono state eseguite prove SPT. In fase di perforazione si sono prelevati 6 campioni indisturbati Shelby per esecuzione di prove di laboratorio quali analisi granulometriche, limiti di Atterberg, peso dell'unità di volume, taglio diretto e prove triassiali UU non consolidate non drenate. I risultati di questa campagna sono congruenti, a livello di modello stratigrafico e caratterizzazione geotecnica, con quella del 1999.

Sondaggio	Progetto	Profondità (m da p.c.)	Litotipo	Falda (m da p.c.)
Sa	Parcheggio interrato largo Benzi 2005	30	Riporto/Argille Ortovero	8,5
Sb		30	Riporto/Argille Ortovero	12,5
Sc		10	Riporto/Argille Ortovero	7,5

Tabella 8.4 Sondaggi per il parcheggio interrato di Largo Benzi, campagna del 2005.

Indagine 2005 (Progetto scolmatore del Bisagno)

L'indagine è stata eseguita a supporto del progetto definitivo dello scolmatore del torrente Bisagno, riutilizzata per il progetto definitivo del deviatore del Fereggiano, ed è comprensiva di 8 sondaggi lunghi 20 – 90 m, molti dei quali strumentati con piezometro. In fase di avanzamento si sono eseguite prove SPT nei terreni superficiali, mentre all'interno del substrato roccioso (Flysch di Monte Antola) sono state eseguite prove dilatometriche e prove Lugeon; prove di permeabilita' tipo Lefranc sono state condotte nelle Argille di Ortovero.

Sono stati prelevati campioni rimaneggiati ed indisturbati a livello di tutte le formazioni attraversate con prove di tipo sia classificativo sia per la misura della resistenza e deformabilità dei terreni e degli ammassi rocciosi. L'intera area di progetto è stata inoltre oggetto di rilievi geologici, geomeccanici e idrogeologici.

L'insieme delle informazioni ed esperienze scaturite da questo importante progetto ha permesso di approfondire e meglio dettagliare il modello geologico, a grande scala, dell'area in studio e approfondire la caratterizzazione geotecnica e geomeccanica dei termini riferibili al Flysch di Monte Antola ed Argille di Ortovero.

Fra i sondaggi eseguiti l'S5D, profondo 65 m ed attrezzato con piezometro a tubo aperto, ricade circa 160 m ad est rispetto alla scuola Repetto.

Sondaggio	Progetto	Profondità (m da p.c.)	Litotipo	RQD (medio)	Falda (m da p.c.)
S5D	Progetto scolmatore del Bisagno 2006	65	Argille Ortovero/Flysch Antola	50%	6,8

Tabella 8.5 Progetto dello scolmatore del Bisagno. Sondaggio prossimo all'area in studio

8.2. Indagine del 2016

A supporto del Progetto Esecutivo del by-pass del Noce è stata realizzata, nella primavera del 2016 ed a cura della ditta Geotecnica Veneta di Olmo di Martellago (Ve) una campagna geognostica integrativa composta da:

- n° 6 sondaggi a carotaggio continuo denominati S1N÷ S6N, spinti sino a profondità variabili da 10 m a 40 m dal piano calpestio;
- prove in sito in foro di sondaggio fra cui n° 26 SPT, n° 11 prove di permeabilità tipo Lefranc in materiali sciolti, e n° 5 prove di permeabilità tipo Lugeon in materiali litoidi;
- prove di laboratorio geotecnico e ambientale su campioni;
- n° 3 stendimenti di sismica attiva del tipo Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW1 ÷ MASW3) per l'individuazione dei sismo strati ed identificazione del modello di velocità delle onde di taglio nei primi 30 m da p.c. (Vs 30);
- n° 2 stendimenti di Tomografia Elettrica denominati ERT 1 ed ETR 2, posti rispettivamente lungo via Benedetto XV e Salita Superiore della Noce, al fine di ricostruire il modello elettro-stratigrafico dei terreni nelle aree interposte fra sondaggi.

L'indagine è stata progettata in modo da colmare le lacune interpretative ereditate sulla base del quadro informativo sino a quel momento disponibile, ed è stata condizionata dalla spiccata antropizzazione dell'area, dalla presenza di numerosi sottoservizi e dalle generali condizioni di accessibilità.
Nel corso dei sondaggi sono stati installati sia piezometri a tubo aperto sia piezometri con doppia cella Casagrande, di cui una in roccia e una nei depositi di copertura o nelle Argille di Ortovero.
Complessivamente si sono prelevati n° 49 campioni rimaneggiati (di cui n° 42 analizzati in laboratorio) e n° 11 campioni indisturbati tipo Shelby per esecuzione di prove di laboratorio quali analisi granulometriche, limiti di Atterberg, peso della unità di volume, prove ad espansione laterale libera, taglio diretto e prove edometriche. Sui campioni lapidei sono state condotte determinazioni del peso di volume e prove di compressione monoassiale non confinata. Inoltre sia direttamente in cantiere sulle carote sia in laboratorio sui campioni indisturbati si sono eseguite prove tipo pocket penetrometer e torvane.
La tabella seguente riepiloga gli elementi essenziali della campagna del 2016. Da essa si evince come, al di la della diffusa presenza di una coltre di materiale di riporto, molti sondaggi intercettino e superino le Argille di Ortovero andando ad intestarsi nel Flysch di Monte Antola; localmente l'Antola viene riscontrato direttamente al di sotto del riporto. Nelle figure 7.1 e 7.2, illustrate al capitolo precedente, sono riportati i risultati delle prove Lefranc ed i rilievi sui piezometri.

Sondaggio	Progetto	Profondità (m da p.c.)	Litotipo	RQD (medio)
S1N	By pass del Rio Noce	40	Riporto/Ortovero/ Antola	70%
S2N		30	Riporto/Ortovero/ Antola	70%
S3N		25	Riporto/Flysch di Monte Antola	45%
S4N		30	Riporto/Argille di Ortovero	
S5N		20	Riporto/Flysch di Monte Antola	50%
S6N		10	Riporto/Flysch di Monte Antola	50%

Tabella 8.6 By pass del Noce. Campagna 2016

Le tomografie elettriche, ubicate la prima lungo via Benedetto XV e la seconda lungo la Salita Superiore della Noce (vedi figure 10.1 e 10.2) sono lunghe rispettivamente 156 m e 125 m circa. La funzione di questa tipologia d'indagine è stata quella, in un contesto di spiccata variabilità laterale e verticale, di meglio correlare i dati puntuali forniti da singoli sondaggi; sondaggi comunque posti quantomeno ai vertici degli stendimenti ed utilizzati per la taratura.

Le 3 prove MASW sono servite per determinare la categoria di suolo di fondazione ai sensi delle NTC 2006; i risultati sono commentati nel capitolo relativo alla sismicità.

Nel corso della primavera del 2016 contestualmente alle indagini geognostiche sono stati condotti, da parte della ditta Stegeo di Genova, rilievi topografici, fotografici e video all'interno dello scatolare del Rio Noce che hanno messo in luce caratteristiche e stato di conservazione delle opere. Lo scatolare risulta generalmente costituito da una volta in mattoni (raramente in calcestruzzo) e pareti in muratura; normalmente il fondo è in calcestruzzo o in magrone ma talvolta, nei tratti più monte, affiorano direttamente i calcari dell'Antola. Le sezioni che in passato sono state soggette a interventi di sistemazione e ripristino sono facilmente individuabili in quanto dotate di un liner interno metallico.
Le fotografie seguenti illustrano alcune sezioni del Rio Noce, e del pozzo Carena, rilevate nella primavera del 2016.

Foto 8.1 Rivestimento in muratura. Sul fondo il Flysch di Monte Antola

Foto 8.2 Sezioni a diversa geometria interna con volta in mattoni e pareti in muratura

Foto 8.3 Sezione a diversa geometria interna; sulla sinistra liner metallico impiegato per il ripristino di tratte danneggiate.

Foto 8.4 A destra ancora un tratto ripristinato con liner metallico. A sinistra il Rio Noce alla confluenza nel pozzo Carena.

VEDUTA DA CORSO EUROPA (PARTICOLARE BOTOLA DI ACCESSO)

VEDUTA INTERNA

Figura 8.1 Pozzo Carena. Botola di accesso (Giardini Reale) e veduta interna

8.3. Risultati

L'insieme delle informazioni disponibili relative alle indagini eseguite nelle diverse fasi dimostra come l'assetto stratigrafico lungo l'opera in progetto sia molto eterogeneo a causa sia del particolare e complicato assetto tettonico dell'area, sia dei lavori di modifica e regolarizzazione dell'originaria superficie topografica iniziati ai primi del 1900

con la costruzione degli edifici degli Ospedali S. Martino, e proseguiti intensamente nei decenni successivi. La coppia di foto seguenti rende l'idea di come il solo elemento antropico abbia fortemente modificato lo stato dei luoghi.

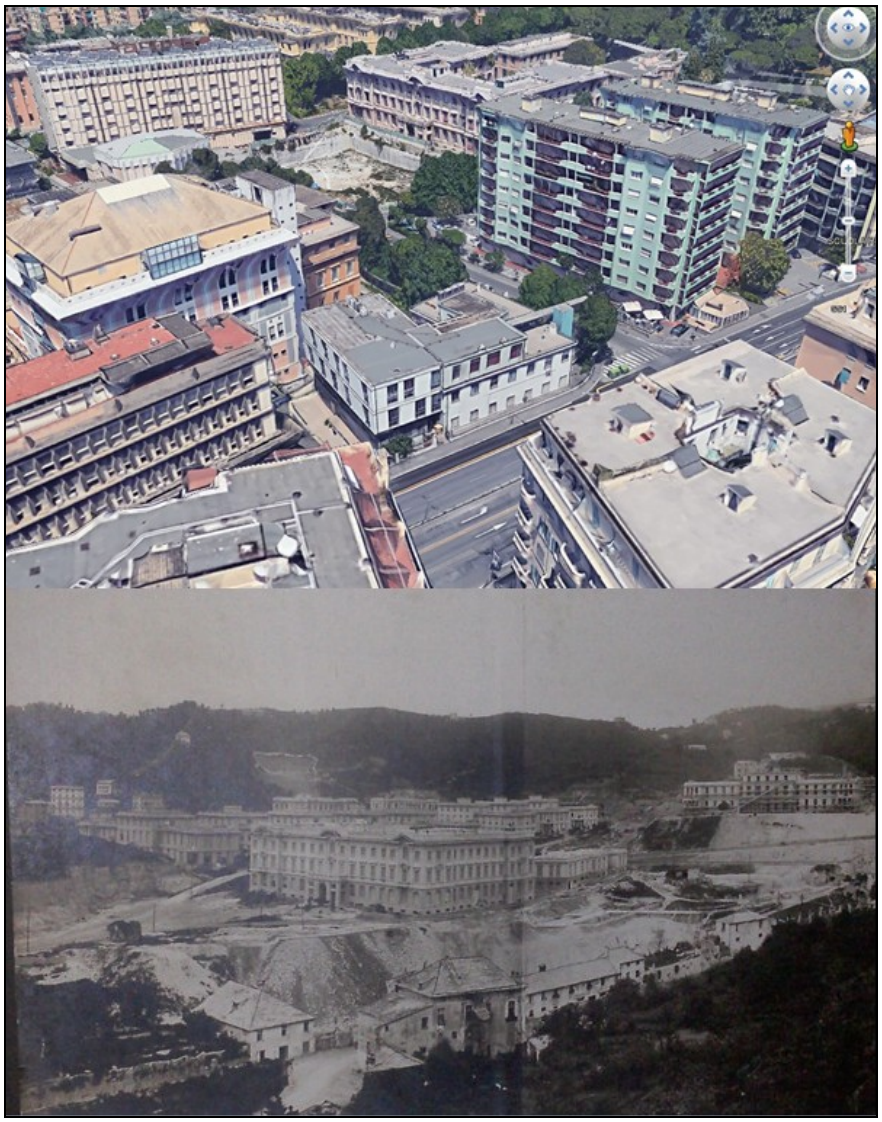

Foto 8.5 Sopra: l'Ospedale S. Martino oggi (Google Earth) affacciato su piazzale Benzi. Sotto i lavori di costruzione in un'immagine dei primi del 900

Di seguito viene fornita una descrizione delle singole unità litologiche derivata dai riscontri stratigrafici e dalle prove di laboratorio eseguite; per maggiori dettagli e per la caratterizzazione dei terreni si rimanda alla relazione geotecnica.

Riporto

Il riporto è un materiale eterogeneo a matrice limoso argillosa nel quale, specialmente (ma non esclusivamente) a livello dell'orizzonte più superficiale si distingue una frazione granulare che a tratti può risultare moderatamente prevalente. Contiene elementi antropici fra cui calcinacci, cocci ed altro, via via meno frequenti con la profondità, che ne hanno favorito il riconoscimento in sede di carotaggio. Dalle informazioni acquisite deriva dagli scavi per la costruzione dell'ospedale di S Martino, condotti a partire dal primi del '900, che hanno interessato prevalentemente le Argille di Ortovero; è altresì possibile che siano state contestualmente impiegate aliquote di altra provenienza e composizione.

Le prove SPT mostrano un numero di colpi N_{SPT} variabile tra 10 e 50, localmente a rifiuto nei livelli a maggiore presenza di clasti, che confermano la presenza di uno scheletro granulare.

Le analisi granulometriche sottolineano l'eterogeneità del deposito composto da ghiaia per il 30 – 45 (%), sabbia per il 15 – 25 (%) e frazione fine per il 35 – 50 (%), pertanto si tratta di una ghiaia sabbiosa con abbondante frazione fine. I limiti di Atterberg sono LL = 35 – 45 (%), LP = 18 – 25 (%) ed IP = 17 – 20 (%), ovvero si tratta di argille o limi di media plasticità. E' interessante osservare come questi valori siano analoghi a quelli riscontrabili nelle sottostanti Argille di Ortovero, indicando questa stessa formazione come unità di provenienza quantomeno dell'abbondante frazione fine riscontrata nel riporto.

Il peso dell'unità di volume γ varia tra 18.4 – 19 (KN/m3).

Il contenuto naturale d'acqua w_n varia tra 15 – 25 (%) ed è crescente con la profondità da valori inferiori a valori superiori al LP, ipotizzando che l'unità sia stata soggetta ad essiccamento.

Le prove Lefranc relative a tutte le rilevazioni disponibili misurano valori medi di permeabilità k nell'ordine di $1x10^{-7}$ – $1x10^{-4}$ m/s (con punte fino a $1x10^{-8}$ m/s) confermando la presenza di uno scheletro solido ghiaioso – sabbioso.

L'indagine sismica con tecnica MASW ha misurato valori di velocità delle onde di compressione Vp e di taglio Vs rispettivamente pari a 420 – 595 (m/s) e 200 – 290 (m/s), in accordo quindi con i valori deducibili empiricamente dalle prove SPT.

Gli stendimenti geoelettrici hanno misurato valori di resistività ρ pari a 10 - 100 (ohm m).

Depositi colluviali

Nel corso dei sondaggi al di sopra del substrato flyschioide o delle Argille di Ortovero non è stata riconosciuta la presenza di coperture colluviali, le quali potrebbero essere state assenti già in natura o asportate a seguito dei lavori di ritombamento e riempimento condotti nell'area. Non si può comunque escludere che depositi riconducibili ad una coltre colluviale siano effettivamente e localmente presenti, indistinti o indistinguibili rispetto al materiale di riporto con cui presenterebbero analogie di caratteristiche e comportamento.

Argille di Ortovero

Le Argille di Ortovero sono caratterizzate da una spiccata omogeneità a livello di caratteristiche granulometriche e geotecniche; nel dettaglio trattasi di argille marnose sovraconsolidate e compatte di media plasticità e compressibilità.

Le prove SPT forniscono valori di N_{SPT} molto elevati già nei primissimi metri, ben presto a rifiuto a causa della elevata consistenza dell'unità. Tali valori sono confermati dal fondo scala raggiunto sistematicamente per le prove con pocket penetrometer (600 KPa) e torvaine (100 KPa).

Granulometricamente l'unità è composta da un 5 – 15 (%) di sabbia, 40 – 60 (%) di limo e 30 – 40 (%) di argilla. I limiti di Atterberg sono LL = 35 – 45 (%), LP = 20 – 25 (%) ed IP = 15 – 20 (%), pertanto si tratta di argille/limi di media plasticità/compressibilità. Il contenuto naturale d'acqua w_n varia tra 20 – 25 (%) ed è prossimo al LP(%), indicando che l'unità è sovraconsolidata. Questo dato è confermato dai valori del peso di volume γ compreso tra 19 – 21 (KN/m^3

Le prove Lefranc forniscono valori di permeabilità k di $1x10^{-7}$ – $1x10^{-10}$ m/s. In rapporto alla granulometria dell'unità i valori più elevati possono essere giustificati considerando la presenza di livelletti sabbiosi che aumentano la permeabilità della massa.

L'indagine sismica con tecnica MASW ha misurato valori di velocità delle onde di compressione Vp e di taglio Vs rispettivamente pari a 932 (m/s) e 439 (m/s), a conferma della compattezza dell'unità.

Gli stendimenti di geoelettrica indicano una resistività ρ compresa tra 70 - 500 (ohm m); considerando il litotipo in questione tali valori sono riconducibili ad una massa compatta con basso valore di $w_{n.}$

Ai fini dello scavo del tunnel con micro fresa si sono misurate le caratteristiche di rigonfiamento evidenziando come l'unità sia caratterizzata da un comportamento spingente e rigonfiante medio – basso.

Flysch di Monte Antola

Il Flysch di Monte Antola è un calcare marnoso con grado litoide medio e stratificazione da decimetrica fino al metro, con giunti chiusi ad elevata persistenza e geometria planare, dotati spesso di una patina di ossidazione e/o cementati da calcite di precipitazione. La fratturazione, derivante dalla storia tettonica dell'area, è data da quattro famiglie principale intersecanti a formare blocchi angolari a più facce. Il grado di fratturazione generale della roccia è medio, con RQD variabile tra 40 – 70 (%) e zone, riscontrabili sulla stessa verticale e correlabili con elementi tettonici principali o secondari, che raggiungono punte minime nel campo 0 - 30%. La porzione più superficiale dell'Antola dai carotaggi eseguiti mostra un grado di alterazione e fratturazione marcato con RQD = 10 – 30 (%) fino a RQD = 0 (%), e giunti spesso riempiti da materiale limoso – sabbioso derivante dal dilavamento dei terreni sovrastanti

La composizione mineralogica dei calcari marnosi dell'Antola, definita tramite prove difrattometriche eseguite per la progettazione dello scolmatore del Bisagno è la seguente:

- 60 – 75 (%) calcite;
- 20 – 30 (%) quarzo;
- 0 – 3 (%) feldspati;
- 2 – 8 (%) argilla.

Non sono state eseguite prove SPT a causa del grado litoide dell'unità

Le indagini eseguite mostrano un peso di volume γ variabile tra 23.5 e 26 (KN/m^3) e risultati delle prove di compressione monoassiale e di trazione indiretta compresi tra σ_{ci} = 10 – 50 (MPa) e σ_{ti} = 4 – 7 (MPa), che nei range inferiori non sembrano essere rappresentativi della reale resistenza della roccia evidenziata dalle numerose indagini pregresse, e che probabilmente deriva dalla presenza di discontinuità all'interno dei campioni stessi. L'estesa indagine eseguita nel 2005 a supporto del progetto definitivo dello scolmatore del Bisagno ha infatti sinteticamente individuato i seguenti parametri medi:

- GSI = 40 – 60 da sondaggi e rilievi geostrutturali di superficie;
- k = $5x10^{-7}$- $5x10^{-8}$ (m/s) da prove Lugeon;
- E = 1.5 – 8.0 (GPa) da prove dilatometriche;
- σ_{ci} = 47 ± 24 (MPa) da prove di compressione;
- σ_{ci} = 94 ± 48 (MPa) da prove di point load;
- σ_{ti} = 6 ± 3 (MPa) da prove di trazione.

Le prove di laboratorio nel complesso disponibili portano quindi ad individuare per la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta σci un valore cautelativamente compreso nel range 25 – 50 (MPa).

Le prove Lugeon eseguite nella campagna del 2016 in corrispondenza di settori con RQD pari a 40 – 70 (%), rappresentativi del grado medio di fratturazione dell'ammasso roccioso, forniscono valori di k variabili fra $1x10^{-7}$ e $5x10^{-7}$ (m/s) e sono in accordo con le indagini e studi precedenti. Le prove hanno evidenziato un comportamento elastico di apertura e chiusura dei giunti in funzione delle pressioni applicate.
Gli stendimenti geoelettrici hanno registrato valori di resistività ρ tra 500 – 1.000 (ohm m) tipici di calcari marnosi, che si incrementano con la profondità per il passaggio ad un ammasso più compatto.
L'indagine sismica con tecnica MASW ha misurato valori di velocità delle onde di compressione Vp e di taglio Vs rispettivamente pari a 932 – 1.353 (m/s) e 439 – 640 (m/s) negli strati superficiali, che si incrementano progressivamente con la profondità sino a valori di oltre Vp 2.000 m/s e Vs 1.000 m/s.

9. SISMICITA'

La normativa sismica italiana vigente sino al 20/03/2003 è rappresentata dalla legge 64/1974, "*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"*, corredata ed integrata dalle relative Norme Tecniche emanate essenzialmente con DMLLPP del 03 marzo 1975 ed aggiornate con DMLLPP del 16 gennaio 1996. Secondo tali norme la classificazione sismica nazionale include tre categorie sismiche di cui la terza (la meno pericolosa) introdotta con DM 13 giugno 1981 n 515.
Nel complesso, e con riferimento allo specifico atlante della classificazione sismica nazionale, è classificato all'interno delle tre sopraccitate categorie il 36,6% dei Comuni italiani, il 45,2% della superficie ed il 38,8% della popolazione. Il Comune di Genova, e con esso buona parte della Liguria, viene considerato non sismico.

Il 20 marzo 2003 è promulgata l'ordinanza n° 3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*, che fissa le regole per l'identificazione dei comuni sismici e definisce nuove norme costruttive. Diversi sono i punti innovativi introdotti. In primo luogo la classificazione sismica interessa tutto il territorio nazionale e, quindi, non esistono più comuni non sismici. In secondo luogo al tradizionale sistema di progettazione secondo le "tensioni ammissibili" è sostituito quello più rigoroso basato sugli "stati limite".
Il territorio nazionale è suddiviso in quattro zone sismiche, di cui la prima è quella a maggiore pericolosità. Ciascuna zona è caratterizzata da un fissato intervallo di accelerazioni previste al suolo e da uno spettro di risposta. L'Ordinanza 3274 sostanzialmente conferma la modesta pericolosità sismica di buona parte della Liguria ed inserisce il Comune di Genova in zona 4 (quella a minore sismicità).
Con Delibera della Giunta Regionale della Liguria 1362 del 19 novembre 2010 viene apportata una suddivisione, all'interno del territorio Comunale, a livello di Unità Urbanistiche come riepilogato in figura seguente. L'areale in studio, e con esso 60 unità urbanistiche, ricade in zona 4, mentre le 11 unità urbanistiche più settentrionali ed orientali competono alla zona 3.
Ne consegue una modesta pericolosità sismica; a livello di zonazione sismica la più bassa in ambito nazionale.

Zona sismica 3	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti. Sono classificate in classe sismica 3 le Unità Urbanistiche di Bavari, Doria, Molassana, Montesignano, Morego, Nervi, Pontedecimo, Prato, San Desiderio, Sant'Eusebio e San Quirico, per un totale di 11 Unità Urbanistiche.
Zona sismica 4	Zona con pericolosità sismica molto bassa. E' la zona meno pericolosa dove le possibilità di danni sismici sono basse. Sono classificate in zona 4 le rimanenti 60 Unità Urbanistiche: Crevari, Voltri, Ca' nuova, Palmaro, Prà, Castelluccio, Pegli, Multedo Sestri, S.G. Battista, Calcinara, Borzoli ovest, Borzoli est, Certosa,Rivarolo, Teglia, Begato, Bolzaneto, Cornigliano, Campi, Campasso, S. Gaetano, Sanpierdarena, Belvedere, S. Bartolomeo, S.Teodoro, Lagaccio, Oregina, Prè, Maddalena, Molo, San Nicola, Castelletto, Manin, S. Vincenzo, Carignano, Foce, Brignole, Sant'Agata, S.Fruttuoso, Quezzi, Ferreggiano, Marassi, Forte Quezzi, Parenzo, San Pantaleo, Apparizione, Borgoratti, Chiappeto, San Martino, Palmaro, S.Giuliano, Lido, Puggia, Sturla, Quarto, Quartara, Castagna, Quinto.

Figura 9.1 Suddivisione delle unità urbanistiche del Comune di Genova in funzione della zona sismica.

Mediante la banca dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) è stata ottenuta la figura 9.2 che riporta lo schema, semplificato, della storia sismica della città di Genova per eventi aventi intensità al sito > 5.

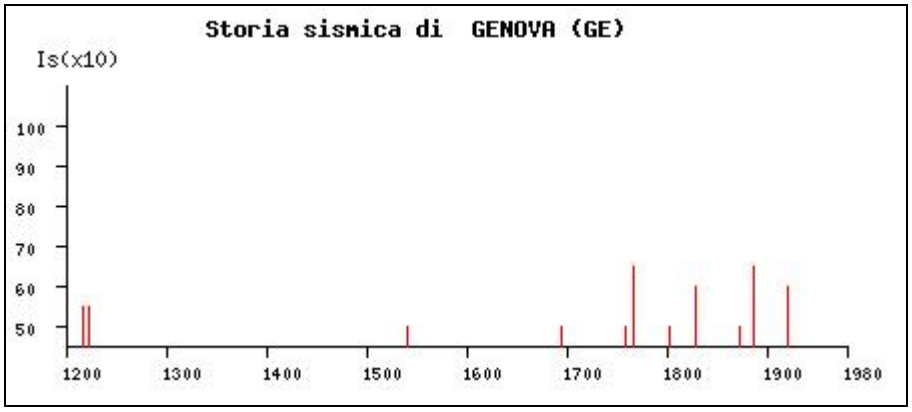

Figura 9.2. Storia sismica di Genova (banca dati INGV)

E' evidente come la modesta pericolosità derivi essenzialmente da un ridotto numero di eventi registrati cui compete, generalmente, un'intensità al sito bassa. Il maggior numero di registrazioni relative ai periodi successivi al 1800 è imputabile forse più alla quantità d'informazioni reperibili sul territorio che ad un reale incremento della sismicità dell'area. In diversi casi si tratta inoltre di sismi "indiretti" i cui epicentri sono localizzati al di fuori della Liguria.

La tabella 9.1 riporta i primi 10 records (su un totale di oltre 70) relativi alla città di Genova con indicazione del relativo epicentro, della massima intensità registrata nella città (Is) e sull'epicentro stesso (Ix).

Data	**Effetti**	**in occasione del terremoto di:**		
Ye Mo Da Ho Mi	Is (MCS)	Area epicentrale	Ix	Ms
1767 02 07 03 45	65	GENOVA	65	47
1887 02 23	65	LIGURIA OCC.	100	64
1182 08 15	60	GENOVA	60	44
1828 10 09	60	VAL STAFFORA	80	52
1920 09 07 05 55	60	GARFAGNANA	100	65
1217 01 08	55	GENOVA	55	42
1222 12 25 11	55	BRESCIANO	80	59
1541 10 22 18	50	VALLE SCRIVIA	80	55
1695 02 25 05 30	50	ASOLO	90	64
1759 05 26 01 30	50	PAVIA	60	44

Tabella 9.1. Principali registrazioni sismiche relative alla città di Genova.

In un quadro di pericolosità sismica la figura seguente mostra i valori d'intensità massima sull'intera regione, i cui range sono congruenti con quelli di cui alla tabella 9.1.

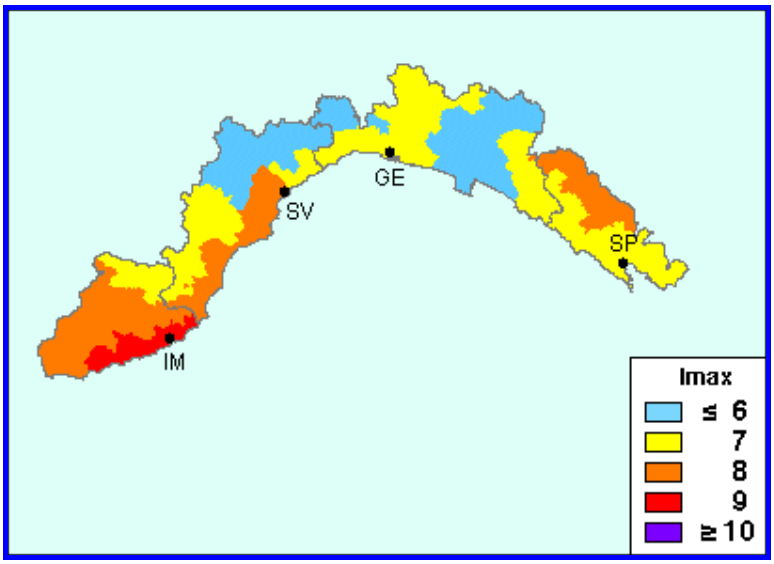

Figura 9.3. Regione Liguria. Massima intensità sismica (fonte: GNDT – ING).

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) di cui al D.M. 14-01-2008, elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale il 4 febbraio 2008, modificano le modalità di valutazione delle azioni di progetto. Alle NTC,

sulla quali si basa la presente progettazione, è allegato infatti un documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), che prevede come l'azione sismica di riferimento (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica. Essa è legata non più al Comune di appartenenza bensì al periodo di riferimento (a sua volta funzione della tipologia ed importanza dell'opera) ed alle coordinate geografiche specifiche del sito.
Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni ag e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei seguenti tre parametri fondamentali:

- ag: accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F0: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- TC*: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno.

La figura seguente rappresenta i valori di pericolosità sismica secondo l'OPCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b, per l'area in esame. Nella mappa sono riportati i valori medi (con deviazione standard) corrispondenti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni) della PGA (acronimo di Peak Ground Acceleration).
Dalla figura è possibile evincere che l'area in studio ha una PGA dell'ordine 0.050 – 0.075, con valori che tendono a crescere moderatamente spostandosi verso nord e verso est in congruenza con la suddivisione della sismicità in funzione delle unità urbanistiche.

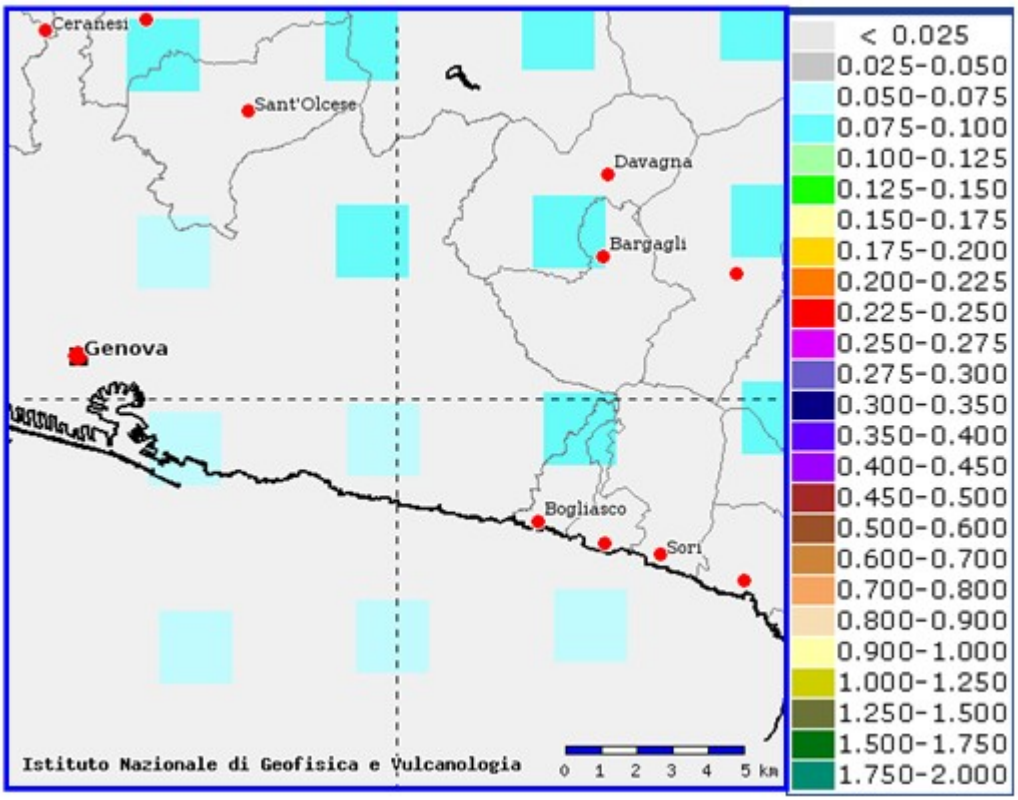

Figura 9.4. Valori di pericolosità sismica (OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Vs30>800 m/s, suolo di categoria A).

Nelle NTC 2008 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sulla suddivisione dei terreni d'imposta, al di sotto del piano di fondazione, in base ai valori di velocità delle onde sismiche trasversali nei primi 30 m (Vs30) (tabella 9.2).

Categoria	***Descrizione***
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30}$>50 nei terreni a grana grossa e $c_{u,30}$>250 kPa nei terreni a grana fine).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche

	con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15<N_{spt,30}<50$ nei terreni a grana grossa e $70<c_{u,30}<250$ kPa nei terreni a grana fine).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt,30}<15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30}<70$ kPa nei terreni a grana fine).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10< c_{u,30}<20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 9.2. Categoria di suolo di fondazione ai sensi delle NTC

La velocità delle onde sismiche trasversali nei primi 30 m sotto il piano di posa della fondazione (Vs30) è definita come:

$$Vs30 = 30 / Si = 1,N\ hi / Vi$$

dove hi e Vi indicano rispettivamente lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato iesimo entro i 30 m dalla fondazione.

Per l'individuazione della categoria di suolo di fondazione sono state effettuate n° 3 indagini tipo Masw con misura del valore di Vs30 ubicate rispettivamente: Masw1 nei giardini Reale accanto al pozzo Carena; Masw 2 nei giardini Balduzzi accanto al pozzo 1 di lancio, Masw 3 accanto al pozzo di recupero nel cortile della scuola Repetto. In base ai dati ottenuti si può assumere quanto segue:

- zona pozzo Carena e giardini M. Reale: Vs30 = 364 m/s, categoria B ai limiti della C (il passaggio fra B e C è Vs30 = 360 m/s). Cautelativamente si considera categoria C;
- Viale Benedetto XV fino Via Pastore, Largo Benzi con la parte alta ed intermedia della Salita Superiore della Noce: Vs 30 intorno a 300 m/s, categoria C.
- parte inferiore della Salita Superiore della Noce relativa al pozzo P3 di recupero e all'opera di presa: Vs30 = 426 m/s, categoria B.

Occorre inoltre tenere in considerazione l'effetto della superficie topografica ai sensi di quanto elencato in tabella 3.2.IV delle NTC 2008, debitamente riportata nella tabella seguente. Nel caso in studio si considera categoria T1.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <15°
T2	Pendii con inclinazione media >15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media compresa fra 15 - 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media > 30°

Tabella 9.3 . Categorie topografiche ai sensi delle NTC 2008

La valutazione della pericolosità sismica locale è stata condotta utilizzando la procedura indicata nelle NTC/2008 e nella successiva Circolare n°617/2009. In tal senso la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido (Vs >800 m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". I parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto sono calcolati, direttamente per il sito in studio, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento riportato nell'Allegato B delle NTC/2008. Più precisamente la pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in tale sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Il suddetto lasso di tempo è denominato "periodo di riferimento" VR, mentre la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR. Il periodo di riferimento V_R si ricava, per ciascun tipo di opera, moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

La vita nominale V_N di un'opera (tabella 9.4) è intesa come il numero di anni in cui la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Tabella 2.4.I – *Vita nominale V_N per diversi tipi di opere*

	TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva[1]	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Tabella 9.4. Vita nominale

Nel caso in argomento Vita nominale $V_N \geq 50$ anni (opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale).

Il coefficiente Cu esprime la Classe d'uso nella quale sono suddivise le opere con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso.
In presenza di Azioni Sismiche le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso la cui definizione è di seguito sinteticamente riportata:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso provochi conseguenze rilevanti
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente, reti viarie di tipo A o B (come definite nel D.M. 5 novembre 2001 n.6792) importanti per il mantenimento delle vie di comunicazione, dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica

Nel caso in studio la classe d'uso è la IV cui compete Cu = 2.

Sulla base dei valori di V_N e di C_U sopra definiti ne consegue che il Periodo di Riferimento risulta pari a:

$$\mathbf{V_R} = V_N \times C_U = 50 \times 2 = \mathbf{100\ anni.}$$

Per quanto riguarda le probabilità PVR di superamento nel periodo di riferimento VR esse variano al variare dello stato limite considerato. In particolare i valori cui riferirsi per individuare l'azione sismica sono riportati in tabella 9.5.

STATO LIMITE		P_{VR} - Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 9.5. Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato da NTC 2008

Dove:

- **SLO** = Stato Limite di Operatività: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **SLD** = Stato Limite di Danno: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.
- **SLV** = Stato Limite di Salvaguardia della Vita: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte di resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **SLC** = Stato Limite di prevenzione del Collasso: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli nei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Fissato il periodo di riferimento VR e la probabilità di superamento PVR, il periodo di ritorno TR si ricava mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Come anticipato le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F0 = valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- TC* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I valori dei parametri di cui sopra sono allegati in calce alle NTC per diversi periodi di ritorno (TR), e distinti in base ad un codice di identificazione (ID) nonché alle coordinate geografiche (latitudine e longitudine) dei nodi di un reticolo di riferimento nazionale.
Per gli innumerevoli punti interposti fra i nodi tali parametri possono essere dedotti mediante interpolazione, anche impiegando il programma "Spettri-NTC.ver.1.03", realizzato dal Ministero delle Infrastrutture – Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (figura 9.5) sulla base delle locali coordinate geografiche o, più generalmente, del comune di appartenenza.

Figura 9.5 Schermata del programma Spettri-NTC.ver.1.03.

Facendo riferimento ad un valore di V_R = = 100 anni i parametri spettrali per i periodi di ritorno associati a ciascuna condizione di stato limite, e gli spettri di risposta, sono i seguenti:

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0.032	2.534	0.214
SLD	101	0.038	2.555	0.243
SLV	949	0.087	2.532	0.297
SLC	1950	0.111	2.525	0.303

Tabella 9.6 Parametri spettrali di riferimento.

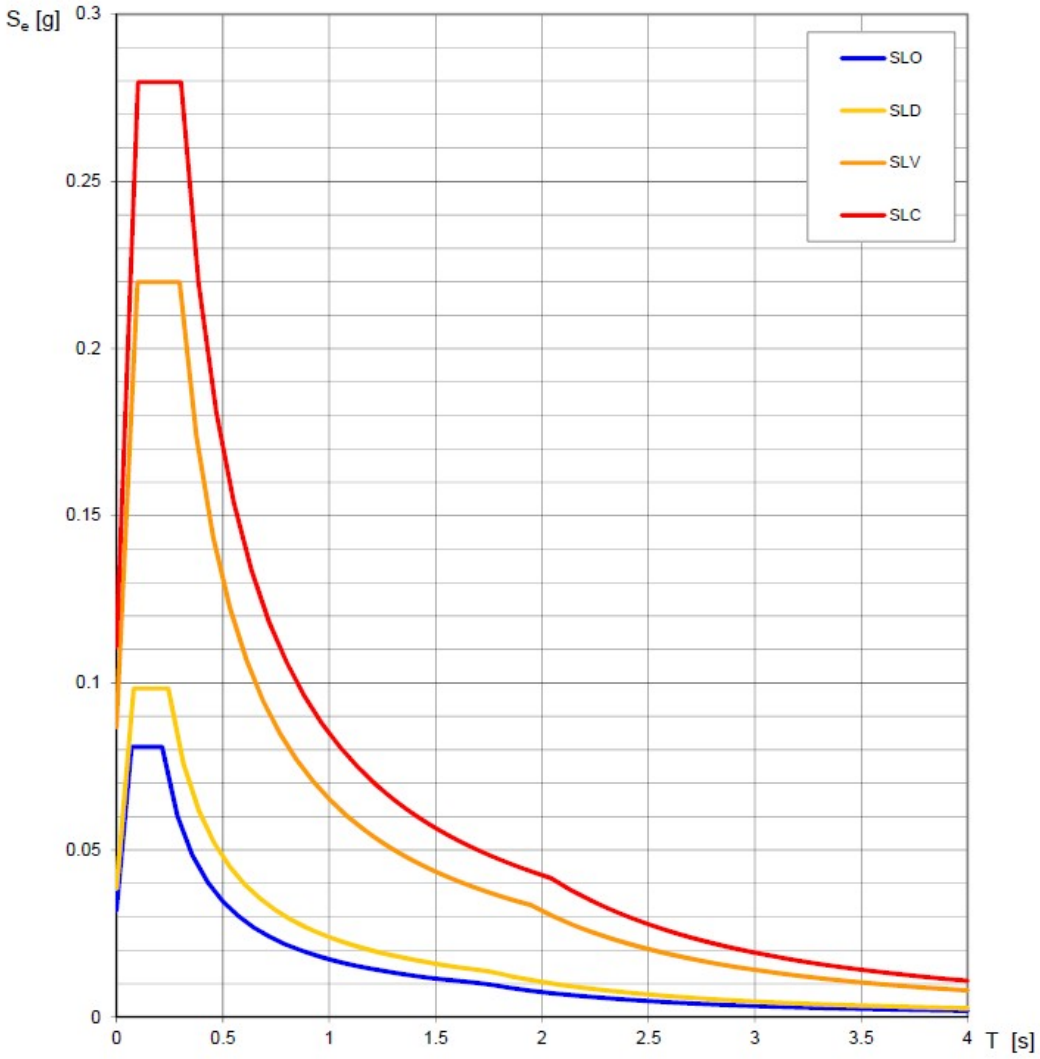

Figura 9.6 Spettri di risposta elastici per i diversi stati limite

9.1. Liquefazione dei terreni

La liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo, durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Vale la pena evidenziare che laddove sono presenti i caratteri predisponenti non è detto che si possano realizzare le condizioni di cause scatenanti; ovvero un terreno sabbioso può avere tutti i requisiti granulometrici e di addensamento per liquefarsi, ma nell'area può non verificarsi mai un sisma con energia sufficiente. Viceversa possono esserci le energie sufficienti ma le caratteristiche granulometriche dei litotipi possono essere tali da non essere suscettibili di liquefazione.

Il "Testo Unico - Norme tecniche per le costruzioni", DM 18/01/2008, indica al punto 7.11.3.4.2, che le verifiche alla liquefazione per le opere possono essere omesse quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- eventi sismici di magnitudo M inferiore a 5;
- accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero inferiori a 0.1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e per strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30, dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata attraverso le prove SPT, normalizzata ad una tensione efficace di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna all'ambito dei fusi forniti nella fig. 7.11.1 delle NTC 2008.

Nel caso in argomento, e ferma restando la modesta pericolosità sismica dell'area, è possibile escludere il rischio di liquefazione in quanto:

- le accelerazioni massime attese a piano campagna sono inferiori a 0.1 g;
- i terreni sono caratterizzati da una discreta presenza di materiale fine e da resistenze penetrometriche elevate;
- la falda staziona spesso a profondità superiori a 15 m da p.c.

10. IL BY PASS DEL RIO NOCE

L'opera prevista in progetto è rappresentata dalla galleria di by pass del Rio Noce nel tratto compreso fra la Salita Superiore della Noce fino ai Giardini Reale. Posta in un contesto fortemente antropizzato con numerose strutture di superficie fra cui fabbricati a uso residenziale, il padiglione dell'Ospedale di San Martino ed edifici universitari, alcuni dei quali anche di particolare pregio artistico ed architettonico, l'opera viene realizzata mediante tecnica del microtunneling.
La galleria ha diametro interno di 2.500 mm ed esterno di 3.000 mm e si sviluppa dal pozzo P1 di lancio, all'altezza dei giardini Balduzzi, fino al pozzo di arrivo ubicato nel cortile della scuola Repetto dove avviene il recupero della macchina.
Oltre alla galleria le opere principali sono:

- il pozzo P1 posto in corrispondenza dei Giardini Balduzzi, da cui viene lanciato lo scavo con microtunnelling sia verso la Salita Superiore del Noce che verso il pozzo Carena;
- il pozzo P2 posto in corrispondenza del parcheggio dei condomini con accesso da Via Pastore, tramite il quale vengono intercettate le acque provenienti dall'area dell'ospedale S. Martino;
- il pozzo P3 in Salita Superiore del Noce (cortile scuola Repetto) attraverso il quale verrà estratta la macchina per il microtunnelling con, in adiacenza, il pozzo di intercettazione (opera di presa) che capta le acque dello scatolare esistente del Rio Noce;
- il breve tratto tra il pozzo n° 1 e i giardini Reale, realizzato con tecnica microtunnelling per il superamento di Viale Benedetto XV, e la prosecuzione (prevista in altro appalto) fino al pozzo Carena mediante uno scatolare tra paratie di micropali;
- il piccolo pozzo P4 posto nel cortile del dipartimento di Igiene dell'Università di Genova, tramite il quale saranno intercettate e convogliate nel nuovo by pass le acque bianche provenienti dalla zona della Clinica Chirurgica e dall'area universitaria a valle di Viale Benedetto XV.

La Carta Geologica allegata al progetto, redatta in scala 1:5.000 ed ottenuta attraverso l'insieme dei dati a disposizione (elementi bibliografici, progetti del deviatore del Fereggiano e scolmatore del Bisagno, rilievi e indagini in sito) mostra una generale coerenza con le informazioni dedotte da diversa fonte. Solo in corrispondenza dei giardini Mario Reale è stata indicata, sulla base dei sondaggi eseguiti, la presenza delle Argille

di Ortovero (sebbene con uno spessore pellicolare e soggiacenti una potente coltre di materiale di riporto) mentre la cartografia del PUC e del Piano di Bacino riportano la Formazione dell'Antola.
A livello di carta geologica il by pass del Noce si sviluppa all'interno del graben di Terralba in aree di competenza delle Argille di Ortovero.
Accanto a questa sostanziale omogeneità e uniformità geologica a grande scala le indagini dirette ed indirette eseguite dimostrano una estrema variabilità laterale e verticale. Tale variabilità è legata alla complessa ed originaria struttura morfologica, connessa con la diversa erodibilità delle formazioni affioranti e con la presenza di elementi tettonici, che ha favorito la messa in posto di una serie di alti e bassi strutturali; tutto ciò è stato successivamente ammantato dall'urbanizzazione delle aree sviluppata attraverso scavi, riporti e tombamenti.
Le indagini eseguite individuano un substrato costituito dal Flysch di Monte Antola posto ora a pochi metri da p.c. (Piazzale Scuola Repetto) ora attorno a 13 - 20 m da p.c. (Giardini Reale e Balduzzi) ora a quota tale da non essere neppure raggiunto dalle massime profondità indagate (Piazzale Benzi con sondaggi spinti sino a 35 m da p.c.). Conseguentemente lo spessore delle Argille di Ortovero, poggianti sul Flysch, varia della stessa misura da valori di oltre 30 m a pochissimi metri.
In superficie le Argille di Ortovero sono visibili in affioramento unicamente in corrispondenza dello scavo del parcheggio interrato di Piazzale Benzi (foto 10.1) mentre in tutte le aree indagate i terreni naturali soggiacciono materiale di riporto avente spessore da metrico a decametrico.

Foto 10.1 Argille di Ortovero nello scavo del garage interrato di Piazzale Benzi

In tale contesto è stata prodotta una carta geologica che vuole rappresentare, al di la della forte antropizzazione, la natura dei terreni presenti al di sotto di una estesa e generalizzata coltre di materiale di riporto. In ogni caso la carta geologica, pur utile e necessaria ai fini di un inquadramento geologico di progetto, per effetto della sopraccitata variabilità laterale e verticale, unitamente all'estesa presenza di materiale di copertura in un contesto di totale antropizzazione, risulta di difficile lettura e modesta utilità.
Per la progettazione dell'opera e per un corretto inquadramento geologico stratigrafico è quindi opportuno fare riferimento al profilo geologico del by pass.

La carta geomorfologica sottolinea la marcata antropizzazione di un'area che ha totalmente perso le caratteristiche originarie, e nella quale non si ha evidenza di fenomeni di dissesto in atto o potenziali. La suscettività al dissesto, di cui alla cartografia del PAI, è media per effetto della diffusa presenza di materiali argillosi, mentre dalla carta degli elementi di rischio l'intera area è classificata E3: "centri urbani, grandi insediamenti industriali e commerciali, beni architettonici storici e artistici". Ne consegue la necessità di un approccio progettuale ed esecutivo particolarmente cautelativo.

La carta idrogeologica evidenzia la diffusa presenza di depositi scarsamente permeabili con ampie superfici pavimentate e, come tali, impermeabili. I piezometri hanno messo in luce la presenza di una falda, debolmente risaliente, contenuta nel Flysch di Monte Antola; piccole venute idriche sono possibili in corrispondenza degli orizzonti più francamente sabbiosi delle Argille di Ortovero.

In corrispondenza del cantiere (al momento interrotto) del garage interrato di Piazzale Benzi in occasione di eventi meteorici intensi e prolungati possono formarsi accumuli temporanei d'acqua.

La fotografia 10.2 mostra lo scavo del parcheggio interrato visto da sud, delimitato da Via Pastore e Salita Superiore della Noce, mentre la foto 10.3 mostra la presenza di ristagni d'acqua a fondo scavo dopo forti piogge.

Foto 10.2 Lo scavo del parcheggio interrato di Piazzale Benzi (Google Earth)

Figura 10.1 Ristagni d'acqua sul fondo scavo del parcheggio interrato di Largo Benzi

10.1. Modello stratigrafico e idrogeologico di riferimento

Il profilo geologico di cui all'elaborato PE.DS.104 è stato redatto sulla base dei riscontri dei sondaggi specificamente eseguiti nel 2016 in fase di progettazione esecutiva, che integrano a loro volta sondaggi pregressi eseguiti in sede di progettazione definitiva, sondaggi eseguiti per la progettazione dell'autosilo in largo Benzi e sondaggi eseguiti per la progettazione dello scolmatore del Bisagno o deviatore del Fereggiano. Sono altresì disponibili tomografie elettriche eseguite in fase di progettazione definitiva ed esecutiva che, in un quadro di spiccata variabilità, permettono di integrare la ricostruzione stratigrafica in aree interposti fra i sondaggi puntuali.

Da una prima osservazione si evince come la messa in posto del graben in seno al Flysch di Monte. Antola non abbia creato un piano uniforme, bensì siano presenti brusche e continue variazioni di quota del tetto di questa unità imputabili probabilmente ad effetti tettonici. Su tale irregolare superficie si sono deposte le Argille di Ortovero, il cui spessore varia in funzione della posizione del tetto del substrato roccioso.
A seguito della definitiva emersione dell'area il Flysch di Monte Antola e le Argille di Ortovero sono state erose dagli agenti esogeni, in particolare dai corsi d'acqua che

scendono dai rilievi, in modo diverso a seconda del relativo grado di consistenza. Ad ulteriore complicazione l'urbanizzazione dell'area ha portato alla messa in posto di importanti spessori di materiale di riporto aventi lo scopo di spianare e regolarizzare le aree.

Di seguito si riporta la descrizione del profilo del by pass del Noce partendo dal pozzo Carena e proseguendo verso l'opera di presa in Salita Superiore della Noce. In tale contesto il riporto è stato riconosciuto come tale avendo riscontrato la presenza di elementi antropici (laterizio, cocci ecc).
Il sondaggio S1N (2016) lungo 40 m è ubicato in prossimità dell'esistente pozzo Carena ed individua il tetto del Flysch di Monte Antola a circa 13 m dal piano campagna; su di esso poggia una sottile coltre (meno di 3m) attribuita alle Argille di Ortovero a sua volta soggiacente materiale di riporto.
Proseguendo verso il pozzo P1 o di spinta il tetto dell'Antola si approfondisce raggiungendo prima i 15 m dal piano campagna nel sondaggio SA3 (2002) e poi i 20 m nel sondaggio S2N (2016) ubicato in corrispondenza del pozzo stesso. Le Argille di Ortovero mantengono spessori modesti fra 1 – 2 m, mentre su di esse poggia una potente coltre di materiale di riporto a matrice limoso argillosa la cui composizione risulta più granulare nei primi 2 – 4 m da p.c.
Il tracciato prosegue lungo via Benedetto XV dove all'altezza del sondaggio S3N (2016) il tetto dell'Antola risale bruscamente portandosi a circa 8,7 m da p.c., di cui circa 3,6 m di riporto e circa 5,1 m di Argille di Ortovero.
Già all'altezza di Via Alberti il sondaggio SA2 (2002), e alla fine di Via Benedetto XV il sondaggio S4N (2016) mostrano la presenza delle Argille di Ortovero fino alle massime profondità indagate (rispettivamente 22 m e 30 m) senza intercettare il Flysch di Monte Antola, con una coltre di riporto che è di circa 11 m nel sondaggio SA2 sino quasi ad annullarsi nel sondaggio S4N. Questo dato è confermato anche dal sondaggio SA1 (2002) nonché da tutti i sondaggi eseguiti per la progettazione dell'autosilo di Largo Rosanna Benzi nel 1999 e nel 2005, interamente compresi nelle Argille di Ortovero con modesto riporto superficiale.
Ne deriva che il tratto di tunnel compreso tra il pozzo P1 di spinta e l'incrocio di via Benedetto XV con via Pastore (Dipartimento di Igiene) si svilupperà nelle Argille di Ortovero e nel Flysch di Monte Antola, che si alterneranno lungo il tracciato con passaggi laterali che potrebbero essere caratterizzati da pezzame o breccia di faglia, e per un breve tratto in uscita dal pozzo stesso in materiale di riporto.

L'ubicazione dei limiti tra Antola ed Ortovero si è basato sui dati puntuali dei sondaggi integrati dall'interpretazione degli stendimenti di tomografia elettrica, i quali hanno altresì evidenziato almeno una brusca dislocazione tettonica (faglia) presso il sondaggio SA1 (2002).

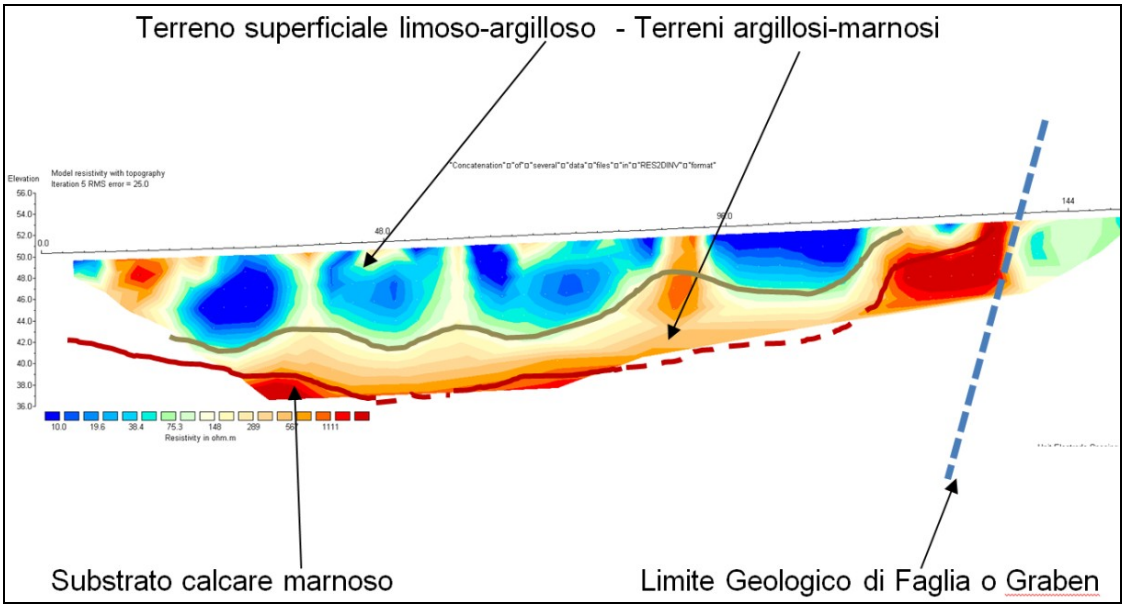

Figura 10.2 Sezione elettrotomografica ERT1 lungo viale Benedetto XV

Al termine di via Benedetto XV il tracciato curva seguendo la Salita Superiore della Noce, passando per i pozzi P2 e P4 a valle di Piazzale Benzi, fino al pozzo P3 di recupero della micro fresa posto, insieme all'opera di intercettazione, nel cortile della Scuola Materna Delia Repetto. Lungo la Salita Superiore della Noce i sondaggi S5N (2016) - S6N (2016) ed S4N (2016) sono stati interpolati dallo stendimento geoelettrico ERT 2 (figura 10.3).

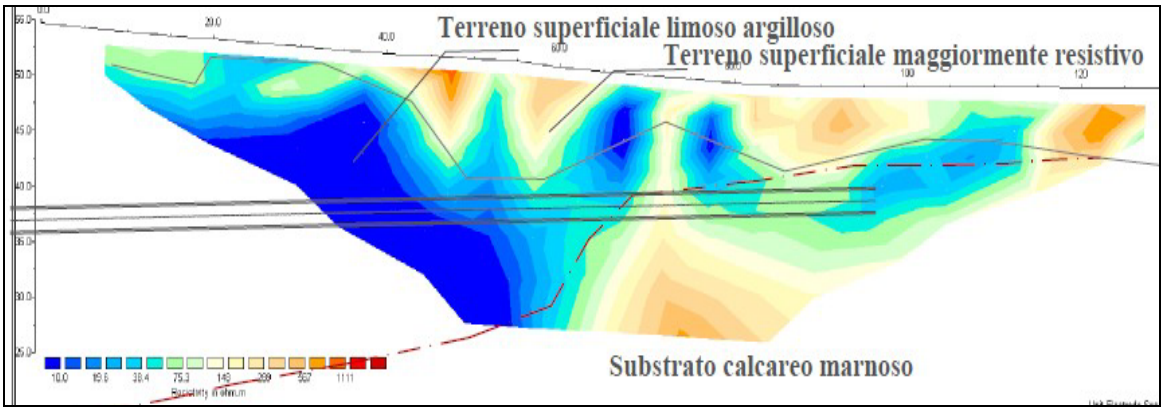

Figura 10.3 Sezione elettrotomografica ERT2 lungo salita Superiore della Noce

In corrispondenza del piazzale della scuola Repetto la galleria attraverserà il Flysch dell'Antola posto alla profondità di 6 – 7 m da p.c. al di sotto di una coltre di materiale di riporto, mentre nel tratto lungo la Salita Superiore della Noce, fino al Dipartimento di Igiene, il substrato roccioso si approfondisce sensibilmente portando lo scavo nel materiale di riporto e nelle Argille di Ortovero.
Lo scavo del pozzo P3 di recupero interesserà materiale di riporto e, da circa 7 m da p.c., i calcari marnosi.
L'opera di intercettazione sarà confinata in materiale di riporto lambendo il tetto del Flysch a partire da circa 6 m da p.c.
Il pozzo P2 è previsto nel materiale di riporto mentre il pozzo P4 interamente nelle Argille di Ortovero.
Lo scavo dello scatolare di collegamento al pozzo Carena (non previsto nel presente appalto) attraverserà materiali di riporto mentre la galleria sarà prevalentemente posta nel Flysch di Monte Antola.

Dal punto di vista idrogeologico i piezometri installati nel corso della campagna del 2016 riscontrano un livello idrico a circa 17 m di profondità in corrispondenza del pozzo Carena e del pozzo P1, corrispondente alla quota + 31 m s.l.m., ovvero in prossimità del piano di posa dei tubi prefabbricati della galleria. Lo scavo del pozzo P1 si porterà quindi al di sotto della piezometrica nei tratti nel Flysch dell'Antola; tuttavia si tratta di venute d'acqua localizzate e gestibili, così come evidenziato anche nel corso degli scavi (attualmente in corso) della galleria del Fereggiano.
Proseguendo lungo via Benedetto XV fino a via Pastore la quota di falda rimane sostanzialmente invariata ma, essendo la galleria in leggera salita, si pone in corrispondenza o appena al di sotto del piano di posa dei tubi.
Dall'incrocio con Via Pastore lungo la Salita Superiore della Noce fino al cortile della scuola Repetto la piezometrica risale seguendo l'andamento del substrato roccioso raggiungendo una profondità minima di circa 5,6 m, quota circa + 43.2 m s.l.m., in corrispondenza dell'opera di intercettazione del Noce. Con riferimento alla galleria rimane in corrispondenza o appena sopra all'opera, viene intercettata nel corso degli scavi della porzione inferiore dei pozzi P2 e P3, e rimane in prossimità di fondo scavo nell'opera di presa. Trattasi di una falda contenuta in materiali a modesta permeabilità in buona parte, come già anticipato, risaliente dal sottostante Flysch di Monte Antola.

10.2. Interazione opere terreni

Il progetto del by pass del Rio Noce ricade in un contesto urbano dove predominano, a livello superficiale e subsuperficiale, materiali di riporto prevalentemente fini, o argille consistenti in posto, poggianti su un substrato roccioso. In tale contesto la soluzione progettuale adottata prevede uno scavo con tecnica del microtunneling e l'ausilio di pozzi di lancio e recupero della fresa.

Il tracciato è stato definito in modo tale da mantenersi al di sotto di viabilità esistente ed a profondità tale da evitare/minimizzare interferenze con la superficie.

La galleria sarà scavata nelle Argille di Ortovero o nel Flysch di Monte Antola, limitatamente in materiale di riporto, al di sopra o in prossimità del livello di falda. Gli scavi eseguiti con questa tecnologia impediranno il drenaggio della falda, e l'avanzamento della testa fresante avverrà contestualmente alla posa del rivestimento. La testa fresante e più in generale la microfresa dovrà essere in grado di operare in condizioni litologiche variabili passanti dalle argille consistenti e sovraconsolidate di Ortovero sino ai calcari marnosi variamente fratturati del Flysch di Monte Antola e a materiale di riporto granulometricamente eterogeneo.

Data la diffusa presenza, in superficie, di materiali sciolti di riporto non saranno previsti scavi provvisionali o definitivi non sostenuti.

I pozzi attraverseranno spesso materiali di riporto andando ad intestarsi (pozzo P1 e pozzo P3) nel substrato roccioso o argilloso. In particolare il pozzo P3 di arrivo e l'opera di intercettazione troveranno la roccia già a circa 6 – 7 m da p.c., mentre il pozzo P1 di lancio si attesterà nelle Argille di Ortovero lambendo, a circa 20,5 m da p.c., il tetto del Flysch. Il pozzo P2 sarà scavato all'interno di materiale di riporto mentre il pozzo P4 sarà interamente confinato nelle compatte Argille di Ortovero. Lo scatolare di collegamento con il pozzo Carena (non previsto nel presente appalto) sarà realizzato attraverso materiali di riporto ed intestato nel Flysch di Monte Antola con una modesta interposizione delle Argille di Ortovero.

La realizzazione dei pozzi, e in generale degli scavi all'aperto, prevede la preventiva realizzazione di una cortina perimetrale di micropali metallici Φ 300 mm, interasse 350 mm, ed uno scavo interno con prerivestimento costituito da centine e spritz beton. Data la forma quadrata o rettangolare delle opere sono previsti puntoni provvisori o definitivi. Completa l'opera un rivestimento interno in calcestruzzo.

Per realizzare il pozzo P3 e l'opera di presa sul cortile della Scuola Repetto sarà necessario occupare anche parte della sede stradale (Salita Superiore della Noce) lavorando per stralci e realizzando una deviazione provvisoria.

Causa i modesti spazi disponibili i cantieri principali troveranno spazio in corrispondenza dei giardini Balduzzi, le cui aree saranno ripristinate e restituite a fine lavori.

Gli edifici che contornano l'intervento in studio sono caratterizzati da fondazioni dirette poggianti su materiale di riporto o argille consistenti in posto; nella parte inferiore della salita superiore della Noce alcune strutture potrebbero ricercare l'appoggio direttamente nel Flysch di Monte Antola.
La realizzazione dei lavori in corrispondenza di un contesto fortemente antropizzato impone la necessità di un monitoraggio strutturale, idrogeologico e vibrometrico volto a valutare eventuali interferenze con i lavori attraverso:

- stato di consistenza degli edifici prossimi ai pozzi e allineati al tracciato della galleria per definire le relative condizioni ante operam;
- monitoraggio degli edifici e aree circostanti i lavori mediante fessurimetri elettrici a corda vibrante, caposaldi topografici e vibrometri;
- monitoraggio dei pozzi con celle di pressione, barrette estensimetriche, caposaldi topografici ed inclinometri inseriti nei micropali metallici;
- il monitoraggio piezometrico può essere condotto utilizzando gli strumenti installati in sede di progettazione (campagna 2016), la cui integrazione o sostituzione potrà essere prevista in corso d'opera.

Per maggiori dettagli sul piano di monitoraggio si rimanda agli elaborati specifici (da PE.DS.281 a PE.DS.289.

Dal punto di vista dei movimenti materie gli scavi, come già esposto, interesseranno materiale di riporto, Argille di Ortovero ed il Flysch di Monte Antola. I primi due, costituiti da depositi prevalentemente limoso argillosi, o comunque con una frazione fine molto importante, classificabili generalmente come A2-7 - A4 - A6 della CNR UNI 10006 non saranno reimpiegabili nei lavori e dovranno trovare conferimento in sito opportuno. Le aliquote provenienti dagli scavi condotti nel Flysch di Monte Antola potranno essere portati in un impianto di recupero e trattamento per essere lavorati e reimpiegati, nell'ambito degli stessi o di altri lavori. Per tale motivo nel bilancio terre le diverse aliquote (Argille di Ortovero, calcari del Monte Antola e materiale di riporto) sono state debitamente separate.

11. CONCLUSIONI

Il Rio Noce è un corso d'acqua tombato al di sotto del reticolo cittadino il cui deflusso idrico, complice la ridotta sezione, la vetustà della struttura e il mutato regime delle precipitazioni, ha più volte dato origine a rigurgiti e fenomeni di allagamento.
L'intervento in progetto è volto ad intercettare le acque del Rio Noce all'altezza della "Scuola d'Infanzia Delia Repetto", in via Salita Superiore della Noce, trasportandole fino all'esistente pozzo Carena, nei giardini Reale, tramite una galleria realizzata con tecnica microtunnel che si svilupperà al di sotto della stessa Salita della Noce e via Benedetto XV. Dal pozzo Carena in futuro saranno convogliate all'interno della galleria dello scolmatore del Fereggiano, attualmente in fase di scavo.
L'area di progetto è stata studiata attraverso una nutrita documentazione bibliografica, ivi compresi i progetti del deviatore del Fereggiano e scolmatore del Bisagno, ed indagata attraverso svariate campagne succedutesi dal 1999 al 2005, fino a quella del 2016 eseguita a specifico supporto della progettazione esecutiva delle opere.
Agli inizi del 1900 tutta l'area interessata dal progetto del by pass è stata oggetto d'importanti interventi di rimodellamento dell'originaria topografia per realizzare dapprima gli edifici del complesso ospedaliero di S. Martino, successivamente le strutture universitarie. I suddetti lavori hanno comportato importanti movimenti materie e la tombinatura del Noce e relativi affluenti.
Al di la di quello che risulta dalla cartografia geologica l'assetto stratigrafico è molto eterogeneo e dominato da un graben tettonico, sviluppato all'interno del substrato roccioso del Flysch di Mt. Antola, colmato da depositi marini delle Argille di Ortovero. La successione stratigrafica si chiude con spessori da metrici a decametrici di materiale di riporto posti in opera a partire dalla fine del 1800.
L'assetto strutturale di cui sopra comporta una spiccata variabilità laterale e verticale dei contatti stratigrafici anche su distanze modeste.

Dal punto di vista geomorfologico non vi sono dissesti in atto o potenziali nell'intorno dei lavori. Dal punto di vista idrogeologico non sono censiti pozzi o sorgenti.

Sulla base dell'interpretazione delle indagini eseguite è stato tracciato un profilo geologico che individua i terreni previsti in corrispondenza della galleria, dei pozzi di lancio e recupero della fresa e dell'opera di presa.

La galleria si sviluppa nel Flysch di Monte Antola passante più volte, tramite contatti laterali, alle Argille di Ortovero. Localmente viene interessato anche il materiale di riporto.
I pozzi saranno scavati nei materiali di riporto fino a raggiungere o lambire il substrato flyschiode e/o le Argille di Ortovero, oppure interamente nelle Argille (pozzo P4) o nel materiale di riporto (pozzo P2).
La diffusa presenza di materiali sciolti di riporto impone l'adozione sistematica ad opere di sostegno provvisionali o definitive, evitando in qualsiasi modo scavi non sostenuti, anche temporanei. Particolare attenzione dovrà essere data alla regimazione delle acque superficiali durante la fase di cantiere e al monitoraggio strutturale e vibrazionale degli edifici prossimi alle opere e al tracciato della galleria.
I lavori di scavo della galleria si pongono in prossimità del tetto, e per un modesto tratto poco al di sotto, della piezometrica. Il fondo scavo dei pozzi si porterà al di sotto della piezometrica intestandosi nelle Argille di Ortovero (pozzi P1 e P4) nel Flysch di Monte Antola (pozzo P3) o nel riporto (pozzo P2) tutti materiali caratterizzati da una permeabilità modesta. Le misure disponibili effettuate sugli strumenti installati nel 2016 dimostrano come il livello piezometrico sia governato dalla falda, risaliente, contenuta nel Flysch di Monte Antola.

12. BIBLIOGRAFIA

ALLASINAT et al (1971) Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 Foglio 82 Genova. Servizio Geologico d'Italia.

AMENDOLIA & CAPPONI (1985) fasi de formative ed interpretazione strutturale del gruppo di Voltri. Boll. Soc. Geol. It. 297-309 Roma.

CAPPONI, CRISPINI et al (2008). Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1.50.000. Foglio 213 – 230 Genova. APAT, Servizio Geologico d'Italia, regione Liguria.

CORTESOGNO & ACCARD Note illustrative alla Carta Geologica della zona Sestri Voltaggio. Mem. Soc. Geol. It. 115 – 150 Roma.

ELTER & MARRONI (1991) Le Unità Liguridi dell'Appennino Settenrionale: sintesi dei dati e nuove interpretazioni. Mem. Descr. Carta geol. D'It. XLVI 121 – 138 Roma.

GARDIN et al (1992) I Flysch Cretacei liguri: età e significato paleogeografico. 76° Congresso Soc. geol. It. Riassunti, 96 – 101, Firenze.

GELATI & GNACCOLINI (1982) Evoluzione tettonico sedimentaria della zona limite tra Alpi ed Appennini tra l'inizio dell'Oligocene ed il Miocene medio. Mem. Soc. Geol. It. 183 – 191. Roma.

GELATI & PASQUARE' (1970) Interpretazione geologica del limite Alpi Appennini in Liguria. Riv. Ital. Paleont. Strat. 76: 513 – 579, Milano.

ISSEL (1876) Appunti paleontologici. I fossili delle marne di Genova. Annali Museo Civico St. Nat. Genova. 9: 209-265 e 10: 401-407.

LIMONCELLI & MARINI (1971) Condizioni geologico strutturali, idrografiche e geomorfologiche del territorio urbano della città di Genova e loro riflessi applicativi. Tamburini ed. 48 pp Milano.

MARINI (1981) Analisi geologico strutturale e interpretazione paleogeografica e tettogenetica dei Calcari di M. Antola. Ofioliti, 6: 119 – 150 Firenze.

MARINI (1987) le deformazioni fragili del Pliocene Ligure. Implicazioni nella geodinamica alpina. Mem. Soc. geol. It. 29: 157-169 Roma.

MARINI (1987) Litostratigrafia e assetto strutturale della Valpolcevera: revisione, nuovi dati e nuove prospettive. Giornale di geologia, 51: 1-14 Bologna.

MARINI (1988) carta geologica della Val Polcevera e zone limitrofe alla scala 1:25.000. Note illustrative. Atti Tic. Sc. Terra, 40: 33-64, Pavia.

MARINI & OTTONELLO (1997) Atlante degli acquiferi del Come di Genova. Vol. 1 e Vol. 2. Pacini 42pp e 46 pp, Pisa.

VANOSSI et al. Geologia delle Alpi Liguri: dati, problemi, ipotesi. Mem. Soc. Geol. It: 28: 5-75 Roma.