| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| 0 | 08/2013 | | Fresia | Cacciatori | Venturini |
| Revisione | Data | Oggetto revisione | Redatto | Verificato | Approvato |

REGIONE LIGURIA PROVINCIA DI GENOVA COMUNE DI GENOVA

# PROTOCOLLO D'INTESA PER GLI INTERVENTI STRUTTURALI VOLTI ALLA MITIGAZIONE DELL'EMERGENZA IDRAULICA DEL BACINO DEL TORRENTE BISAGNO, ALLA RIDEFINIZIONE URBANISTICA DEL TRATTO TERMINALE ED ALLA RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE DELL'ALVEO E DELLE AREE CIRCOSTANTI

## COMUNE DI GENOVA

AREA TECNICA - DIREZIONE MANUTENZIONE INFRASTRUTTURE E VERDE PUBBLICO

Dirigente **Ing. Stefano PINASCO**


PROGETTISTI:

**A.T.I.**

TECHNITAL S.p.A. (Capogruppo mandataria)
STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI
SGI STUDIO GALLI INGEGNERIA S.p.A.
ARTELIA GROUP S.A.

RESPONSABILE UNICO PROCEDIMENTO **Ing. Stefano PINASCO**

Staff tecnico

TECHNITAL S.p.A. (Capogruppo mandataria)
Ing. A.Scotti - Ing. S. Venturini
STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI
Ing. D Cerlini - Ing. M. Ferrari
SGI STUDIO GALLI INGEGNERIA S.p.A.
Ing. A.Galli - Ing. U. Galli
ARTELIA GROUP S.A.
Mr. O. Cazaillet


Intervento/Opera

SCOLMATORE DEL TORRENTE BISAGNO IN COMUNE DI GENOVA
PRIMO LOTTO: REALIZZAZIONE DELLE OPERE PER LA MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA DEL TORRENTE FEREGGIANO (E RIVI ROVARE E NOCE)

Elaborato
TECHNITAL S.p.A.

Dott. Ing. Simone Venturini

Oggetto della tavola

# RELAZIONI TECNICHE
# Relazione geomorfologica

Scala

Data
Agosto 2013

Progetto Definitivo

Tavola N° PD1.RG.02

| 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 GEOMORFOLOGICA

# I N D I C E


1. INTRODUZIONE 6

2. OGGETTO E SCOPO DEL LAVORO 9

3. DATI E STUDI PREGRESSI 10
   - 3.1. Progetto preliminare dello scolmatore del Bisagno 10
   - 3.2. Progetto definitivo anno 2007 dello scolmatore del Bisagno 11
   - 3.3. Progetto ITALSTRADE (1989) del deviatore del Fereggiano 12
   - 3.4. Altri progetti e documentazione bibliografica. 16

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO 17
   - 4.1. Assetto regionale 17
   - 4.2. Bacino del torrente Bisagno 19

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE 25
   - 5.1. Rilievi 25
   - 5.2. Sondaggi 26
   - 5.3. Sismica a rifrazione e riflessione 27
   - 5.4. Prove in sito e di laboratorio 27
   - 5.5. Indagini sulla galleria esistente del Fereggiano 28

6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO 30

7. GEOMORFOLOGIA DEL TRACCIATO 32

8. CONCLUSIONI 35

## DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO:

Febbraio 1989. Comune di Genova. C.I.L.T. (Consorzio Iniziative Liguri – Toscane). 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).

Settembre 1992. 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.

Giugno 1997. Comune di Genova. C.I.L.T. (Consorzio Iniziative Liguri – Toscane). Disegni di contabilità del progetto del deviatore del torrente Fereggiano.

Luglio 1997. Comune di Genova. Dipartimento VII Servizio Opere Pubbliche. Secondo stato di avanzamento per lavori a tutto il 17.06.1992. Relazione del Direttore dei Lavori.

Febbraio 1997. Comune di Genova. Dipartimento VII della programmazione e degli interventi sul territorio. Servizio strade. 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.

Settembre 1997. Comune di Genova. Dipartimento VII della programmazione e degli interventi sul territorio. Servizio strade. 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.

Marzo 2000. Comune di Genova. Direzione Servizi. 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.

Luglio 2000. ATI Binnie Black & Vetach – Geodata – D'Appolonia. Canale scolmatore a servizio del Torrente Bisagno in Comune di Genova. Progetto Preliminare. Provincia di Genova.

Ottobre 2002. ENKI. Caratterizzazione geomeccanica di sottosuolo in supporto alla progettazione di opere in microtunnelling presso l'area ospedaliera San Martino, Genova. AMGA SASTER PIPE.

1980 – 2003. Indagini geognostiche relative a lavori pubblici e privati ricadenti nell'area d'interesse progettuale fornite dalla banca dati del Comune di Genova.

Dicembre 2001. 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.

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.

Agosto 2004. ATI Technital, Sogreah, Studio Maione, Studio Galli. Campagna di indagine geologico – geomeccanica: studio geologico preliminare; specifiche tecniche ed elaborati grafici delle indagini. Progetto definitivo dello scolmatore del torrente Bisagno in Comune di Genova. Provincia di Genova.

Agosto 2004. ATI Technital, Sogreah, Studio Maione, Studio Galli. Campagna di indagine geologico – geomeccanica: studio geologico preliminare; specifiche tecniche ed elaborati grafici delle indagini. Progetto definitivo dello scolmatore del torrente Bisagno in Comune di Genova. Provincia di Genova.

Agosto 2006. ATI Technital, Sogreah, Studio Maione, Studio Galli. Progetto definitivo dello scolmatore del torrente Bisagno in Comune di Genova. Provincia di Genova.

PROGETTO DEFINITIVO DELLO SCOLMATORE DEL TORRENTE FEREGGIANO. PRIMO LOTTO
CAMPAGNA DI INDAGINI GEOLOGICO – GEOTECNICHE

| Codice | Titolo |
|---|---|
| PD1 DS 580 | Planimetria generale con ubicazione delle indagini |
| PD1 DS 581 | Opera di sbocco. Planimetria con ubicazione delle indagini |
| PD1 DS 582 | Carta degli affioramenti |
| PD1 DS 583 | Relazione illustrativa |
| PD1 DS 584 | Stratigrafie sondaggi geognostici |
| PD1 DS 585 | Stratigrafie sondaggi geognostici - Rilievo discontinuità |
| PD1 DS 586 | Documentazione fotografica sondaggi |
| PD1 DS 587 | Rilievi geostrutturali |
| PD1 DS 588 | Prove in sito |
| PD1 DS 589 | Sismica a rifrazione |
| PD1 DS 590 | Sismica a mare |
| PD1 DS 591 | Rilievi della falda ed analisi chimiche delle acque |
| PD1 DS 592 | Analisi e prove di laboratorio volume 1. |
| PD1 DS 593 | Analisi e prove di laboratorio volume 2. |

PROGETTO DEFINITIVO DELLO SCOLMATORE DEL TORRENTE FEREGGIANO. PRIMO LOTTO
GEOLOGIA E GEOTECNICA

| Codice | Titolo |
|---|---|
| PD1 RG 01 | Relazione geologica |
| PD1 RG 03 | Relazione idrogeologica |
| PD1 RG 04 | Relazione geomeccanica e geotecnica |
| PD1 RG 05 | Relazione sulla galleria esistente del Fereggiano |
| PD1 DS 550 | Carta geologica |
| PD1 DS 551 | Opera di sbocco - Carta geologica |
| PD1 DS 552 | Carta geomorfologica |
| PD1 DS 553 | Carta idrogeologica |
| PD1 DS 554 | Profilo geologico galleria del Fereggiano e opera di presa |

| | |
|---|---|
| PD1 DS 555 | Profilo geologico galleria del Rovare e opera di presa |
| PD1 DS 556 | Sezione geologica A |
| PD1 DS 557 | Sezione geologica B |
| PD1 DS 558 | Profilo geologico galleria del Noce e opera di presa. Sezione geologica C |

# 1. INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geomorfologica del progetto definitivo delle opere di laminazione e controllo delle piene dei rii Fereggiano, Rovare e Noce. Trattasi del Primo Lotto del Progetto Definitivo Generale, datato 2007, relativo al torrente Bisagno ed ai suoi affluenti Fereggiano, Rovare e Noce, in questa sede adeguato anche al fine di destinare il prolungamento dell'esistente galleria del deviatore Fereggiano (costruita nel 1992 senza arrivare a completamento) non a galleria di servizio dello scolmatore del Bisagno (come previsto nel PD 2007) bensì a galleria idraulica a servizio dello scolmatore del Fereggiano, Rovare e Noce.
Il presente progetto di Primo Lotto trova motivazione nella determinazione del Comune di Genova di avviare il più celermente possibile la realizzazione di alcune opere urgenti onde porre in sicurezza idraulica le zone (fra cui in particolare quella del rio Fereggiano) che nell'evento alluvionale del 4 Novembre 2011 furono più duramente colpite, anche con perdita di vite umane.

Lo schema delle opere previste in progetto è il seguente:

- prolungamento dell'esistente galleria del deviatore del Fereggiano dall'attuale progressiva 0+909 alla progressiva 3717;
- n. 3 opere di presa sui rii Fereggiano, Rovare e Noce collegate alla galleria principale; la prima in modo diretto, le altre due attraverso gallerie secondarie a sezione policentrica, diametro interno 3,20 m, la cui lunghezza complessiva somma a circa 500 m;
- n° 4 aerofori/sfiati in corrispondenza della galleria principale, e n° 1 su ciascuna delle opere di presa;
- opera di sbocco a mare, comprensiva di un tratto di raccordo avente lo scopo di abbassare le quote di scorrimento dell'opera attuale in modo da non impattare con le strutture litoranee.

La galleria principale, compresa fra l'opera di presa sul Fereggiano (in Via Pinetti) e lo sbocco a mare (all'altezza dei bagni Benvenuto) si sviluppa con decorso circa nord - sud. Ha sezione policentrica con diametro interno netto di 5,20 m (analogo alla galleria esistente, che però ha sezione circolare) e le seguenti caratteristiche geometriche:

- sezione tipo policentrica con diametro: 5,20 m
- lunghezza complessiva: 909 + 2.808 = 3.717 m

- quota all'imbocco a monte: 12,99 m s.m.m.
- quota al filo esterno di C.so Italia: - 2,82 m s.m.m.
- portata di progetto dal Fereggiano (progr. 3.717 m): 80 m3/s

Le ubicazioni degli aerofori lungo la galleria principale, definite cercando un compromesso fra l'inserimento nel tessuto urbano e le esigenze idrauliche, sono:

- Giardini Casu – progressiva 870 (tratto galleria esistente)
- Via Forte san Martino – progressiva 1.730 m
- Giardini dell'Ospedale Generale san Martino – progressiva 2.370 m
- Via Pasquale Berghini – progressiva 2.900 m

La tipologia adottata per le tre opere di presa è quella delle luci e soglie. Il collegamento con la galleria di derivazione avviene mediante un pozzo a vortice che permette di superare i notevoli dislivelli tra la quota del corso d'acqua e la galleria, garantendo al contempo efficienza idraulica e dissipazione dell'energia. Sul fondo della struttura è prevista una vasca atta a dissipare energia e rilasciare l'aria eventualmente trascinata dalla corrente.
Ogni manufatto di presa è inoltre dotato di una scala di servizio utile per accedere all'opera in condizioni di sicurezza favorendo al contempo le operazioni di ispezione e manutenzione.

Il lavoro ha preso avvio attraverso una raccolta dati ed informazioni disponibili riguardanti l'area in studio in generale e l'asse di progetto in particolare.
Per un primo inquadramento è stata consultata la Carta Geologica d'Italia, foglio 84 "Genova" e Foglio 83 "Rapallo", con relative note illustrative. Risulta inoltre disponibile anche il Foglio 213-230 "Genova" della più recente Carta Geologica d'Italia in scala 1.50.000, prodotta dall'APAT nel 2008. Un ulteriore livello di dettaglio è stato ottenuto acquisendo sia il Piano di Bacino del Torrente Bisagno sia l'Atlante Cartografico Geologico del Comune di Genova, corredato da carte geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche in scala 1.10.000 ricavate da rilievi in dettaglio alla scala 1:5.000. Attraverso sopralluoghi sui siti e l'esame di documentazione relativa a studi specifici di diversa fonte e provenienza sono stati reperiti ulteriori dati circa l'assetto geomorfologico del territorio, la presenza e l'ubicazione di fenomeni franosi attivi o quiescenti, cave, pozzi e sorgenti lungo la Val Bisagno.

Successivamente sono state reperite le stratigrafie di sondaggi relativi a progetti per opere private e pubbliche distribuiti lungo l'asse progettuale. Risultano disponibili in particolare:

- indagini della banca dati del Comune di Genova;
- indagini eseguite nel 2000 per un progetto di microtunneling nei pressi dell'ospedale San Martino;
- indagini eseguite nel 1989 da Radelli e Castelletti per conto di ITALSTRADE nell'ambito della progettazione del deviatore del Fereggiano;
- indagini geognostiche specificamente eseguite nel 2005 nell'ambito del progetto definitivo dello scolmatore del Torrente Bisagno.

Ad ulteriore integrazione nell'estate 2013 sono stati condotti nuovi rilevamenti di campagna lungo il tracciato, oltre a rilievi topografici ed indagini geognostiche in corrispondenza della galleria esistente del Fereggiano, finalizzate quest'ultime a:

- verificare caratteristiche, qualità e grado di conservazione delle opere e dei rivestimenti;
- profondità del substrato roccioso al di sotto dell'esistente galleria, in zona d'imbocco;
- categoria di suolo di fondazione ai sensi delle NTC 2008.

L'insieme dei dati raccolti è certamente sufficiente in relazione al livello progettuale in corso.

## 2. OGGETTO E SCOPO DEL LAVORO

Il presente documento, unitamente agli elaborati grafici che lo accompagnano, costituisce la relazione geomorfologica allegata alla progettazione definitiva dello scolmatore di piena del torrente Fereggiano.

Oggetto del lavoro è la descrizione delle caratteristiche geomorfologiche delle aree interessate dai lavori.

Lo scopo è quello di redigere una carta geomorfologica che illustri le principali dinamiche in atto reali o potenziali con particolare riguardo per le aree ove ricadono le opere in progetto.

# 3. DATI E STUDI PREGRESSI

Per un primo inquadramento geomorfologico delle aree d'interesse progettuale sono stati esaminati i dati contenuti nei seguenti elaborati:

- progetto preliminare dello scolmatore del Bisagno;
- progetto definitivo (2007) dello scolmatore del Bisagno;
- progetto ITALSTRADE (1989) dello scolmatore del Fereggiano;
- altri progetti ubicati nell'intorno dell'area progettuale;
- documentazione bibliografica.

## 3.1. Progetto preliminare dello scolmatore del Bisagno

Il progetto preliminare dello scolmatore del Bisagno è stato redatto dall'Associazione Temporanea di Imprese Binnie Black & Veatch – Geodata – D'Appolonia nel luglio 2000. La parte geologica si compone dei seguenti documenti:

- carta geologica;
- profilo geologico;
- relazione geologica e geotecnica.

La cartografia geologica, ben dettagliata, è ricavata in buona parte dalla documentazione relativa all'atlante cartografico del Comune di Genova. Relazione, carta e profilo geologico mostrano correttamente, per la zona di studio, la presenza dei seguenti litotipi:

- Argilliti di Montoggio (Cretaceo) costituite da argilliti laminate con limitate intercalazioni quarzoso arenacee; il grado di fratturazione è da medio ad elevato;
- Flysch di Monte Antola (Cretaceo) in facies torbiditica costituito da alternanze di calcari, calcari marnosi ed argilliti con grado di fratturazione medio ma accentuato nelle zone di disturbo tettonico;
- Argille di Ortovero (Pliocene) costituite da marne argillose ed argille marnose con sporadici livelli sabbioso calcarenitici;

- Depositi superficiali e coltri eluviocolluviali a matrice ghiaiosa.

La galleria si sviluppa per la maggior parte del tracciato nel Flysch di Monte Antola con la presenza di diverse faglie in corrispondenza delle quali si prevede la presenza di materiale intensamente fratturato. Le argille di Ortovero sono previste per un'estensione di circa 350 m nell'attraversamento di una "fossa tettonica" (graben di Terralba) posta in corrispondenza dell'Ospedale di San Martino. Nella stessa area, ed in particolare sulla verticale del Forte di San Martino, è previsto l'attraversamento di una limitata tratta entro le Argilliti di Montoggio.
Nella relazione geologica allegata al progetto preliminare non sono presenti particolari indicazioni circa l'assetto geomorfologico del territorio.

## 3.2. Progetto definitivo anno 2007 dello scolmatore del Bisagno

Il progetto definitivo dello scolmatore del torrente Bisagno è stato redatto dall'ATI Technital, S.p.A., Sogreah S.A., Studio Maione ingegneri associati, Studio Galli S.p.A. nel 2007. Si compone di una nutrita documentazione geologica, geotecnica, idrogeologica e geomeccanica. In particolare:

- relazione geologica, relazione geomorfologica, relazione idrogeologica, relazione geomeccanica e geotecnica, relazione illustrativa delle indagini;
- carta geologica, carta geomorfologica, carta idrogeologica, carta degli affioramenti
- profili geologici lungo la galleria principale, gallerie secondarie ed opere di presa;
- profili idrogeologici lungo la galleria principale, gallerie secondarie ed opere di presa;
- profili geomeccanici lungo la galleria principale, gallerie secondarie ed opere di presa;
- planimetrie con ubicazione indagini pregresse ed eseguite;
- stratigrafie sondaggi, documentazione fotografica, risultati prove in sito, sismica a rifrazione, sismica a mare, rilievi della falda e analisi chimiche delle acque, analisi e prove di laboratorio.

La galleria dello scolmatore del Bisagno ha una lunghezza di circa 6.650 m; l'opera di presa è posta sul torrente Bisagno, 180 m a monte del ponte Ugo Gallo;

l'opera di restituzione a mare si trova in Corso Italia all'altezza dei bagni Squash, proprio accanto allo sbocco dell'esistente galleria del Fereggiano. La galleria del Bisagno (secondo le previsioni del PD 2007) convoglia anche le acque provenienti dai rii Fereggiano, Rovare e Noce. Nel tratto compreso fra il Rio Fereggiano e lo sbocco a mare rimane parallela, ad una distanza di poche decine di metri, dalla galleria dello scolmatore del Fereggiano, mentre le opere di presa sui rii minori sono sostanzialmente le stesse ora previste nel progetto del Fereggiano. In tale contesto tutte le indagini geognostiche, ed i rilievi di campagna, rimangono all'interno di un corridoio comune ai due progetti.
La campagna geognostica, affidata al raggruppamento PRO.MO.GEO. – GET ed eseguita nel periodo compreso fra gennaio ed agosto 2005, ha previsto l'esecuzione di n° 8 sondaggi a carotaggio continuo con prove in sito e di laboratorio su terre e rocce, oltre a traverse sismiche a terra e mare. Di questi n° 5 ricadono in corrispondenza del primo lotto, mentre n° 3 rimangono più a nord, fra l'opera di presa sul Fereggiano e il torrente Bisagno. I risultati di tale indagine sono commentati estesamente nella Relazione Geologica e nella Relazione Geotecnica e Geomeccanica.

I sondaggi relativi al progetto definitivo dello scolmatore del Bisagno, la cui numerazione utilizza la sigla SnD, sono riportati nella planimetria con ubicazione delle indagini in scala 1:5.000 allegata al progetto.

### 3.3. Progetto ITALSTRADE (1989) del deviatore del Fereggiano

Il progetto del deviatore del Torrente Fereggiano è stato redatto da ITALSTRADE S.p.A. nel febbraio 1989. I documenti disponibili in chiave geologica sono i seguenti:

- Relazione tecnica;
- Relazione geotecnica;
- Profilo geologico;
- Caratterizzazione geomeccanica e tipologia dei rivestimenti;
- Indagine geognostica;

Non sono presenti specifiche trattazioni inerenti la geomorfologia.

La galleria del deviatore, che secondo progetto avrebbe dovuto intercettare durante il suo corso anche le portate dei Rii S. Martino, Noce e Rovare, ha diametro interno pari a 5,20 m ed una lunghezza prevista di circa 3.400 m. L'opera d'imbocco si trova all'altezza di via Ammarengo mentre lo sbocco a mare è posto a valle di Corso Italia in zona bagni Benvenuto.
I lavori sono stati consegnati in data 17 luglio 1991. La relativa ultimazione era prevista il 15 maggio 1992. Gli scavi in sotterraneo sono iniziati nel novembre 1991, e si sono protratti con regolarità fino all'inizio di giugno 1992.
In data 05 giugno 1992 il finanziamento del 1° stralcio si è esaurito senza che fosse disponibile il finanziamento per il secondo. In data 17 giugno è stata ordinata la sospensione dei lavori disponendo contestualmente la messa in sicurezza del cantiere e dell'opera. La progressiva di scavo della galleria a tale data era di m. 909,40.
I lavori non sono più ripresi e la progressiva del fronte di scavo è rimasta ad oggi immutata.
Con Delibera del Commissario Straordinario n° 1243 del 29.09.1993 è stata revocata all'appaltatore la Concessione per i lavori.

La parte di galleria eseguita è interamente rivestita e risulta collaudata. Specifici certificati di collaudo sono disponibili per l'opera e per i rivestimenti in calcestruzzo.
Nel corso dei sopralluoghi e dei rilievi effettuati si è verificato come le caratteristiche dell'opera risultino conformi agli elaborati progettuali.
Dalla documentazione contabile (SAL) esaminata risultano eseguiti e liquidati i seguenti lavori:

- scavo in galleria dalla pk 17.50 alla pk 107,83 (estensione 90,33 m) secondo la sezione tipo 1;
- scavo in galleria dalla pk 107,83 alla pk 909,40 (estensione 801,57m) secondo la sezione tipo 2;
- opere di restituzione a mare e scogliera;

Fra pk 0,00 e pk 17.50 sono presenti le arcate di Corso Italia il cui attraversamento è avvenuto non in scavo.
La sezione tipo 1 (figura 3.1), scavata con fresa ad attacco puntuale, è a geometria policentrica con larghezza alla base 6,00 m e altezza al culmine 6,00 m.

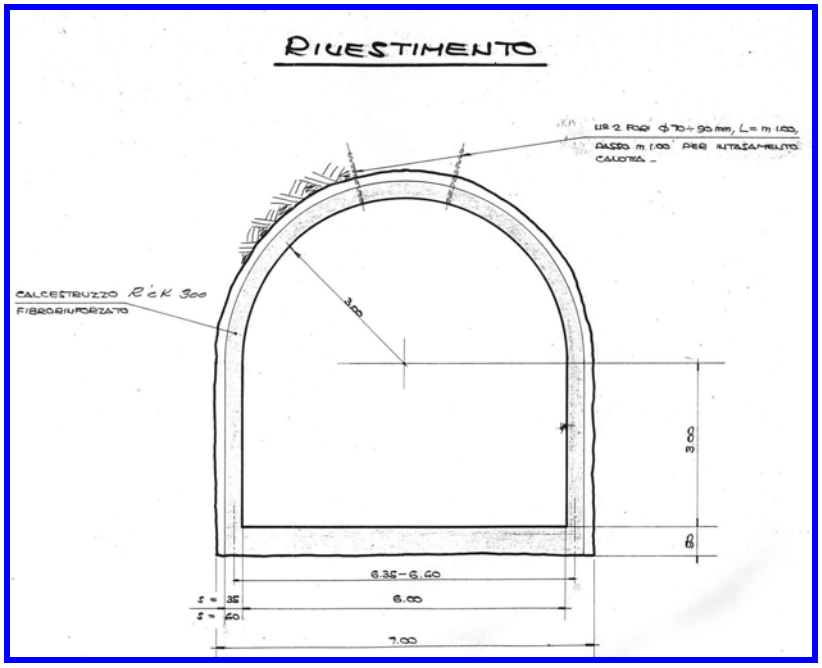



Figura 3.1. Galleria esistente del Fereggiano. Sezione 1 da pk 17,50 a pk 107,83

La sezione tipo 2 (figura 3.2), scavata con fresa “full face”, è circolare con diametro interno 5,20 m.

Per maggiori dettagli sull’opera esistente e sulle caratteristiche dei materiali si rimanda alla specifica relazione contenente, fra gli altri, le risultanze delle indagini in sito e di laboratorio eseguite nell’estate 2013.

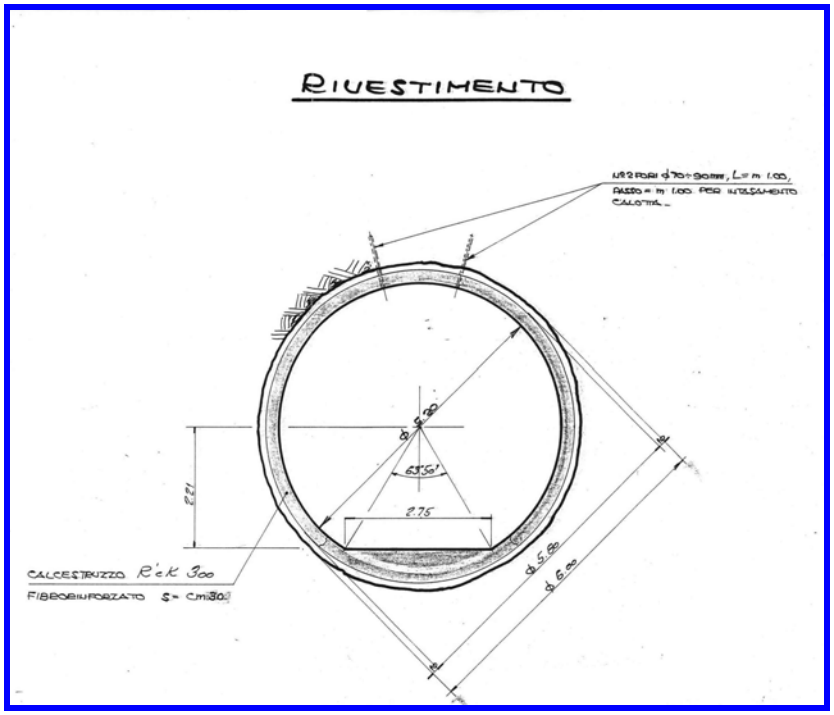



Figura 3.2. Galleria esistente del Fereggiano. Sezione 2 da pk 107,83 a pk 909,40

Dalla documentazione di progetto, e dal confronto fra questa ed i rilievi condotti in sito ed al fronte di scavo in fase di avanzamento, si evince un inquadramento geologico generale che risulta in accordo con quanto emerso dalla campagna d'indagine del 2005.

La parte scavata è interamente nel Flysch di Monte Antola variamente fratturato, ad esclusione di un breve tratto compreso fra l'imbocco e il "sottoattraversamento" di Corso Italia (lunghezza circa 35 m) che rimane in depositi di spiaggia e/o materiale di riporto. Dal profilo geologico ITALSTRADE si evince come l'intera galleria fosse prevista entro al Flysch di Monte Antola, con l'eccezione di un settore lungo circa 350 m posto in corrispondenza dell'ospedale San Martino, dove l'attraversamento di una struttura tettonica ribassata (Graben di Terralba) portava lo scavo nella formazione delle Argille di Ortovero poste al tetto dello stesso Flysch.

Dal punto di vista idrogeologico in fase di scavo è stato riscontrato un modesto anche se diffuso stillicidio in assenza di venute concentrate significative. In tale contesto l'avanzamento, tolte le tratte in zona d'imbocco, è avvenuto prevalentemente con l'ausilio di spritz beton fibrorinforzato e chiodi, e/o centine radiali.

Le indagini eseguite nel 1989 per il Fereggiano sono rappresentate da n° 5 sondaggi con prove in sito e di laboratorio che si dimostrano utili per integrare l'inquadramento geologico e geomeccanico del corridoio di progetto.

I sondaggi relativi al progetto 1989 dello scolmatore del Fereggiano, che mantengono la numerazione originaria con l'aggiunta della lettera "F" (quindi sigla identificativa: SFn) sono riportati nella planimetria con ubicazione delle indagini in scala 1:5.000 allegata al progetto.

### 3.4. Altri progetti e documentazione bibliografica.

Fra la documentazione esaminata rientra un progetto di caratterizzazione geomeccanica del del sottosuolo in supporto alla progettazione di opere in microtunneling presso l'area ospedaliera San Martino, redatto nel 2002 dalla società ENKI di Firenze. Un area prossima al tracciato e posta in corrispondenza dell'opera di presa sul Rovare è stata indagata tramite n° 5 sondaggi e n° 4 stendimenti geoelettrici. Non vi sono elaborati specifici relativi alla geomorfologia.

Documenti di particolare utilità e dettaglio sono quelli allegati all'Atlante Cartografico Geologico del territorio del Comune di Genova, con particolare riferimento per la carta geologica e carta geomorfologica in scala 1:10.000, entrambe redatte sulla base di rilievi alla scala 1:5.000.

Di notevole aiuto si è dimostrata inoltre la documentazione allegata al Piano di Bacino del Torrente Bisagno, corredata da numerose relazioni e da una specifica ed ampia cartografia in scala 1.10.000 fra cui, in particolare, la carta dell'acclività, la carta geolitologica, la carta geomorfologica, la carta idrogeologica, la carta della franosità, la carta delle aree alluvionate ed alluvionabili, la carta della pericolosità e la carta del rischio.

# 4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Nel presente capitolo è proposta una sintetica descrizione dell'assetto geomorfologico a livello di scala regionale e, in seguito, a livello di bacino del Torrente Bisagno (corso d'acqua nel quale confluisce il Fereggiano).

## 4.1. Assetto regionale

A grande scala il territorio genovese può essere descritto come una regione di colline e media montagna con limitate piane alluvionali normalmente poste lungo i principali corsi d'acqua. Elemento oro-idrografico essenziale è la presenza dello spartiacque Tirreno-Adriatico che decorre con andamento irregolare da SSW a NNE a breve distanza dalla costa. Le quote massime, disposte parallelamente alla costa stessa, non sempre coincidono con lo spartiacque. I due versanti del displuvio risultano fortemente asimmetrici: quello tirrenico è ripido con pendenza media anche superiore al 20%, quello padano degrada dolcemente verso la pianura con pendenze medie inferiori al 5%.
I corsi d'acqua del versante tirrenico scendono, di norma, ortogonalmente rispetto alla costa, mentre sul versante padano solo localmente si ha un'orientazione preferenziale con direzione SSE-NNW. I corsi d'acqua del versante tirrenico risultano molto più attivi rispetto a quelli padani ed hanno arretrato, per erosione regressiva, le loro testate spostando i relativi spartiacque verso nord e catturando in tal modo parte dei bacini settentrionali. Questo è avvenuto con maggiore frequenza in aree ove prevalgono, in affioramento, terreni maggiormente erodibili in corrispondenza dei quali gli spartiacque descrivono archi con concavità rivolta a sud. Contrariamente al settore padano i bacini del versante tirrenico hanno dimensioni modeste con valli spesso profondamente incise delimitate da versanti ripidi; la curva di fondo degli alvei ha pendenza elevata nei tratti montani (superiore al 15%) con salti ed anche rapide. I corsi d'acqua secondari sono spesso paralleli alla direzione degli strati e confluiscono nel corso principale ad angolo retto.

In un contesto generale che manifesta un'orografia dai tratti marcatamente giovanili, con pendenze medio elevate o elevate in relazione ai litotipi affioranti, numerose sono le frane antiche (paleofrane) o recenti, quiescenti o attive, conosciute. Nei calcari marnosi della val Bisagno le frane sono spesso condizionate dall'assetto strutturale della stratificazione e fratturazione: si osservano scorrimen-

ti e traslazioni in roccia in condizioni di “franapoggio”, e ribaltamenti e crolli in condizioni i “reggipoggio”.

Tutti i bacini del settore di levante mostrano caratteristiche torrentizie, forte acclività e breve distanza fra spartiacque e linea di costa; inoltre la sottile fascia costiera ed i fondovalle sono occupati da un’intensa urbanizzazione che in molti settori è esposta al rischio esondazione.

Un cenno meritano anche i fenomeni di erosione accelerata che, in presenza di precipitazioni eccezionali e di un assorbimento d’acqua non sempre elevato in ragione dell’acclività dei versanti, interessano alcuni settori del versante ligure. Versanti ripidi e rocce molto fratturate, o alternate a materiali degradabili, permettono che un intenso ruscellamento asporti, nelle parti più elevate dei bacini, la coltre superficiale con evidente danno per la stabilità dei pendii. Dove l’acqua scorre incanalata l’erosione spesso opera lungo gli argini scalzandoli e provocando dissesti a catena.
In tale contesto frequenti sono i casi di torrenti, in particolare il Leiro, il Polcevera ed il Bisagno che, improvvisamente ingrossati dalle precipitazioni e carichi di materiale asportato a monte, hanno eroso argini, sfondato ponti, esondato ed invaso gli abitati. Tale contesto risulta aggravato (talvolta provocato) dal marcato grado di antropizzazione che, specie nelle zone urbane, ha sottratto ampie superfici all’infiltrazione sotterranea, ha tombato i corsi d’acqua ed ha portato ad un deciso sviluppo dei siti edificati all’interno delle naturali fasce di espansione delle piene fluviali. Per effetto del citato grado di urbanizzazione nell’area cittadina anche i rii minori sono a rischio esondazione; per il solo Fereggiano si ricordano a titolo di esempio le tragiche alluvioni del 29 ottobre 1945, 8 novembre 1951, e il più recente evento del 4 novembre 2011.

Nell’area dell’Appennino ligure un netto contrasto morfologico contraddistingue le masse prevalentemente argillose (Argille a Palombini, Formazioni di Mignanego, Montanesi, Ronco e Montoggio) dai sovrastanti Calcari di Antola, spesso in scarpata al contatto.

L’irregolarità dei caratteri fisiografici ora descritti deriva principalmente dalla complessità dell’assetto strutturale della regione, dalla varietà delle litologie e dalla successione degli eventi tettonici ed orogenici.

Gli aspetti morfologici del territorio sono generalmente in accordo con le condizioni climatiche attuali anche se, localmente, sono evidenti relitti di condizioni climatiche molto diverse (paleosuoli).

A livello generale la costa si presenta normalmente alta; modesti promontori rocciosi si protendono a mare alternandosi ad insenature falcate ed orlate da strette spiagge e pianure litorali per lo più a ciottoli o con sabbie grossolane. Numerose sono le testimonianze, a diverse altezze, di antiche linee di riva e spianate di abrasione marina; particolarmente note sono quelle di Coronata e Nervi.

## 4.2. Bacino del torrente Bisagno

Il bacino idrografico del torrente Bisagno ha dimensioni medio piccole (93 $km^2$) ed è delimitato a nord dallo spartiacque Bisagno-Scrivia, ad ovest dallo spartiacque Bisagno-Polcevera, ad est dallo spartiacque Bisagno-Lavagna, ed infine a sud dallo spartiacque Bisagno-Sturla-Nervi-Poggio-Sori. La porzione settentrionale e centrale dell'area d'interesse progettuale ricade nella parte meridionale del bacino del Bisagno.
L'asta principale del corso d'acqua, lunga 25 Km, ha un andamento irregolare con brusche variazioni di direzione; è infatti disposta circa parallela alla costa nella parte superiore del bacino (NNE-SSW) e perpendicolare alla stessa (N-S) nella parte inferiore. Numerosi sono i salti di fondo che testimoniano variazioni del livello basale nonché fenomeni di cattura a carico di alcuni tributari. I diversi affluenti si immettono in alveo normalmente ad angolo retto.
L'assetto oroidrografico del bacino è fortemente condizionato da fattori geodinamici endogeni, la cui influenza appare evidente soprattutto in relazione ad una serie di indicatori geomorfologici che testimoniano la rilevante correlazione fra attività tettonica quaternaria ed evoluzione morfologica del bacino stesso. 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.

La diffusa presenza di materiali lapidei determina normalmente pendenze elevate; la pendenza media dei versanti è infatti del 31% con frequenti tratte anche superiori al 50%.

Nell'ambito dell'intero bacino il tessuto urbano occupa una superficie importante e valutata nell'ordine dell'11%.

Il Bisagno nel suo insieme disegna una valle con profilo ristretto ed incassato entro fianchi vallivi ove spesso affiora il substrato roccioso; tali fianchi risultano frequentemente asimmetrici causa una diversa giacitura degli strati. In tale contesto la piana alluvionale del corso d'acqua è di larghezza modesta, anche se tende ad allargarsi da monte verso valle; in molte tratte però la sua naturale larghezza è stata ridotta per interventi antropici che hanno portato all'edificazione di strade e fabbricati in aree un tempo di naturale espansione fluviale, aggravando in tal modo gli effetti delle periodiche alluvioni.
Caratteristica è la dimensione e la forma della fascia di transizione fra pianura e versante. Molto spesso in Liguria questa fascia è ampia e articolata a testimonianza di attività detritico colluviali di versante, mentre nel caso in studio l'attacco è spesso netto.
Altra caratteristica riguarda il rapporto planoaltimetrico fra alveo attuale e superficie della piana alluvionale. Si nota una generale uniformità sia del dislivello medio fra quota della piana e quota del greto, sia della morfologia della piana. Su quest'ultimo aspetto certamente è dominante l'azione dell'uomo il quale, sin da tempi remoti, ha rimodellato il terreno attenuando dislivelli, colmando tracce di vecchi alvei, spianando gibbosità ed accumuli sedimentari.

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.

A NW di Brignole all'altezza di Ponte Serra il Fereggiano s'immette, ad angolo retto, nel Bisagno. Più a sud e con pari angolo si hanno le confluenze rispettivamente del Rovare e del Noce.
Il Fereggiano nasce dalla confluenza fra Rio Molinetto e Rio Finocchiaro in località Pedegoli, a Genova Quezzi, ed ha una lunghezza complessiva di circa 4 Km. La valle del Fereggiano, così come quelle del Rovare e del Noce, ha subito importanti trasformazioni a causa dell'espansione del tessuto urbano (quartieri Quezzi e

Marassi per il Fereggiano, quartiere San Fruttuoso per il Noce). Già nella prima metà del XX secolo gran parte del letto era coperta, con l'alveo che scorre sotto le vie Fereggiano e Monticelli. Anche laddove l'alveo scorre 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. Situazione del tutto analoghe, con compromissione delle capacità di deflusso a seguito di una intensa urbanizzazione e copertura degli alvei naturali, si registrano anche per i torrenti Rovare e Noce.

Nella parte montana del bacino del Bisagno, ed anche del Fereggiano, affiora direttamente il substrato roccioso. Procedendo verso valle mentre il Fereggiano (come il Rovare ed il Noce) sparisce "inglobato" nella città, il Bisagno si approfondisce e l'incisione viene colmata da una coltre alluvionale costituita da ghiaie e sabbie con anche limo ed argilla. L'estensione del materasso alluvionale copre una lunghezza di circa 10 Km ed una larghezza compresa fra 200 e 1.000 m; gli spessori sono molto variabili ed aumentano progressivamente verso la foce; al limite occidentale dell'area in studio si arriva ad oltre 40 m all'altezza di Piazza Giusti.

All'interno della coltre alluvionale è contenuta un'importante falda idrica ampiamente utilizzata a scopo idropotabile ed industriale. L'alimentazione dell'acquifero è dovuta essenzialmente agli apporti diretti delle piogge, nonché del Bisagno (e relativi affluenti) che pertanto ha caratteristiche "disperdenti"; da segnalare anche, seppur di incerta quantificazione, l'esistenza di un'alimentazione dovuta alle acque circolanti nell'ammasso roccioso calcareo fratturato.
La falda risulta libera lungo buona parte del percorso anche se, verso mare, la presenza di alcune intercalazioni argillose origina una seconda e più profonda falda in pressione. In corrispondenza della foce il saliente roccioso che costituisce il proseguimento sepolto della collina di Carignano, in corrispondenza di via Cecchi, confina la falda e protegge dall'intrusione del cuneo salino.
Localmente la presenza del fiume è segnalata, a quote maggiori rispetto a quella attuale, dalla presenza di superfici spianate di roccia prive però di depositi alluvionali.

Dal punto di vista litologico l'elemento predominante è dato dalla presenza di depositi calcareo marnosi riferibili al Flysch di Monte Antola; in subordine sono

presenti, fra Molassana e Struppa, depositi riferibili alle Argilliti di Montoggio. La presenza dei calcari 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 si dimostra 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.

Lungo i versanti sono cartografate diverse frane; nel solo bacino del Bisagno ne sono censite ben 300. 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; sono generalmente stabilizzate anche se non mancano casi di locali e/o superficiali riattivazioni. Sono comunque cartografate numerose frane quiescenti e più raramente alcune frane attive.

In presenza di coltri a prevalente composizione coesiva sono rilevabili dissesti superficiali con dinamica di tipo soliflusso; si tratta in genere di movimenti lenti che interessano la coltre detritica pluvio – colluviale, antichi accumuli di frana o la porzione corticale delle Argilliti di Montoggio maggiormente alterate e poggianti su materiali litoidi. È importante osservare come in genere i diversi dissesti siano connessi alla combinazione di più meccanismi di movimento avvenuti, simultaneamente o in tempi successivi, nell'ambito del medesimo versante.

Nella parte medio - alta del bacino sono noti fenomeni di Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (D.G.P.V.), che rappresentano la risposta più evidente dell'evoluzione dei pendii rispetto ai processi di abbassamento rapido per erosione del fondovalle. Sono concentrati, generalmente, in zone caratterizzate da litologie a prevalente comportamento diversificato (es.: fragile per calcari sovrapposti a litologie con associato un comportamento duttile quali le argilliti). Tali fenomeni sono osservabili lungo la sponda sinistra del torrente Bisagno (monte Rosato, monte Trincea, monte Lungo, monte Masapello).

In un contesto che vede la prevalenza di materiali lapidei stratificati le cause generali predisponenti alla franosità sono rappresentate dalle giaciture degli strati a franapoggio inclinati meno o come il versante. Ad aggravare la situazione possono concorrere sistemi fessurativi continui ed invasivi che, unitamente alla presenza di interstrati argillitici e/o argillosi, isolano intere masse rocciose che divengono pertanto libere di scivolare lungo piani inclinati. Le frane così generate possono essere classificate come *frane di scivolamento lungo una superficie planare preesistente*.
Le eccezionali precipitazioni, o anche il solo effetto antropico, possono essere fra le principali cause determinanti delle frane.
Fra le frane per cause antropiche si vuole ricordare quella avvenuta a Genova in corrispondenza della Collina degli Angeli il 12 marzo 1968, dove circa 12.000 $m^3$ di roccia investirono un edificio di 7 piani causando la morte di 19 persone. La massa rocciosa era rappresentata dai calcari marnosi dell'Antola con interstrati argillosi, disposta a franapoggio con pendenza simile al versante, disturbata da precedenti lavori di cava.

Sempre nell'Antola possono aversi anche frane per ribaltamento o crollo in presenza di strati a reggipoggio e/o versanti particolarmente ripidi.

Come conseguenza dei fenomeni descritti si osservano, lungo le fasce basali dei versanti, coltri detritiche terroso - lapidee con spessori di norma contenuti nei 3 m; il fenomeno interessa particolarmente la valle del Rio Fereggiano e quella del Rio Rovare.

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. 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 copioso 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 eccezionali 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.

# 5. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche di riferimento per la presente progettazione sono quelle eseguite dallo scrivente raggruppamento nel 2005.

Ad integrazione di quanto sopra nell'estate 2013 specifiche indagini tecniche, topografiche e geognostiche sono state eseguite in corrispondenza e prossimità dell'esistente galleria del Fereggiano.
Di seguito si forniscono alcuni dati sulle citate indagini rimandano, per maggiori dettagli, alla relazione geologica ed alla relazione geotecnica e geomeccanica.

## 5.1. Rilievi

Durante il corso della campagna d'indagine sono stati eseguiti rilievi geologici, geomorfologici, geomeccanici ed idrogeologici in sito allo scopo di verificare ed integrare le informazioni disponibili. In prima battuta è stato condotto un rilevamento geologico di superficie al fine di individuare i principali affioramenti disponibili lungo e nell'intorno dell'area d'interesse progettuale, tutti dettagliatamente riportati nella carta degli affioramenti. Tale attività ha permesso di riconoscere e classificare i litotipi affioranti siano essi costituiti da roccia in posto, da coltri detritiche, alluvionali o colluviali.

Successivamente i rilievi sul terreno sono stati mirati al riconoscimento dei dati e delle evidenze riportate nella documentazione disponibile, provvedendo ad integrare le informazioni sulla base dei riscontri oggettivi sul terreno.

L'osservazione preliminare di foto aeree a diversa scala ha permesso di approfondire la conoscenza del territorio individuandone gli elementi salienti e valutando al tempo stesso le aree ove erano necessari eventuali approfondimenti.
Sulla base delle informazioni contenute nella cartografia tematica disponibile, con particolare riferimento alla carta geologica ed alla carta geomorfologica allegata all'atlante cartografico del Comune di Genova, ed alla carta geologica, geomorfologica, della franosità, delle aree inondabili e della pericolosità allegata al Piano di Bacino, nonchè delle informazioni e conferme acquisite in seguito ai sopralluoghi in sito, è stata redatta la cartografia geologica in scala 1:5.000 che comprende sia le aree di progetto che un intorno ritenuto significativo.

Durante i rilievi sul terreno sono stati condotti anche sopralluoghi volti a localizzare pozzi e sorgenti presenti sul territorio. L'attività ha preso avvio sulla base delle informazioni contenute nella carta idrogeologica dell'atlante cartografico del territorio comunale e nello studio relativo ai bacini idrografici liguri (AMGA SpA 1995), opportunamente integrate da elementi ricavati da altre e diverse fonti bibliografiche nonché da documentazioni fornite dagli Enti competenti. Pozzi e sorgenti sono ubicati nella carta idrogeologica; i pozzi si trovano lungo la piana alluvionale del Bisagno e sono maggiormente concentrati nelle aree più prossime alla foce mentre le sorgenti, poche e di modesta portata, spesso non perenni, sono confinate nella parte più elevata del bacino.

## 5.2. Sondaggi

I sondaggi sono stati eseguiti nel periodo compreso fra gennaio ed agosto 2005. Nel complesso sono state realizzate n° 8 terebrazioni geognostiche aventi profondità compresa fra 23 e 90 m, per complessivi 510 m di perforazione. Di questi n° 5 rientrano nel primo lotto, mentre altri 3 rimangono più a monte e sono di esclusiva competenza della galleria dello scolmatore del Bisagno.
Tutti i sondaggi sono spinti sino a quote superiori rispetto alla galleria e sono attrezzati con piezometro a tubo aperto.
Con riferimento allo scolmatore del Fereggiano i sondaggi sono:

- S5D, lungo 65 m ed ubicato all'altezza della pk 2.150 circa in prossimità dell'ospedale San Martino, al fine di approfondire la conoscenza del settore ricadente nel graben di Terralba;
- S4D, lungo 80 m ed ubicato sulla sponda sinistra del Fereggiano oltre l'opera di presa;
- S3D, lungo 90 m ed ubicato all'altezza della progressiva 2.900 m, lungo il Rio Rovare a valle del Forte di Santa Tecla;
- S2D, lungo 70 m ed ubicato all'altezza della pk 2.350, in prossimità dell'ingresso del pronto soccorso dell'Ospedale San Martino al fine di approfondire la conoscenza del settore ricadente nel graben di Terralba ;
- S1D, lungo 85 m ed ubicato all'altezza della pk 1.550 all'interno del perimetro del Forte di San Martino.

Le stratigrafie sono state redatte durante il corso della perforazione e le cassette sono state fotografate una ad una non appena complete. La continua presenza di personale specializzato durante il corso delle perforazioni ha permesso di apportare all'indagine tutte le variazioni ritenute sul momento necessarie, con particolare riguardo per quanto attiene la profondità raggiunta da ogni indagine ed il prelievo dei campioni.

Attraverso l'esecuzione dei sondaggi è stato possibile verificare i dati relativi a numerose altre indagini dirette ed indirette disponibili, valutare i litotipi puntualmente presenti sia in profondità sia al di sotto della copertura vegetale o delle aree urbanizzate, ed effettuare una più dettagliata ricostruzione dell'assetto geologico e stratigrafico dell'area d'interesse progettuale.

Per le stratigrafie dei sondaggi ed i rilievi strutturali effettuati sulle carote di sondaggio si vedano gli specifici elaborati allegati al progetto.

## 5.3. Sismica a rifrazione e riflessione

Ad integrazione dei dati derivati dalle indagini dirette sono state eseguite alcune traverse sismiche volte essenzialmente a determinare la superficie di passaggio fra il substrato roccioso, rappresentato dai calcari del Monte Antola, ed i depositi di copertura. La sismica è stata utilizzata quale mezzo d'indagine speditivo e leggero in corrispondenza di siti di difficile accesso o in aree dove si riteneva necessaria una conferma dei dati dedotti da sondaggi pregressi.

Due traverse sismiche sono state eseguite sulla battigia in corrispondenza dell'opera di restituzione a mare. Una serie di traverse sismiche è stata eseguita inoltre nel tratto a mare prospiciente la costa. In tutti i casi l'elevato contrasto di velocità fra termini di copertura e substrato ha permesso una buona rappresentazione dei rifrattori sismici.

Le dromocrone e le sezioni sismostratigrafiche interpretative sono riportate in specifici documenti allegati al progetto.

## 5.4. Prove in sito e di laboratorio

Durante l'esecuzione dei sondaggi per una più precisa caratterizzazione dei terreni attraversati sono state eseguite le seguenti prove in sito:

- prove point load su campioni prelevati in affioramento;
- rilievi piezometrici periodici;
- prove Lugeon;
- prove dilatometriche;
- prove down hole;
- prova di cementazione;
- prove SPT in materiali sciolti.

Le prove di laboratorio eseguite sui campioni, rimaneggiati ed indisturbati, prelevati nel corso dei sondaggi sono le seguenti:

- point load su spezzoni di carota;
- prove di compressione semplice strumentate e non strumentate;
- prove di compressione triassiali;
- prove di trazione Brasiliana;
- analisi granulometriche e limiti di Attergerg su campioni di roccia sciolta;
- analisi petrografiche su sezione sottile e mineralogiche su campioni.

I certificati delle prove in sito e di laboratorio sono contenuti in specifici e distinti elaborati allegati al progetto.

## 5.5. Indagini sulla galleria esistente del Fereggiano

Ad integrazione dei dati già disponibili nell'estate del 2013 sono stati eseguiti ulteriori sopralluoghi in sito, con verifica dei rilievi geologici lungo l'asse stradale, senza la necessità di apportare alcune modifica o integrazione al quadro informativo disponibile. Nello stesso periodo sono stati condotti approfondimenti tecnici, geognostici e topografici in corrispondenza della galleria esistente del Fereggiano, abbandonata dagli anni '90 e finalizzati a:

- verificare le caratteristiche geometriche dell'opera (quote, livellette, posizione del fronte di scavo, dimensioni interne in corrispondenza delle diverse sezioni tipo ecc);

- integrare/ampliare il rilievo di dettaglio delle tratte interessate dall'opera di restituzione a mare;
- risolvere l'interferenza fra la galleria esistente del Fereggiano e la fognatura (attualmente risolta mediante una tubazione provvisoria posta in galleria) mediante rilievi lungo il tratto di condotta fognaria a monte e valle dell'opera;
- verificare le condizioni dei rivestimenti della galleria, e relative caratteristiche, attraverso una campagna di prelievi, prove in sito e di laboratorio;
- dettagliare la posizione del substrato roccioso al di sotto della galleria in zona d'imbocco;
- caratterizzare i terreni in corrispondenza delle opere all'aperto in termini di categoria di suolo di fondazione (secondo quanto previsto dalle NTC 2008).

Per maggiori dettagli si rimanda allo specifico documento progettuale.

# 6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Al fine di meglio comprendere l'assetto geomorfologico delle aree ove ricadono le opere nel presente capitolo viene schematicamente illustrato l'inquadramento geologico e stratigrafico ricavato sulla base dei dati disponibili, integrato dai rilievi e dalle indagini condotte. Per maggiori dettagli si veda la relazione geologica allegata al progetto.

I litotipi censiti, dal più recente al più antico sono i seguenti:

1. Depositi di spiaggia;
2. Depositi alluvionali e materiali di riporto;
3. Argille di Ortovero;
4. Flysch di Monte Antola;
5. Argilliti di Montoggio.

I depositi di spiaggia, a composizione prevalentemente ghiaioso sabbiosa, sono localizzati in corrispondenza dello sbocco a mare dell'opera subito oltre Corso Italia. Ad essi soggiace, a profondità nell'ordine di 6 – 8 m da p.c., il substrato roccioso rappresentato dal Flysch di Monte Antola. Lungo la spiaggia nel corso dei sondaggi sono stati riscontrati elementi grossolani e/o a spigoli vivi tali per cui è probabile che parte del materiale sia stato riportato a seguito di lavori di ripascimento della costa.

I depositi alluvionali recenti ed attuali, a composizione ghiaioso sabbiosa con anche presenza di limo ed argilla, sono ubicati lungo l'alveo attuale del Bisagno (fuori o al limite della cartografia di progetto). Generalmente sui depositi alluvionali poggiano, in corrispondenza delle aree urbanizzate, materiali di riporto utilizzati per spianare e regolarizzare le superfici preliminarmente alla costruzione dei fabbricati.
Materiale di riporto per spessori medi di circa 5 m è stato riscontrato anche in diversi sondaggi eseguiti in città (sondaggi S2D; S5D; S4D).

Le argille di Ortovero (Pliocene) sono sedimenti marini depositatisi all'interno di una fossa tettonica avente forma allungata in direzione circa E-W che, nell'ambito delle aree d'interesse progettuale, è posta in prossimità dell'Ospedale San Martino indicativamente fra le progressive 2.100 – 2.400 m della galleria. Le indagini recentemente eseguite hanno attraversato integralmente tale litotipo sino a raggiungere il sottostante Flysch di Monte Antola. E' stato in tal modo possibile verificare come le argille di Ortovero non

raggiungano l'asse della galleria che resta quindi all'interno del sottostante Flysch di Monte Antola.

Il Flysch di Monte Antola (Cretaceo sup – Paleocene) è il termine maggiormente diffuso nell'area in studio ed è costituito da un'alternanza di calcari e calcari marnosi in strati o banchi, con subordinate intercalazioni di marne ed argilliti in strati generalmente sottili. Lo stato di fratturazione generale è da medio a medio basso, localmente elevato in corrispondenza delle zone di disturbo tettonico. All'interno del Flysch ricade la massima parte della galleria di adduzione nonché le gallerie di servizio e quelle di collegamento con le relative opere di presa.

Le Argilliti di Montoggio (Cretaceo medio) sono costituite da argilliti compatte e consistenti di colore scuro stratigraficamente soggiacenti il Flysch. Affiorano in limitati lembi ad est rispetto al forte di San Martino. Non se ne prevede l'attraversamento in galleria.

# 7. GEOMORFOLOGIA DEL TRACCIATO

La carta geomorfologica in scala 1:5.000 allegato al progetto è stata ottenuta interpolando i dati a disposizione, gli esiti delle indagini e le informazioni ricavate dai sopralluoghi e rilievi in sito. La stessa carta è coerente con la cartografia geologica ed idrogeologica allegata al progetto.

Dall'esame dell'elaborato si nota come la maggior parte della superficie d'interesse progettuale sia occupata da aree urbanizzate, ove le forme originarie del territorio sono state coperte o modificate dall'attività dell'uomo. Esternamente ad esse si registra la diffusa presenza di roccia affiorante o subaffiorante costituita dai calcari marnosi del Flysch di Monte Antola.

La pendenza media dei versanti lungo il tracciato dell'opera risulta compresa nella classe 35-50%. La stratificazione, non sempre molto evidente in affioramento, riproduce una serie di strutture anticilinaliche e monoclinaliche, interrotte da sistemi di faglie disposte generalmente NW-SE e, più raramente, N-S, che nel loro insieme spesso concorrono a determinare ed assecondare la morfologia attuale.

La galleria dello scolmatore del Fereggiano si sviluppa con decorso circa nord sud per una lunghezza di 3.717 m. Affioramenti (o sub affioramenti) del substrato roccioso sono cartografati nella porzione settentrionale del tracciato, dall'opera di presa sul Fereggiano sino all'innesto della galleria di derivazione del Rio Noce.
Una frana, esterna alle aree di stretta competenza progettuale e classificata nel Piano di Bacino come *frana complessa quiescente*, è ubicata sul fianco sinistro del Fereggiano, circa 120 m a SW rispetto l'opera di presa.
Una frana cartografata nel Piano di Bacino *per scorrimento o colamento, quiescente*, sempre esterna al tracciato, si trova più a monte, circa 350 m ad est rispetto al tracciato, in prossimità del sondaggio S4D.
Un limitato contesto di ruscellamento ed erosione superficiale afferente al versante sinistro del Fereggiano è indicato all'altezza della progressiva 3.450 m.

A partire dalla progressiva 2.500 m circa inizia la zona più densamente urbanizzata, dove tutte le evidenze morfologiche sono scomparse o ammantate dagli elementi antropici, lasciando intravedere solo limitati lembi di terrazzi in prossimità della costa, e limitati affioramenti sulle pendici del Forte San Martino.

Nell'area cittadina buona parte degli affluenti del Bisagno è tombata, con particolare riferimento ai Rii Rovare, Fereggiano e Noce, le cui portate verranno immesse nella galleria dello scolmatore.
Le opere di presa sui sopraccitati rii sono ubicate in corrispondenza di aree urbanizzate ove non sono rilevabili elementi geomorfologici di rilievo. I sopralluoghi condotti in sito hanno comunque permesso di escludere la presenza di condizioni di dissesto reali o potenziali in atto.
In base alle indagini disponibili di prevede la presenza di una modesta coltre di materiale di riporto che ammanta il sottostante substrato roccioso.
Dalla documentazione geognostica e geologica si evince come l'opera di presa sul Rio Noce si trovi in corrispondenza della faglia che segna il limite fra Argille di Ortovero e Flysch di Monte Antola; in tale ambito gli scavi si svilupperanno in un contesto piuttosto articolato con presenza di materiale ora argilloso, ora brecciato, ora lapideo.

Lo sbocco a mare della galleria avviene superato Corso Italia, in zona "Bagni Benvenuto – Bagni Squash", ove sono presenti depositi di spiaggia antichi ed attuali misti a materiale di riporto. La costa, dall'esame comparato della cartografia afferente a diversi periodi, risulta in erosione e la battigia in passato (ed anche recentemente) è stata interessata da lavori di ripascimento effettuati con materiali grossolani provenienti dai corsi d'acqua.

Per un tratto di 909,40 m il progetto prevede il recupero dell'esistente galleria del Fereggiano, scavata da ITALSTRADE nel 1992 e non completata. Tale galleria, peraltro collaudata, è interamente rivestita in cls con la sola esclusione degli ultimi 8 m in prossimità del fronte di scavo, dov'è presente il solo rivestimento di prima fase (spritz beton fibrorinforzato). Il fronte di scavo è stato posto in sicurezza mediante un'abbondante copertura in spritz beton fibrorinforzato.
In corrispondenza dei giunti dei rivestimenti, e del fronte di scavo, si registrano limitati benché diffusi fenomeni di stillicidio con una portata complessiva in uscita dall'opera misurata in circa 0,4 l/sec.

La carta della pericolosità allegata al Piano di Bacino non evidenzia particolari limitazioni/vincoli per le aree ove ricadono le opere di presa minori ed il tracciato.

Da quanto esposto si evince come in corrispondenza delle aree di stretto interesse progettuale non siano segnalati fenomeni franosi in atto. Dall'esame dei profili litologici si evince come la galleria interesserà esclusivamente il Flysch di Monte Antola e, marginalmente, le Argille di Ortovero, mantenendosi sempre a profondità tali da non interferire con le dinamiche superficiali, e in ogni caso sempre superiori rispetto ad eventuali fenomeni deformativi anche profondi.

# 8. CONCLUSIONI

Il lavoro ha preso spunto dalla documentazione disponibile rappresentata dal Foglio "Rapallo" della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000, dal Foglio "Genova" della più recente Carta Geologica d'Italia in scala 1.50.000, dalla cartografia allegata all'*Atlante cartografico geologico del comune di Genova*, dalla ricca documentazione che costituisce il *Piano di Bacino del Torrente Bisagno,* e dal progetto definitivo dello scolmatore del Torrente Bisagno redatto nell'agosto 2007 dall'ATI Technital, S.p.A., Sogreah S.A., Studio Maione ingegneri associati, Studio Galli S.p.A. Non vi sono invece notizie afferenti l'aspetto geomorfologico del territorio nel Progetto preliminare dello scolmatore del Bisagno redatto dall'Associazione Temporanea di Imprese Binnie Black & Veatch – Geodata – D'Appolonia nel luglio 2000, e neppure nella documentazione relativa ai maggiori lavori eseguiti in zona (deviatore del Fereggiano e caratterizzazione geomeccanica dei terreni per opere con microtunnelling nei pressi dell'azienda ospedaliera).

Sulla base dei dati disponibili è stata eseguita una campagna d'indagini geognostiche e geotecniche rappresentata da sondaggi a carotaggio continuo di lunghezza compresa fra 23 – 90 m, tutti attrezzati con piezometro, prove in sito e di laboratorio, indagini sismiche a rifrazione in corrispondenza dell'opera di presa ed a mare.
I dati ottenuti sono stati integrati da rilievi geologici, geomeccanici, geomorfologici ed idrogeologici che hanno permesso di redigere la cartografia tematica con particolare riferimento alla carta geomorfologica in scala 1:5.000.
Dal punto di vista geomorfologico il territorio si presenta in buona parte compreso nel bacino del torrente Bisagno.
Lungo l'alveo del Bisagno i versanti, a causa delle condizioni giaciturali degli strati, sono asimmetrici; la valle del torrente è poco ampia, spesso ristretta a seguito dell'espansione residenziale che lambisce il corso d'acqua, tombato nella parte terminale fra la stazione di Brignole e la foce. Anche diversi affluenti del Bisagno, fra cui Fereggiano, Rovare e Noce, sono del tutto o in parte tombati, con conseguente aggravio delle condizioni di rischio in caso di eventi eccezionali.

Le pendenze nel tratto di territorio studiato sono medio elevate a causa della netta predominanza di depositi calcareo marnosi afferenti alla formazione del Flysch di Monte Antola. Locali depositi argilloso/argillitici (Argilliti di Montoggio) determinano contesti a minore pendenza ed in particolare un netto salto morfologico al passaggio fra calcari

ed argilliti. L'elemento geomorfologico più importante è probabilmente rappresentato dalla presenza di diverse frane o paleofrane; quelle riscontrabili nell'intorno di progetto sono cartografate come quiescenti. Ne sono state cartografate due rispettivamente 350 m ad est e 120 m ad ovest rispetto l'opera di presa sul Fereggiano.

Lungo l'asse di progetto la galleria di derivazione si trova a profondità sempre importanti rispetto alle dinamiche superficiali e comunque in posizione esterna rispetto alle frane, pur quiescenti, cartografate.

Le opere di presa sui rii Fereggiano, Rovare e Noce, così come parte del tracciato dello scolmatore, sono ubicate in un contesto urbano fortemente antropizzato che ha cancellato o comunque mascherato gli elementi geomorfologici; i sopralluoghi in sito hanno in ogni caso escluso la presenza di fenomeni di dissesto in atto o potenziali gravanti direttamente sulle opere.
In base alle indagini disponibili di prevede la presenza di una modesta coltre di materiale di riporto che ammanta il sottostante substrato roccioso.
Dalla documentazione geognostica e geologica si evince come l'opera di presa sul Rio Noce si trovi in corrispondenza della faglia che segna il limite fra Argille di Ortovero e Flysch di Monte Antola; in tale ambito gli scavi si svilupperanno in un contesto piuttosto articolato con presenza di materiale ora argilloso, ora brecciato, ora lapideo.

L'opera di restituzione a mare è ubicata oltre Corso Italia all'altezza dei bagni "Benvenuto - Squash", in un tratto di costa in regressione e soggetta a periodici lavori di ripascimento con materiale di provenienza fluviale.

Da quanto esposto, complice anche il fatto che l'opera principale è rappresentata da una galleria naturale lunga oltre 3.700 m e posta ad una profondità significativa dal p.c., si evince un contesto generale che esclude la presenza di condizioni di pericolosità geomorfologica in corrispondenza e nell'intorno delle opere d'interesse progettuale.