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 geologica

Scala

Data
Agosto 2013

Progetto Definitivo

Tavola N° PD1.RG.01

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

Rev. 0 –Agosto 2013

I N D I C E

1. INTRODUZIONE 7

2. OGGETTO E SCOPO DEL LAVORO 10

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 11

4. DATI E STUDI PREGRESSI 12
   - 4.1. Progetto preliminare dello scolmatore del Bisagno 12
   - 4.2. Progetto definitivo anno 2007 dello scolmatore del Bisagno 13
   - 4.3. Progetto ITALSTRADE (1989) del deviatore del Fereggiano 15
   - 4.4. Progetto relativo alla caratterizzazione del sottosuolo in supporto alla progettazione di opere in microtunnelling presso l'area ospedaliera San Martino. 19
   - 4.5. Altri progetti 19

5. INDAGINE GEOGNOSTICA. CAMPAGNA DEL 2005 24
   - 5.1. Rilievi sul terreno 25
   - 5.2. Sondaggi geognostici 26
   - 5.3. Prove in sito e di laboratorio 27
   - 5.4. Sismica a rifrazione a terra e sismica a riflessione a mare 28
   - 5.5. Indagini sulla galleria esistente del Fereggiano 28

6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO 30
   - 6.1. Assetto geologico regionale 30
   - 6.2. Assetto geologico locale 32
     - 6.2.1. Le Argilliti di Montoggio 34
     - 6.2.2. Il Flysch di Monte Antola 35
     - 6.2.3. Le Argille di Ortovero 38
     - 6.2.4. Depositi alluvionali 38
     - 6.2.5. Coltri detritiche eluvio-colluviali 39
     - 6.2.6. Depositi di spiaggia 39
     - 6.2.7. Depositi antropici 39

7. RISULTATI DELLE INDAGINI 40
   - 7.1. Rilievi 40
   - 7.2. Sondaggi 42
   - 7.3. Traverse sismiche 47
   - 7.4. Prove in sito 48
   - 7.5. Prove di laboratorio 49

8. GEOLOGIA DEL TRACCIATO 51

9. PROFILO GEOLOGICO 53

10. ASSETTO STRATIGRAFICO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE COMPLEMENTARI 56
10.1. Opera di sbocco a mare 56
10.2. Opere di presa sui rii Fereggiano, Noce e Rovare 56
10.3. Gallerie di collegamento e di servizio 57

11. ASPETTI SISMICI 58

12. CONCLUSIONI 67

APPENDICE 1 – Fotografie.

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 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 02	Relazione geomorfologica
PD1 RG 03	Relazione idrogeologica
PD1 RG 04	Relazione geomeccanica e geotecnica
PD1 RG 03	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
PD1 DS 559	Profilo geomeccanico galleria del Fereggiano
PD1 DS 560	Profilo geomeccanico galleria del Rovare
PD1 DS 561	Profilo geomeccanico galleria del Noce
PD1 DS 562	Profilo geomeccanico idrogeologico galleria del Fereggiano
PD1 DS 563	Profilo geomeccanico idrogeologico galleria del Rovare
PD1 DS 564	Profilo geomeccanico idrogeologico galleria del Noce

1. INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica 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.

L'asse della galleria del Fereggiano nel tratto in prolungamento si trova mediamente a 30 – 50 m dalla prevista galleria del Bisagno, sicché le indagini geognostiche sono posizionate in corrispondenza di un corridoio comune ai due tracciati.

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.

Successivamente sono state reperite le stratigrafie di sondaggi relativi a progetti per opere private e pubbliche distribuiti lungo l'asse progettuale. Tali informazioni, nei progetti più importanti, sono integrate da risultati di prove in sito e di laboratorio sui terreni attraversati. Sono disponibili in particolare le indagini della banca dati del Comune di Genova, alcune indagini eseguite per un progetto di microtunneling nei pressi dell'ospedale San Martino, e le indagini eseguite nel 1989 da Radelli e Castelletti per conto di ITALSTRADE nell'ambito della progettazione del deviatore del Fereggiano.
L'indagine geognostica di riferimento nell'ambito del presente progetto è quella specificamente eseguita dal raggruppamento PRO.MO.GEO. – GET nel 2005, rappresentata da sondaggi geognostici a carotaggio continuo aventi profondità compresa fra 25 – 90 m, integrati da indagini sismiche poste in corrispondenza della zona di sbocco a mare. Sono inoltre state eseguite prove in sito e di laboratorio su campioni rimaneggiati ed indisturbati prelevati nel corso delle perforazioni.
Ad integrazione del quadro conoscitivo nell'estate 2013 sono stati condotti rilievi topografici ed indagini geognostiche in corrispondenza della galleria esistente del Fereggiano al fine di:

- 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.

Attraverso sopralluoghi sui siti e l'esame di materiale bibliografico sono stati reperiti dati relativi a pozzi e sorgenti in aree d'interesse progettuale.

Infine grazie alla disponibilità del Prof. A. Bellini è stato possibile prendere visione della documentazione relativa ai rilievi geologici – geomeccanici effettuati in corso d'opera (febbraio – giugno 1992) durante gli scavi dell'esistente galleria del Fereggiano.

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 lo studio geologico di base della progettazione definitiva dello scolmatore di piena del torrente Fereggiano e dei rii Rovare e Noce.

Oggetto del lavoro è la descrizione delle caratteristiche geologiche, stratigrafiche e strutturali delle aree interessate dai lavori.

Lo scopo è quello di fornire la caratterizzazione geologica in asse al tracciato ed in corrispondenza delle opere principali.

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);
- Nuove 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. DATI E STUDI PREGRESSI

Per un primo inquadramento geologico delle aree d'interesse progettuale sono stati esaminati i dati disponibili inerenti i seguenti lavori:

- progetto preliminare dello scolmatore del Bisagno;
- progetto definitivo dello scolmatore del Bisagno;
- progetto ITALSTRADE (1989) del deviatore del torrente Fereggiano;
- progetto relativo alla caratterizzazione di sottosuolo in supporto alla progettazione di opere in microtunnelling presso l'area ospedaliera San Martino;
- altri progetti minori eseguiti in ambito cittadino;

Sono inoltre stati eseguiti sopralluoghi in sito per verificare i dati disponibili e raccogliere in campo ulteriori elementi utili al completamento del presente lavoro.

4.1. Progetto preliminare dello scolmatore del Bisagno

Il progetto preliminare dello scolmatore del torrente 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. Relazione e profilo mostrano correttamente, per la zona di studio, la presenza dei seguenti termini:

- 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, attraversato da 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.

Nel complesso la documentazione relativa al progetto preliminare risulta, dal punto di vista geologico, sufficientemente dettagliata in relazione al livello progettuale richiesto; essa permette un primo inquadramento ed approccio alla conoscenza del territorio ed evidenzia l'assenza di vincoli di natura geologica all'esecuzione dell'opera. Nei capitoli conclusivi si sottolinea la necessità, in previsione delle successive fasi progettuali, di un'adeguata campagna geognostica al fine di diminuire il livello d'incertezza.

4.2. 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 cui è stato fatto ampio riferimento nella redazione del presente rapporto. 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.

Il progetto è corredato da una campagna geognostica affidata al raggruppamento PRO.MO.GEO. – GET ed eseguita nel periodo compreso fra gennaio ed agosto 2005. Comprende rilievi geologici, idrogeologici e geomeccanici di campo, sondaggi a carotaggio continuo con prove in sito e di laboratorio su terre e rocce, e traverse sismiche a terra e mare. I risultati di tale indagine sono commentati estesamente nei successivi capitoli 4 e 6.

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. In tale contesto tutte le indagini geognostiche, ed i rilievi di campagna, rimangono all'interno di un corridoio comune alle due opere.

I sondaggi relativi alla campagna del 2005, la cui numerazione utilizza la sigla SnD, sono riportati nella planimetria con ubicazione delle indagini in scala 1:5.000 allegata al progetto.

4.3. 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;

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 all'altezza dei bagni Squash.
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) visionata 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 4.1), scavata con fresa ad attacco puntuale, è a geometria policentrica con larghezza alla base 6,00 m e altezza al culmine 6,00 m.

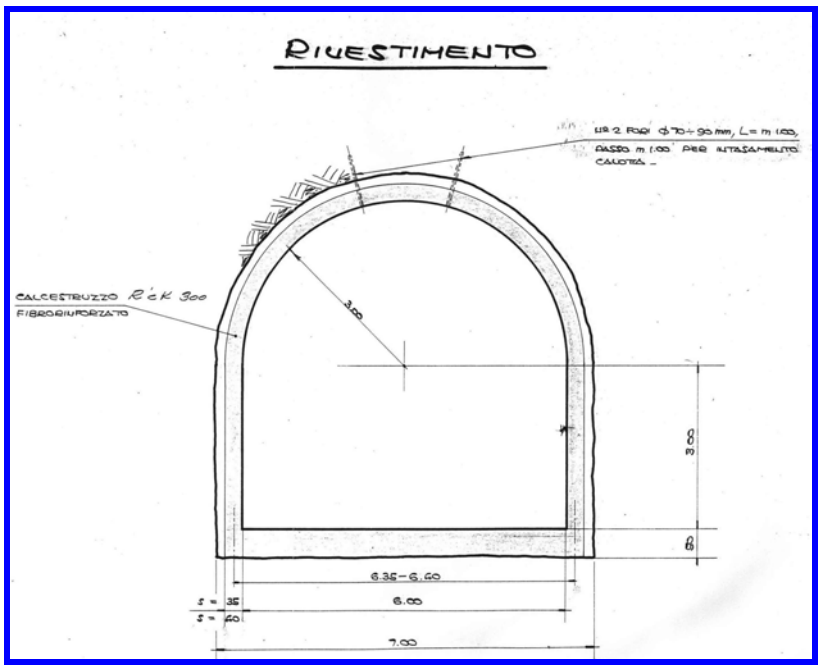


Figura 4.1. Galleria esistente del Fereggiano. Sezione 1 da pk 17,50 a pk 107,83

La sezione tipo 2 (figura 4.2), 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.

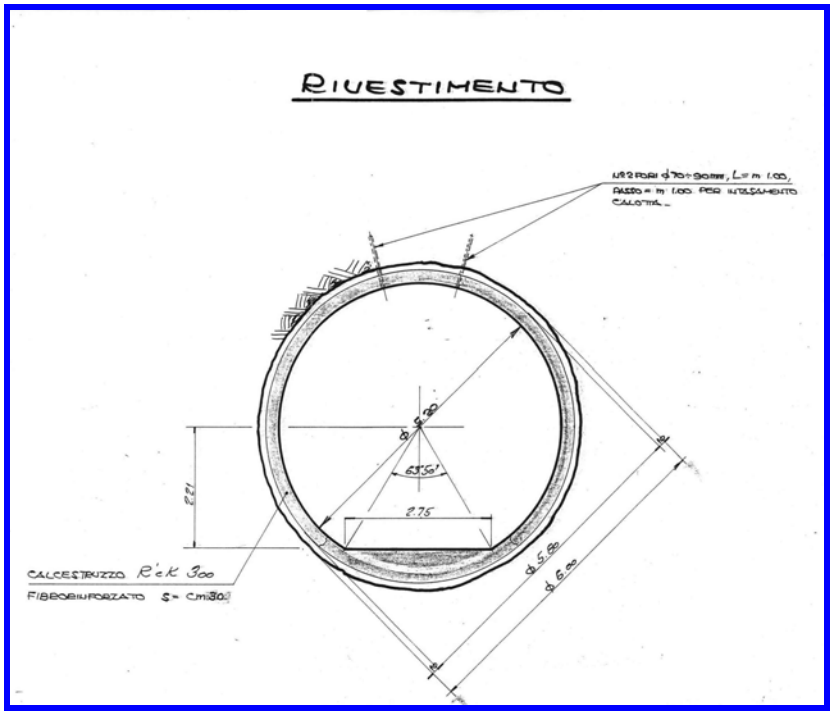


Figura 4.2. Galleria esistente del Fereggiano. Sezione 2 da pk 107,83 a pk 909,40

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.

Le indagini eseguite per il Fereggiano sono utili per integrare la caratterizzazione geologica e geomeccanica lungo l'asse di progetto. Oltre alle stratigrafie dei sondaggi, elencati nella tabella seguente insieme al valore medio dell'RQD, sono disponibili anche prove di laboratorio (fra cui numerose Point Load) su campioni

lapidei, misure del livello della falda e prove di assorbimento d'acqua in foro (Lugeon) condotte a diversa profondità.

Sondaggio	Progetto	Profondità (m da p.c.)	Litotipo	RQD (medio)
SF4	Progettazione del deviatore del Fereggiano. Campagna del 1989	90,00	Coltre detritica/Flysch di Monte Antola	75%
SF5		60,00	Flysch di Monte Antola	45%
SF6		60,00	Argille di Ortovero	
SF8		25,00	Flysch di Monte Antola	70%
SF9		16,20	Riporto/Flysch di Monte Antola	40%
SF10		20,00	Riporto/Flysch di Monte Antola	30%

Tabella 4.1. Sondaggi commissionati da ITALSTRADE nel 1989 per la progettazione del deviatore del Fereggiano.

Con riferimento al progetto in studio i sondaggi più vicini, e quindi di maggiore utilità, sono l'SF8 posto lungo via Gobetti (alla pk 260 circa) nonché SF9 ed SF10 ubicati sulla spiaggia in prossimità dello sbocco a mare. I sondaggi SF6 ed SF5, posti nella zona dell'Ospedale di San Martino (fra pk 2.250 – 2.600) sono significativamente disassati (>300 m) rispetto al tracciato previsto; un valore non trascurabile, specie se si considera che quest'area è caratterizzata da una particolare complessità (fossa tettonica riempita da argille poggianti sul Flysch). In ogni caso integrano i sondaggi eseguiti a cavallo della galleria nel 2005 e permettono di meglio inquadrare tale complessità.
Infine il sondaggio SF4 rimane sulla sponda sinistra del Fereggiano in posizione defilata rispetto al tracciato di progetto, da cui dista circa 550 m.
Nel complesso si tratta di perforazioni molto utili per le elevate profondità investigate, per le numerose prove in sito e di laboratorio condotte e per le numerose indicazioni geologiche, stratigrafiche e strutturali fornite attraverso stratigrafie ben dettagliate ed utili ad un corretto inquadramento generale.

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.

4.4. Progetto relativo alla caratterizzazione del sottosuolo in supporto alla progettazione di opere in microtunnelling presso l'area ospedaliera San Martino.

Il progetto di caratterizzazione del sottosuolo è stato redatto dalla società ENKI nell'ottobre 2002 per conto di AMGA e del Comune di Genova. All'interno della documentazione progettuale particolare spazio viene dato alla parte relativa alla cartografia geologica, geomorfologica ed idrogeologica, alla relazione geologica, alle indagini geognostiche dirette ed indirette, alle prove di laboratorio ed alla caratterizzazione geotecnica e geomeccanica dei terreni.

I sondaggi geognostici a corredo del progetto sono ubicati lungo Viale Benedetto XV; si trovano quindi fra l'Ospedale San Martino e la stazione di Brignole. Il sondaggio SA3, in particolare, si trova nelle immediate vicinanze dell'opera di presa sul Rio Noce. Nel complesso indagano la zona di passaggio fra Flysch di Monte Antola ed Argille di Ortovero; in particolare permettono di meglio ubicare il limite meridionale del graben di Terralba e di definire, nell'area di competenza, lo spessore delle argille poggianti sul Flysch.

Sondaggio	Progetto	Profondità (m da p.c.)	Litotipo	RQD (medio)
SA1	Caratterizzazione geomeccanica in supporto alla progettazione di opere in microtunneling. Campagna del 2002	22,50	Argille di Ortovero	
SA2		22,00	Argille di Ortovero/Faglia	
SA3		25,00	Argille di Ortovero/Flysch di Monte Antola	35%
SA4		16,20	Argille di Ortovero	
SA5		6,00	Argille di Ortovero	

Tabella 4.2. Sondaggi commissionati da ENKI nella zona dell'ospedale San Martino.

I sondaggi relativi al progetto di caratterizzazione geomeccanica, che mantengono la sigla e numerazione originaria con la sola aggiunta della lettera "A", sono riportati nella planimetria con ubicazione delle indagini in scala 1:5.000 allegata al progetto.

4.5. Altri progetti

La maggior quantità di dati disponibili è riferita a progetti pubblici e privati, generalmente di modesta entità, effettuati nelle aree d'interesse progettuale e reperiti nella banca dati del Comune di Genova. Nel complesso i dati geologici e stratigrafici disponibili sono relativi a perforazioni aventi lunghezza molto modesta (10 –

20 m) in relazione alla profondità della galleria, in quanto generalmente finalizzati a progetti di tipo residenziale. Si tratta inoltre di terebrazioni aventi essenzialmente valore geognostico, spesso non corredate da prove in sito o su campioni.
A livello generale si dimostrano comunque una ricca fonte di informazioni visto che permettono, in quasi tutti i casi, di ricondurre le litologie attraversate alle relative unità di appartenenza (depositi superficiali, Argille di Ortovero, Flysch di Monte Antola, Argilliti di Montoggio). In particolare le stratigrafie esaminate rappresentano un valido supporto all'inquadramento generale delle aree, confermano i dati disponibili e quelli acquisiti sull'assetto stratigrafico e tettonico del graben di Terralba. In alcuni casi hanno permesso di approfondire la conoscenza dei livelli idrici permettendo un maggior dettaglio nella definizione del profilo piezometrico.

Nel complesso sono state esaminate oltre 100 stratigrafie; di queste alcune sono relative a perforazioni esterne rispetto al tracciato, altre sono poco significative e/o dettagliate, altre invece sono ubicate in corrispondenza di indagini aventi maggior grado di affidabilità o maggior profondità d'investigazione.

Nella tabella seguente sono riassunte le informazioni principali ricavate dai sondaggi in argomento.

Sond.	Progressiva (m)	Quota (m l.m.m.)	Prof. (m)	Progetto di riferimento	Litologie prevalenti	Distanza dalla condotta (m)	Unità
4289/S4	376.36	20.2	12	Progetto di sistemazione area sportive con due piani di parcheggi interrati	Calcare marnoso	150.81	Flysch di M. Antola
4289/S2	400.08	22.6	10	Progetto di sistemazione area sportiva	Calcare marnoso	163.41	Flysch di M. Antola
4289/S3	401.68	20.9	10	Progetto di sistemazione area sportiva con due piani di parcheggi interrati	Calcare marnoso	138.73	Flysch di M. Antola
4289/S1	431.23	22.7	12	Progetto di sistemazione area sportiva con due piani di parcheggi interrati	Calcare marnoso	141.21	Flysch di M. Antola
4277/S8	491.45	44	8	Progetto di impermeabilizzazione superficie	Limo argilloso e calcare marnoso	109.11	Depositi Superficiali
4277/S6	498.15	44	8	Progetto di impermeabilizzazione superficie	Calcare marnoso	118.46	Flysch di M. Antola
4277/S5	509.67	44	13	Progetto di impermeabilizzazione superficie	Calcare marnoso	122.02	Flysch di M. Antola
4277/S7	523.78	44	8	Progetto di impermeabilizzazione superficie	Calcare marnoso	115.22	Flysch di M. Antola
119/S1	794.82				Marna calcarea e calcare marnoso		Flysch di M. Antola

Sond.	Progressiva (m)	Quota (m l.m.m.)	Prof. (m)	Progetto di riferimento	Litologie prevalenti	Distanza dalla condotta (m)	Unità
119/S2	795.79				Marna calcarea e calcare marnoso		Flysch di M. Antola
119/S3	802.40				Marna calcarea e calcare marnoso		Flysch di M. Antola
119/S4	836.73				Marna calcarea e calcare marnoso		Flysch di M. Antola
4276/S3	1056.68	44.6	11.50	Edilizia privata	Limo argilloso	81.59	Depositi Superficiali
4276/S2	1125.88	48.5	10.50	Edilizia privata	Limo argilloso	155.66	Depositi Superficiali
4276/S1	1173.06	50.5	10.50	Edilizia privata	Limo argilloso	185.19	Depositi Superficiali
154/S1	1218.13	54.0	12.80	Edilizia privata	Marna argillosa, calcare deb. marnoso	318.99	Flysch di M. Antola
171/S1	1223.26	57	8	Edilizia privata	Calcare marnoso	29.50	Flysch di M. Antola
154/S3	1234.28	54.1	15.3	Edilizia privata	Argilla limosa marnosa, Marna calcarea, calcare deb. marnoso	291.84	Flysch di M. Antola
154/S2	1237.86	54	14	Edilizia privata	Argilla limosa marnosa, Marna calcarea, calcare deb. marnoso	313.25	Flysch di M. Antola
171/S2	1241.08	59	8.2	Edilizia privata	Calcare marnose	32.15	Flysch di M. Antola
94/S1C-S2C	1939.64	52	8.3 / 10,10	Edilizia privata	Calcare marnoso	145.40	Flysch di M. Antola
3110/S1	2065.46		22.5		Marna e limo argilloso-sabbioso		Argille di Ortovero
3110/S2	2090		22.5		Marna e limo argilloso-sabbioso		Argille di Ortovero
3121/S1	2117.21	57	8	Collegamento stradale tra via Marsano e Manlasco	Marna	227.04	Argille di Ortovero
94/S3	2300		10.1		Calcare marnoso		Flysch di M. Antola
94/S2	2270		10		Calcare marnoso		Flysch di M. Antola
3121/SS1	2320	57.30	13	Collegamento stradale tra via Marsano e Manlasco	Marna	226.45	Argille di Ortovero
3121/S3	2400		10.50		Riporto		Depositi antropici
3121/SS3	2440		10		Riporto		Depositi antropici
3121/S4	2560		11.50		Riporto		Depositi antropici
3121/S5	2500		12.00		Riporto		Depositi antropici
3121/S6	2520		12.20		Riporto		Depositi antropici
3121/S7	2530		13.00		Riporto		Depositi antropici
3372/S12	2550	78.6	15.00	Indagini per Ospedale S. Martino	Argilla limosa, marna calcarea, calcare marnoso	75.85	Flysch di M. Antola
3372/S8	2550	81	10.00	Indagini per Ospedale S. Martino	Argilla marnosa, calcare marnoso, marna calcarea	60.71	Flysch di M. Antola
3372/S9	2570	81	13.10	Indagini per Ospedale S. Martino	Argilla limosa, calcare marnoso, argillite	77.93	Flysch di M. Antola
3372/S4	2560	89.2	15.00	Indagini per Ospedale S. Martino	Calcare marnoso, marna calcarea,	59.60	Flysch di M. Antola
3372/S6	2570	85	10.00	Indagini per Ospedale S. Martino	Calcare marnoso	48.63	Flysch di M. Antola
3372/S14	2580	89.2	7.00	Indagini per Ospedale S. Martino	Marna calcarea	61.33	Flysch di M. Antola
3372/S3	2570	83.3	15	Indagini per Ospedale S. Martino	Calcare marnoso, marna calcarea, argillite	85.52	Flysch di M. Antola
3372/S7	2600	87	15	Indagini per Ospedale S. Martino	Marna calcarea, calcare marnoso, argillite	88.18	Flysch di M. Antola
3372/S10 bis	2620	89	2	Indagini per Ospedale S. Martino	Calcare marnoso		Flysch di M. Antola

Sond.	Progressiva (m)	Quota (m l.m.m.)	Prof. (m)	Progetto di riferimento	Litologie prevalenti	Distanza dalla condotta (m)	Unità
168/S2	2770	62	13	Edilizia privata	Calcari marnosi	70.96	Flysch di M. Antola
168/S1	2780	68	13	Edilizia privata	Calcari marnosi	86.31	Flysch di M. Antola
3195/S3	2830	107.16	15	Edilizia privata	Calcari marnosi	216.20	Flysch di M. Antola
3195/S1	2835	109.15	15	Edilizia privata	Calcari marnosi	232.04	Flysch di M. Antola
3195/S2	2850	110.89	15	Edilizia privata	Calcari marnosi	247.74	Flysch di M. Antola
3092/S30	3970	145	20		Argilla limosa, calcari marnosi	64.22	Flysch di M. Antola
3092/S37	3980	151	20		Argilla limosa, calcari marnosi	49.79	Flysch di M. Antola
3079/S6	4040	130			Calcare marnoso		Flysch di M. Antola
3092/S39	4030	140	25		Argilla limosa, calcari marnosi	72.35	Flysch di M. Antola
3079/S7	4045	163.9			Calcare marnoso		Flysch di M. Antola
3216/S4	4020	29					
3216/S2	4025	36.50	10		Alternanze livelli argillitici e calcarei	141.16	Flysch di M. Antola
3216/S3	4030	37.00	10		Calcare marnoso	162.99	Flysch di M. Antola
3216/S1	4050	37.50	11		Calcare marnoso	146.87	Flysch di M. Antola
3070/S2	5360	90.00	20.20		Argillite	322.61	Argilliti di Montoggio
3070/S1	5370	90.00	20.00		Argillite	296.89	Argilliti di Montoggio
3249/S1	5380	64.23	10.00		Argillite	180.17	Argilliti di Montoggio
3249/S2	5390	76.48	8.70		Argillite	169.07	Argilliti di Montoggio
3249/S3	5400	77.48	10.00		Argillite		Argilliti di Montoggio
32497S4	5420	81.40	10.00		Argillite		Argilliti di Montoggio
3249/S5	5430	85.95	10.00		Argillite		Argilliti di Montoggio
3249/S7	5440	87.71	10.00		Argillite		Argilliti di Montoggio
3249/S6	5450	93.78	10.00		Argillite	216.05	Argilliti di Montoggio
3012/S1	5690	178.90	15		Calcare marnoso	111.46	Flysch di M. Antola
3012/S2	5750	154.80	15		Calcare marnoso	74.11	Flysch di M. Antola
3275/S2	5740	127	14		Argillite		Argilliti di Montoggio
3012/S3	5770	163.20	15		Calcare marnoso	35.86	Flysch di M. Antola
3275/S18	5770	139	15		Calcare marnoso e argilla		Flysch di M. Antola
3275/S1	5780	131	14		Argillite		Argilliti di Montoggio
3169/S5	5860	75	20		Calcare grigio fratturato		Flysch di M. Antola
3169/S4	5880	74	20		Calcare grigio fratturato		Flysch di M. Antola
3169/S3	5900	73.2	15		Calcare grigio fratturato		Flysch di M. Antola
3169/S1	5940	75	20		Calcare grigio fratturato		Flysch di M. Antola
3169/S2	5950	74	15		Calcare grigio fratturato		Flysch di M. Antola
3007/S17	6600	44.70	20		Calcare marnoso		Flysch di M. Antola
3007/S15	6605	44.20	20		Coltre detritica		Depositi Superficiali
3007/S16	6605	55.90	20		Calcare marnoso e arenaceo		Flysch di M. Antola
3007/S25	6630	52.00	30		Calcare marnoso e arenaceo		Flysch di M. Antola
3088/S2	6506.94	45.93	21		Calcare arenaceo		Flysch di M. Antola
3007/S19	6630	46.00	21		Calcare arenaceo		Flysch di M. Antola

Sond.	Progressiva (m)	Quota (m l.m.m.)	Prof. (m)	Progetto di riferimento	Litologie prevalenti	Distanza dalla condotta (m)	Unità
3007/S24	6650	44.00	20		Calcare arenaceo fratturato		Flysch di M. Antola
3007/S21	6640	40.80	20		Ghiaia con matrice limosa		Depositi Superficiali
3007/S23	6660	44.00	20		Ghiaia con matrice limosa		Depositi Superficiali
3088/S3	6670	44.35	30		Calcare arenaceo		Depositi Superficiali
3007/S22	6670	44.20	20		Ghiaia con matrice limosa		Depositi Superficiali
3007/S18	6660	48.90	30		Calcare arenaceo		Flysch di M. Antola
3088/S1	6655	44.29	30		Calcare arenaceo		Flysch di M. Antola
3007/S20	6680	43.70	30		Calcare arenaceo fratturato		Flysch di M. Antola
3104/S2	6725	40.20	20		Ghiaia		Depositi Superficiali
3104/S3	6730	38.50	20		Ghiaia		Depositi Superficiali
3104/S1	6770	43.80	20		Ghiaia		Depositi Superficiali
3223/S2	6800				Ghiaia e argilla		Depositi Superficiali
3223/S1	6800	43.6			Ghiaia e argilla		Depositi Superficiali

Tabella 4.3. Sondaggi d'archivio. Banca dati Comune di Genova

I sondaggi di cui sopra, che mantengono sigla e numerazione con cui sono stati archiviati a cura del Comune di Genova, sono riportati nella planimetria con ubicazione delle indagini in scala 1:5.000 allegata al progetto.

5. INDAGINE GEOGNOSTICA. CAMPAGNA DEL 2005

Come anticipato nel paragrafo 3.2 le indagini geognostiche di riferimento per la presente progettazione sono quelle eseguite nel 2005.
I sondaggi, in particolare, sono posti a cavallo e a modesta distanza, se non in adiacenza, alla galleria del Fereggiano, mentre le relative profondità sono sempre superiori rispetto alle quote di progetto.

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.

La campagna d'indagini geologico geomeccaniche del 2005 è stata presentata alla Provincia di Genova nell'agosto 2004. Ad essa era allegato uno studio geologico preliminare che sintetizzava le informazioni ed i dati disponibili sulla base dei quali è stata definita l'indagine stessa. In pratica le indagini previste erano tarate in maniera tale da colmare le lacune di conoscenza evidenziate dall'insieme dei dati già disponibili. Elemento essenziale della campagna d'indagine era la flessibilità; attraverso un continuo controllo dei dati emergenti in corso d'opera è stato possibile effettuare variazioni, modifiche ed integrazioni in modo da garantire il massimo livello e dettaglio delle conoscenze.

In tale contesto lo scopo dell'indagine era quello d'integrare le informazioni disponibili per acquisire sufficiente conoscenza circa le caratteristiche geologiche, stratigrafiche e tettoniche dei terreni interessati dalle opere, riducendo al minimo il margine d'incertezza. Sulla base dei risultati ricavati dalle indagini è stato possibile redigere il presente documento nonché il profilo della galleria e le sezioni litostratigrafiche in corrispondenza delle opere principali.
La campagna geognostica si è sviluppata attraverso le seguenti attività:

- rilievi sul terreno nell'ambito di un intorno significativo che copre ampiamente il corridoio della galleria del Bisagno e del Fereggiano;
- sondaggi geognostici;
- prove in sito;
- prove di laboratorio;
- traverse sismiche a terra;
- traverse sismiche a mare;

I lavori sono stati affidati al raggruppamento PRO.MO.GEO – GET. In particolare PRO.MO.GEO si è occupata dell'esecuzione delle indagini dirette ed indirette e delle prove in sito, mentre GET ha svolto i rilievi sul terreno e le prove di laboratorio su terre e rocce.
I sondaggi sono iniziati il 31/01/2005 e si sono conclusi il 05/08/2005; nello stesso arco di tempo sono stati eseguiti i rilievi di campagna, le prove in sito e la maggior parte delle prove di laboratorio. Molto problematica si è rivelata l'esecuzione dei sondaggi geognostici. Difficoltà logistiche connesse con l'accesso ai siti, spesso ubicati in aree densamente urbanizzate e difficilmente accessibili alle attrezzature, presenza di numerosi sottoservizi la cui esatta ubicazione era spesso incerta, difficoltà nell'ottenimento delle autorizzazioni da parte dei proprietari delle aree, problemi burocratici vari per l'accesso alle aree demaniali hanno determinato frequenti fermi macchina ed un allungamento delle tempistiche esecutive.

Nel mese di settembre 2005 sono state ultimate le prove di laboratorio mentre ad ottobre sono state svolte le attività relative a prelievi ed analisi chimiche delle acque ed analisi mineralogiche su sezione sottile.

Nel seguito si descrivono i caratteri essenziali delle singole attività.

5.1. Rilievi sul terreno

Il rilievo geologico, geomeccanico, geomorfologico ed idrogeologico è stato finalizzato alla conferma dei dati cartografici disponibili da fonte bibliografica (carta geologica d'Italia al 100.000, carta geologica d'Italia al 50.000, atlante cartografico della Provincia di Genova al 10.000) ed all'integrazione delle conoscenze acquisite.
Attraverso il rilievo geologico si sono documentati gli affioramenti sulla cui base, unitamente alle informazioni ricavate dalle indagini geognostiche, è stata redatta la cartografia geologica.
Il rilievo geomeccanico si è concentrato sugli affioramenti rocciosi in corrispondenza dei quali sono state rilevate e misurate le giaciture degli strati, lo stato di fratturazione ed i sistemi di discontinuità con relative caratteristiche (giacitura, scabrezza, frequenza, apertura, riempimento, resistenza). In corrispondenza degli

stessi siti sono state effettuate misure con pettine di Barton, prove sclerometriche su affioramenti e point load su campioni raccolti in sito.
Il rilievo geomorfologico ha integrato il rilievo geologico attraverso il riscontro delle diverse forme connesse con l'assetto stratigrafico e morfologico delle aree, con particolare riferimento alle forme di accumulo, di erosione ed alle condizioni generali di stabilità.
Il rilievo idrogeologico è stato finalizzato al riconoscimento delle caratteristiche di permeabilità dei terreni ed al censimento di pozzi e sorgenti sul territorio, con raccolta di tutte le informazioni possibili ad essi connesse. A tal fine oltre ai rilievi e sopralluoghi in sito sono stati reperiti ulteriori dati presso gli uffici competenti.
Nell'ambito dei rilievi sono stati eseguiti nel 2005 e più dettagliatamente nell'estate 2013, sopralluoghi, rilievi e verifiche in corrispondenza della galleria già eseguita del Fereggiano, con misure della portata d'acqua in uscita, della geometria della sezione, della livelletta dell'asse, dell'estensione delle tratte scavate con diverse sezioni tipo (policentrica in zona d'imbocco, circolare a partire dalla pk 107,83), della posizione del fronte di scavo (effettivamente riscontrato alla pk 909,40 in coerenza con la documentazione contabile esaminata) e delle condizioni dei rivestimenti.

5.2. Sondaggi geognostici

I sondaggi sono ubicati in modo da fornire informazioni sull'assetto geologico, strutturale e stratigrafico dei terreni in corrispondenza di punti ove, sulla base dei dati disponibili, erano concentrate le maggiori incertezze. In un contesto generale caratterizzato da una significativa estensione delle aree urbanizzate e/o scarsamente accessibili, la disponibilità di appropriati spazi per lo stazionamento delle attrezzature ha comunque avuto un peso rilevante nell'ubicazione delle verticali d'indagine.
Con riferimento allo scolmatore del Fereggiano i sondaggi eseguiti nel 2005 sono i seguenti:

- 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.

Tutte le perforazioni si sono sviluppate nel Flysch di Monte Antola e si spingono sempre al sotto della quota di fondo della galleria.
Tutti i sondaggi sono attrezzati con piezometro a tubo aperto.

5.3. Prove in sito e di laboratorio

Al fine di caratterizzare l'ammasso in termini di resistenza e deformabilità in corrispondenza di tutti i sondaggi sono state eseguite prove in sito e sono stati prelevati campioni rimaneggiati ed indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio.
Sono inoltre state eseguite prove in sito finalizzate alla valutazione della permeabilità dell'ammasso e prove volte a valutare sia l'iniettabilità della roccia sia la conseguente riduzione di permeabilità.
Attraverso analisi sedimentologiche e petrografiche su campioni in sezione sottile è stata analizzata la composizione chimico mineralogica e la tessitura della roccia.

Le prove eseguite sono le seguenti:

- prove point load su campioni prelevati in affioramento;
- rilievi piezometrici periodici;
- prove Lugeon nei sondaggi S1D; S2D; S3D; di cui una immediatamente prima e dopo la prova di cementazione;
- prove dilatometriche nei sondaggi S1D; S2D; S3D; S5D;
- n° 1 prova down hole per ciascuno dei sondaggi S2D ed S5D;
- n° 1 prova di cementazione sul sondaggio S2D;
- n° 15 analisi petrografiche su campioni in sezione sottile

Le prove di laboratorio 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 petrografiche, difrattometriche e chimiche su campioni di roccia;

5.4. Sismica a rifrazione a terra e sismica a riflessione a mare

Le analisi sismiche sono state eseguite allo scopo di verificare le informazioni disponibili ricavate mediante indagini pregresse, interpolare i dati fra due o più sondaggi ed indagare aree scarsamente accessibili agli altri mezzi d'indagine.

In corrispondenza dell'opera di sbocco, già indagata con i sondaggi SF9 ed SF10 del Fereggiano (1989), è stata prevista l'esecuzione di n° 2 traverse sismiche a rifrazione fra loro ortogonali ubicate sulla battigia per complessivi 180 metri di stendimento. Nel tratto a mare dell'opera di sbocco è stata prevista un'estensione dell'indagine attraverso l'esecuzione di 300 m di prospezione sismica a riflessione.
Scopo delle indagini era quello di verificare la superficie di contatto fra depositi di spiaggia e substrato roccioso in corrispondenza dell'opera di restituzione a mare.

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. Nello stesso periodo sono state 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, livelletta, posizione del fronte di scavo, dimensioni interne in corrispondenza delle diverse sezioni tipo ecc);
- integrare/ampliare il rilievo di dettaglio nelle tratte interessate dall'opera di restituzione a mare;
- verificare l'interferenza fra la galleria esistente del Fereggiano e la fognatura (attualmente risolta mediante una tubazione posta in galleria);
- 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).

6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Nel presente capitolo viene descritto l'assetto geologico a scala regionale e, successivamente, il contesto geologico, stratigrafico e strutturale a livello di scala dell'opera.

6.1. Assetto geologico regionale

Geologicamente il territorio di Genova ha caratteristiche del tutto peculiari in quanto è stato da sempre considerato come l'area di transizione fra la catena Alpina e quella Appenninica, comprendendo unità delle Alpi Liguri che sono state dapprima coinvolte nell'evoluzione alpina a livelli più o meno profondi, e successivamente sono state 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 appartiene buona parte dei 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 as-

sociata una scistosità di frattura molto evidente in particolare nelle 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 6.1.

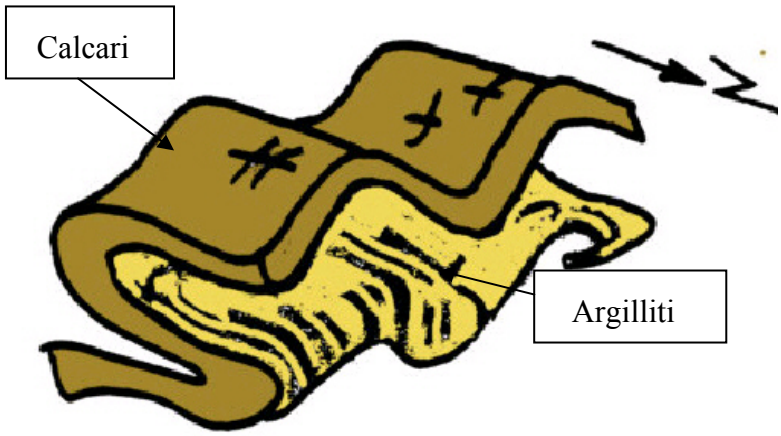


Figura 6.1. Schema geometrico dell'interferenza fra diverse fasi plicative.

Dall'analisi delle stereo proiezioni polari delle famiglie di discontinuità ottenute dai rilievi di campagna (riferimento elaborato: rilievi geostrutturali) si osserva che, spesso, le giaciture dei due sistemi principali di fratture sono 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 viene 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 Stazione 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 – graben di Terralba). Nella fossa creatasi, 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.

Nel quadro generale l'Appennino Settentrionale si colloca al raccordo con la catena alpina ed è tradizionalmente delimitato a NW dalla linea Sestri – Voltaggio e a Sud dalla linea Ancona – Anzio (Corsi, 2003). Le Unità che lo costituiscono sono riconducibili a quattro domini paleogeografici ben distinti: quello Ligure (oceanico e transizionale), Subligure, Toscano e Umbro – Marchigiano. Il dominio Ligure è suddivisibile in due sottodomini: Ligure Interno e Ligure Esterno.

6.2. Assetto geologico locale

L'area interessata dal tracciato dello scolmatore del Torrente Fereggiano include la porzione inferiore della Val Bisagno, che scorre con direzione circa N-S, e parte dei bacini dei Rii Fereggiano, Rovare e Noce.
In figura 6.2 si riporta uno stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, Foglio 83 Rapallo, con riferimento all'ara d'interesse progettuale.



Figura 6.2. Stralcio Carta Geologica d'Italia 1:100.000 F. 83 Rapallo

Dal punto di vista geolitologico questo settore è caratterizzato dalla presenza delle tre seguenti Formazioni, distinte in ordine cronologico dalla più antica alla più recente (le datazioni sono riprese dalla più recente Carta Geologica al 50.000 dell'APAT):

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

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.

L'UMA rappresenta una delle falde d'impilamento tettonico a margine della linea Sestri-Voltaggio. Poggia tettonicamente sull'Unità del Flysch di Busalla e la base del sovrascorrimento è rappresentata dalle Argilliti di Montoggio, che avrebbero funzionato da livello di scollamento e lubrificante tettonico.
L'UMA appartiene, nell'ambito del Dominio Piemontese Ligure, alle Liguridi Interne (Elter e Marroni, 1991) .Secondo alcuni autori però la sua appartenenza al Dominio Ligure Interno, o a quello Esterno, è ancora oggetto di discussione.
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 occorrono giaciture a polarità rovesciata (vedi figura 6.1).

Da segnalare la presenza, nella zona dell'ospedale di S. Martino, della formazione delle Argille di Ortovero, un deposito che rappresenta il colmamento di un basso strutturale (graben) del fondale marino pliocenico avente orientazione circa E – W, quindi ortogonale alla direzione della galleria principale.

Nell'ambito dell'anfiteatro genovese il flysch di Monte Antola rappresenta la litologia arealmente predominante che determina la morfologia dei versanti (vedi figura 6.2). Le argilliti di Montoggio affiorano lungo i fianchi della media Val Bisagno, dove risultano più diffuse in sponda destra rispetto alla sinistra, mentre sono praticamente assenti nell'area cittadina se si eccettua una ristretta zona in Albaro. Le argille plioceniche, infine, sono presenti con buona continuità in una larga fascia che attraversa la città in direzione ponente – levante.

Nel seguito si descrivono in dettaglio i depositi presenti lungo lo sviluppo delle opere, dal più antico al più recente ivi inclusi i termini di copertura.

6.2.1. 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 arenaria 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 sottostante Flysch di Monte Antola il contatto è quasi sempre riattivato tettonicamente da zone di taglio.

Il limite inferiore della formazione è rappresentato dal Flysch di Ronco e la natura del contatto, stratigrafico o tettonico, è ancora controversa. 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; risultano 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. Un affioramento rimane ad est del tracciato fra le pk 1.550 – pk 1.900. Il vicino sondaggio S1D, profondo 85 m e spinto sino a quota galleria, attraversa il Flysch diMonte Antola senza incontrare le argilliti.

6.2.2. Il 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 arenacei fini, calcari marnosi, marne calcaree, livelli di argilliti emipelagiche talora scistose e, più raramente, strati a base arenacea (FOTO 1).

Anche 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 (15%) ed argilliti complessivamente inferiori al 5% (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, da poco a 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 giaciturali per effetto sia di complessi fenomeni sinsedimentari (slumping) sia per le diverse deformazioni plicative subite dall'ammasso in fasi diverse. Questo spiega la notevole dispersione dei valori riscontrabile fra le diverse fonti bibliografiche consultate, e determina un certo grado d'incertezza nella ricostruzione stratigrafica, a livello di giacitura, degli ammassi rocciosi in corrispondenza della galleria di progetto.
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 di 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).

Il Flysch di Monte Antola, rappresentato da calcari non puri, sulla base degli elementi bibliografici acquisiti integrati dalle diverse evidenze in sito, non risulta soggetto a fenomeni carsici di rilievo. Alcuni autori addirittura dubitano che per l'Antola si possa parlare di vero e proprio carsismo il quale, comunque, assume un carattere blando e poco pervasivo. I dati disponibili, in particolare, sembrano escludere la presenza di una circolazione idrica a grande scala di tipo carsico.

Il Flysch di Monte Antola è la formazione di maggiore rilevanza progettuale, in quanto affiora estesamente su buona parte del territorio comunale ed occupa anche la massima parte delle aree di competenza delle opere. E' riscontrabile in affioramento ed è osservabile nella maggior parte dei sondaggi disponibili. Anche l'esistente galleria del Fereggiano è scavata (fatta eccezione per alcuni metri all'imbocco) interamente nel Flysch dell'Antola.

6.2.3. Le Argille di Ortovero

Le Argille di Ortovero sono depositi marini costituiti prevalentemente da marne, argille marnose, siltiti e arenarie fini di colore grigio o grigio azzurro quando non alterate, fortemente sovraconsolidate e molto consistenti o dure. Più raramente si registra la presenza di strati sottili di sabbie a grado di cementazione variabile. Alla base della Formazione sono presenti livelli ghiaiosi e conglomeratici il cui spessore varia da pochi centimetri a qualche metro. Ciò testimonia la rapidità dell'evento trasgressivo e dell'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, le argille hanno colmato fosse tettoniche neogeniche, tipo graben, delimitate da faglie sub parallele alla costa per spessori molto variabili; si va dagli oltre 200 m riscontrati nel centro di Genova (Piazza Corvetto – Acquasola) a spessori di alcune decine di metri (o pochi metri) all'estremità della depressione.
Con riferimento all'area d'interesse progettuale sono cartografate nella tratta circa compresa fra le pk 2.100 – pk 2.400, delimitate da faglie dirette sub parallele alla costa.

6.2.4. Depositi alluvionali

I depositi alluvionali più significativi sono circoscritti al tratto mediano e terminale dell'asta del T. Bisagno, per una lunghezza di circa 10 km, larghezza compresa tra circa 200 m e 1.000 m e spessori compresi tra 10 e 50 m. 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, è costituito da ghiaie, ghiaie limose e ghiaie sabbiose che raggiungono spessori massimi di 25-30 m; il secondo e terminale 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.

6.2.5. Coltri detritiche eluvio-colluviali

Le coltri detritiche sono diffuse, in plaghe più o meno estese e 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 (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 granulometrico; esse sono infatti tipicamente costituite da un'abbondante scheletro grossolano di clasti calcarei immersi in una matrice fine dove prevale ora la frazione sabbiosa, ora quella limo-argillosa. I maggiori accumuli sono in genere associati alla presenza di corpi di paleofrana.
Nella carta geologica di progetto le coltri detritiche sono cartografate laddove gli spessori previsti sono superiori al metro.

6.2.6. Depositi di spiaggia

I depositi di spiaggia bordano, localmente, il margine costiero per spessori di pochi metri. Sono in genere costituti da depositi ciottolosi se non oggetto di ripascimenti sabbiosi artificiali.
Con riferimento alle aree d'interesse progettuale si riscontrano in corrispondenza dell'opera di restituzione a mare, a valle di Corso Italia.

6.2.7. Depositi antropici

Depositi antropici di estensione limitata, costituiti da materiali sciolti ed eterogenei in origine e composizione, con morfologia spianata, sono presenti in particolare nell'area urbanizzata in relazione ad interventi di edilizia o industriale. Nelle aree indagate sono rappresentati da ghiaie argillose con sabbie, o ghiaie sabbiose con argilla, ed includono frammenti calcarei eterometrici a spigoli vivi, chiodi metallici, ferri di armatura e pezzi di calcestruzzo.

7. RISULTATI DELLE INDAGINI

Nel presente capitolo si riportano le informazioni essenziali relative alle indagini eseguite nel 2005, sulla base delle quali è stata redatto il presente documento nonché tutta la documentazione di tipo geologico – geotecnico – geomeccanico ed idrogeologico allegata al progetto.

7.1. Rilievi

Durante il corso della campagna geognostica sono stati eseguiti rilievi geologici, geomeccanici ed idrogeologici allo scopo di verificare ed integrare le informazioni disponibili. In prima sede 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. Tale attività ha permesso di riconoscere e classificare i litotipi affioranti e misurare, ove possibile, la giacitura degli strati al fine di ricostruire con maggior grado di attendibilità l'assetto geostratigrafico del sottosuolo.

Sulla base delle informazioni relative alla cartografia geologica disponibile, ai risultati emersi nel corso dei rilievi ed alle informazioni ricavate nel corso della campagna d'indagine, è stata redatta la carta geologica in scala 1:5.000 che comprende sia le aree di progetto che un intorno ritenuto significativo.

In corrispondenza degli affioramenti principali sono stati effettuati rilievi geostrutturali con valutazioni di parametri della massa rocciosa relativi a giacitura degli strati e delle discontinuità, relativa geometria, persistenza, continuità, grado di apertura, alterazione, riempimento, scabrezza dei giunti (misurata con il pettine di Barton) e resistenza degli stessi (misurata con sclerometro). L'attività è stata condotta su n° 26 affioramenti diversi nei quali sono state ubicate n° 38 stazioni di rilevamento; di queste 36 sono nel Flysch di Antola e solo 2, causa la scarsità di affioramenti del litotipo, ricadono nelle Argilliti di Montoggio. Nel corso dell'attività sono stati rilevati circa 1.800 records di cui 554 relativi a giunti di strato e 1.021 giunti di frattura.

Nell'allegata carta degli affioramenti sono riportate le ubicazioni delle stazioni di rilevamento geologico – strutturale. La tabella 7.1 riassume le informazioni sa-

lienti ricavate dai rilievi strutturali e contenute nell'omonimo elaborato cui si rimanda per maggiori dettagli. Dai dati rappresentati, accorpati in 4 zone di omogeneità distinte con le lettere C, D, E ed F[1] si evince la presenza, oltre alla stratificazione, di 3-4 sistemi di discontinuità aventi caratteristiche relativamente uniformi; di questi però solo 2 sono quelli normalmente più rappresentativi dal punto di vista quantitativo.

Zona	C	D	E	F
Progressive	3717-3081	3081-2306	2306-2025	2025-0
Litotipo	FMA	FMA	FMA	FMA
n° sistemi discontinuità	3+st	3+st	3+st	3+st
Giunti di strato	discontinui	discontinui	planari	planari
Giunti di frattura	discontinui	discontinui	discontinui	discontinui
JRC strati	8	6	4	4
JRC giunti	14	14	12	4
Persistenza giunti	media-bassa	bassa	media	alta
Apertura giunti	np	aperti	aperti	poco aperti
Alterazione giunti	alterati	poco alterati	poco alterati	alterati
Riempimento	calcite	calcite/ detritico	detritico/ plastico	calcite/ plastico
Condizioni idrauliche	umidi/ bagnati	asciutti	umidi/ bagnati	stillicidio
Spaziatura strati	200-600mm	60-200mm	200-600mm	300-1000mm
Spaziatura fratture	200-600mm	60-200mm	200-600mm	60-300mm
JCN	30-35	15-30	20-30	15-30
Sondaggi di riferimento	S4D	S3D	S5D S2D	S1D S10F-S9F
RQD (%)	75-90	50-75	0-25 50-75	50-75 25-50
sc (Mpa)	25-50	25-50	5-25 25-50	25-50

Tabella 7.1. Zone di omogeneità geologico strutturale individuate sulla base dei rilievi di superficie.

Durante i rilievi sul terreno sono stati svolti sopralluoghi atti a localizzare pozzi e sorgenti presenti sul territorio. L'attività ha preso avvio sulla base delle informazioni contenute nella carta idrogeologica allegata all'Atlante Cartografico Geologico del Comune di Genova, nella carta idrogeologica allegata al Piano di Bacino del Torrente Bisagno e nello studio relativo ai bacini idrografici liguri (AMGA 1995).

[1] Le zone A e B sono esterne alla cartografia del Primo lotto. Poste più a nord rientrano in aree di competenza del deviatore del Bisagno.

Causa l'elevato grado di urbanizzazione delle aree ed il particolare contesto dei luoghi, non sempre è stato possibile prendere diretta visione degli elementi indagati.
In ogni caso nella carta idrogeologica allegata al progetto sono riportate le ubicazioni di 2 sorgenti, entrambe piuttosto distanti dal tracciato, e 12 pozzi posti tutti lungo l'alveo del torrente Bisagno, a buona distanza dal tracciato di progetto (> 1 Km) ed in un diverso contesto idrogeologico. La carta riporta anche considerazioni qualitative e quantitative sulla permeabilità dei diversi terreni ed evidenzia i limiti dei bacini idrografici dei principali corsi d'acqua.

7.2. Sondaggi

Nell'ambito della campagna del 2005 sono stati realizzati n° 8 sondaggi (numerati da S1D a S8D) di profondità compresa fra 23 e 90 m per complessivi 510 m di perforazione; di questi oltre l'85% hanno richiesto l'uso della corona diamantata. Tutte le perforazioni sono state attrezzate con piezometro a tubo aperto; conformemente alle specifiche i piezometri sono stati forati in corrispondenza e nell'intorno dell'asse della galleria, e sigillati a mezzo di boiacca cementizia nelle rimanenti tratte.
I sondaggi ricadenti nel primo lotto sono S1D – S2D – S3D – S5D, oltre all'S4D che si trova poco oltre rispetto all'opera di presa sul Fereggiano. Più a nord (ma sempre nei medesimi terreni) sono ubicati i sondaggi S6D – S7D – S8D.

Le stratigrafie sono state redatte durante il corso della perforazione e le cassette 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. La tabella seguente riassume i dati salienti delle singole verticali d'indagine.

Per completezza in tabella sono descritti gli elementi essenziali di ogni singolo sondaggio eseguito, mentre nella descrizione seguente si fa riferimento alle sole verticali geognostiche di stretto interesse progettuale. Per le stratigrafie, rilievi

strutturali sulle carote e fotografie delle cassette si rimanda agli specifici elaborati allegati al progetto.

Sondaggio	Progetto	Profondità (m da p.c.)	Litotipo	RQD (medio)
S1D	Scolmatore del torrente Bisagno. Campagna del 2005	85,00	Flysch di Monte Antola	75%
S2D		70,00	Argille di Ortovero/Flysch di Monte Antola	75%
S3D		90,00	Flysch di Monte Antola	70%
S4D		80,00	Flysch di Monte Antola	75%
S5D		65,00	Argille di Ortovero/Flysch di Monte Antola	35%
S6D		33,00	Depositi detritico alluvionali e Flysch di Monte Antola	55%
S7D		23,00	Depositi detritico alluvionali e Flysch di Monte Antola	60%
S8D		70,00	Argilliti di Montoggio/Flysch di Monte Antola	25%

Tabella 7.2. Sondaggi eseguiti nel 1995. In neretto quelli ricadenti nel primo lotto.

S1D

Ubicato entro al perimetro del Forte di San Martino, all'altezza della progressiva 1.550 m circa, attraversa per tutto lo sviluppo (85 m) il Flysch di Monte Antola rappresentato da calcari marnosi poco fratturati con limitate intercalazioni spiccatamente marnose o argillitiche di spessore decimetrico. In particolare la perforazione attraversa una successione, prevalentemente calcarea, piuttosto monotona e costante con RQD spesso compreso fra il 65 – 85%; sono altresì evidenti ampi tratti di spessore plurimetrico con RQD compreso fra 90 – 100%. Locali orizzonti estremamente fratturati di spessore al massimo di 1,0 – 1,3 m isolano tratte con RQD compreso fra 25 – 35%. Nel sondaggio in argomento il livello piezometrico viene riscontrato a - 55,80 m da p.c.

S2D

Ubicato accanto all'ingresso del pronto soccorso dell'Ospedale di San Martino, all'altezza della progressiva 2.350 m, questo sondaggio è finalizzato alla determinazione dello spessore della coltre argillosa che riempie il graben di Terralba. In effetti superati i primi 5 m di profondità, nei quali è stato riscontrato materiale di riporto con laterizi, sono state attraversate ghiaie ed argille limose afferenti alla Formazione delle Argille di Ortovero. Già alla profondità di 11,50 – 12,20 m esse lasciano spazio al sottostante basamento roccioso rappresentato dal Flysch di An-

tola in facies calcareo marnosa, con locali e limitate intercalazioni di argilliti di colore scuro di spessore decimetrico, spesso estremamente fratturate se non brecciate. Contrariamente ai piccoli livelli argillitici il materiale si presenta nel complesso poco fratturato, a tratti quasi integro, evidenziando un RQD compreso fra 75 – 80%, con anche ampie tratte pari o superiori al 90% (FOTO 2). Nel sondaggio in argomento il livello piezometrico si trova a -3,00 m da p.c.

S3D

Ubicato a margine del Rio Rovare, a valle del Forte di Santa Tecla ed all'altezza della progressiva 2.900 m circa, si sviluppa interamente nel Flysch di Monte Antola qui rappresentato da calcari marnosi con limitate intercalazioni di spessore compreso fra 30 – 130 cm di marne o argilliti. Anche in questo caso ed a livello generale il materiale si presenta poco fratturato con un RQD valutato nell'ordine del 70 – 80%. Localmente un maggior grado di fratturazione determina la presenza di orizzonti, generalmente di spessore pari a 1 m ed eccezionalmente sino a 2 m, aventi RQD più modesto e compreso fra il 30 – 50%. Fa eccezione il tratto compreso fra le profondità di 35 – 40 m dove, all'interno dei calcari, si susseguono frequenti livelli decimetrici di materiale brecciato che determinano un RQD medio nell'ordine del 25%, o comunque compreso fra 25 – 50%.

Durante la perforazione alla raggiunta profondità di 65 m è stata riscontrata una falda idrica in pressione con risalienza sino a circa +4 m da p.c. Per evitare la continua fuoriuscita d'acqua lungo la strada il piezometro è stato fessurato solo fra le profondità di 3 – 30 m da p.c, dove rileva un livello idrico sostanzialmente coincidente con il piano campagna.

S4D

Il sondaggio è ubicato sulla sinistra idrografica del torrente Fereggiano, poco oltre rispetto l'opera di presa e quindi fine intervento. Superati i primi 5,4 m interessati da materiale di riporto con laterizi si sviluppa interamente nel Flysch di Monte Antola rappresentato da un'alternanza di calcari marnosi e marne spiccatamente calcaree. In particolare un'alternanza irregolare di calcari marnosi, marne calcaree ed argilliti si riscontra fra 5,4 e 25 m; trattasi di materiale poco fratturato con RQD fra il 70 – 80%.

Seguono calcari marnosi sino a fondo foro generalmente poco fratturati con RQD compreso fra 50 – 80%, con anche frequenti tratti quasi integri (RQD > 90%). Nella successione sono però evidenti orizzonti brecciati posti generalmente a di-

stanze più o meno regolari (5 - 10 m) rappresentati da frammenti litici in matrice sabbioso limosa aventi spessore normalmente decimetrico ed eccezionalmente metrico (1,9 m fra 76,85 – 78,85 m).
Nel sondaggio S4D, come meglio discusso nella relazione idrogeologica, alla profondità di 66 m circa è stata intercettata una falda idrica con risalienza sino a + 3m dal piano campagna ed una portata di circa 1,5 l/s. Dopo alcuni giorni è stato però necessario rimuove il piezometro e sigillare il foro a seguito di alcune infiltrazioni d'acqua segnalate in una casa molto vicina in linea d'aria ma posta, lungo l'incisione torrentizia, ad una quota inferiore rispetto al sondaggio in argomento.

S5D

Il sondaggio è ubicato entro al perimetro dell'Ospedale di San Martino in prossimità della progressiva 2.150 m circa. Lo scopo è quello di approfondire le conoscenze circa l'esatta profondità del passaggio fra le Argille di Ortovero ed il sottostante Monte Antola.
In questo caso al di sotto di 4,00 m di materiale di riporto sono state localizzate le Argille di Ortovero estese sino alla profondità di circa 34 m da piano campagna. Ad esse seguono frequenti orizzonti metrici di brecce (RQD 0) costituite da frammenti calcarei in matrice argillo limosa cui si alternano livelli calcarei da molto a poco fratturati (RQD 10 – 70%) (FOTO 3). Con il progredire della profondità gli episodi di breccia divengono meno potenti (pur permanendo lungo tutto lo sviluppo del sondaggio) sostituendo la matrice argillo limosa con sabbia e limo.
Si ritiene che il sondaggio S5D superate le argille, e pur sviluppandosi entro il Flysch di Monte Antola, affianchi la scarpata (e quindi la superficie di faglia) che delimita il graben. Una situazione stratigrafica analoga è stata riscontrata nel sondaggio SA3 eseguito in Viale Benedetto XV per un progetto AMGA e citato in precedenza.

Dall'insieme delle informazioni ricavate dai diversi sondaggi si evince uno stato di fratturazione generale della roccia medio o medio basso ed un RQD valutabile da discreto a buono. E' evidente altresì l'attraversamento di alcune zone di faglia o di disturbo tettonico caratterizzate da materiale brecciato o con valori di RQD estremamente modesto (FOTO 5).

Va comunque sottolineata l'elevata variabilità, estesa sia in senso verticale che laterale, del grado di fratturazione della roccia compatibile con le complesse vicende orogeniche che hanno coinvolto il materiale in periodi diversi.

In tutte le perforazioni sono evidenti livelli da molto fratturati a brecciati di spessore da decimetrico a metrico; fra questi è compresa la quasi totalità delle intercalazioni argillitiche che costituiscono veri e propri piani di debolezza all'interno del complesso. Localmente è stato attraversato un materiale interessato da importanti lineazioni tettoniche (sondaggio S5D) dove la presenza di materiale brecciato è riscontrabile per spessori anche decametrici.

Dall'esame delle carote sono evidenti almeno due (anche se probabilmente sono di più) fasi fessurative distinte. La più antica si manifesta con frequenti fratture abbastanza larghe (da 0,5 mm sino a 0,5 cm) sigillate da calcite, completamente suturate e, proprio per questo, molto evidenti. Una fase più recente si segnala per la presenza di fessure generalmente con superfici ondulate, lisce, poco o per nulla alterate, chiuse o accostate, raramente aperte, prive di riempimento o con riempimento limo sabbioso; solo raramente il riempimento è coesivo (FOTO 6 e 7). Tali sistemi sono normalmente orizzontali - poco inclinati (0 – 20°) o a media inclinazione (40 -60°), più raramente sono verticali o subverticali (70 – 90°).

La stratificazione, generalmente poco evidente in affioramento, è ben intuibile dalle carote le quali tendono spesso a dividersi in corrispondenza dei piani di strato.
E' interessante osservare come le analisi al microscopio su campioni in sezione sottile, eseguite presso l'Università di Genova, siano sostanzialmente coincidenti con le osservazioni a livello di macrostruttura. La roccia si dimostra infatti un *"calcare marnoso microcristallino con frazione organogena abbondante sostenuta da fango micritico e illite"*, o una "*pelite arenacea a composizione di calcite, quarzo, illite e detritica"*. In tutti i campioni analizzati il materiale risulta attraversato da "*vene con andamento rettilineo* (spessore 0,3-0,5 mm a livello di sezione sottile) *a riempimento di calcite cristallina intersecatisi a medio angolo che conferiscono una struttura cataclasica brecciata ad elementi prismatici"*.
Le analisi chimiche e difrattometriche eseguite presso l'Università di Trieste mostrano una composizione chimico/mineralogica relativamente omogenea con il 75% di carbonato di calcio, il 20% di quarzo, l'1% feldspati ed il 4% di argilla.

7.3. Traverse sismiche

Le indagini dirette effettuate mediante perforazioni meccaniche sono state integrate da prospezioni sismiche a rifrazione (a terra) ed a riflessione (a mare) che hanno permesso di ottenere valide informazioni sugli spessori delle coltri di copertura.
Le indagini in argomento sono ubicate anche in una planimetria di dettaglio (scala 1:500) relativa all'opera di sbocco.

Un elenco delle traverse sismiche eseguite è riportato in tabella 7.3.

Traversa	Tipo	Lunghezza(m)	Litotipo
A	Sismica a terra	46	Sabbie e ghiaie/Flysch di Antola
B	Sismica a terra	69	Sabbie e ghiaie/Flysch di Antola
Rotta 1	Sismica a mare	225	Sabbie e ghiaie/Flysch di Antola
Rotta 2	Sismica a mare	340	Sabbie e ghiaie/Flysch di Antola
Rotta 3	Sismica a mare	360	Sabbie e ghiaie/Flysch di Antola
Rotta 4	Sismica a mare	420	Sabbie e ghiaie/Flysch di Antola
Rotta 5	Sismica a mare	420	Sabbie e ghiaie/Flysch di Antola
Rotta 6	Sismica a mare	630	Sabbie e ghiaie/Flysch di Antola
Rotta 7	Sismica a mare	1180	Sabbie e ghiaie/Flysch di Antola

Tabella 7.3. Sismica a rifrazione a terra e mare

Le traverse sismiche a rifrazione denominate A e B sono posizionate lungo la battigia, in corrispondenza dell'opera di restituzione a mare, ad integrazione dei sondaggi disponibili del Fereggiano identificati dalle sigle SF9 ed SF10. Gli stendimenti, uno longitudinale ed uno trasversale alla galleria, hanno lunghezza rispettivamente di 46 e 69 m cui si aggiungono 2-3 m di offset (tiri esterni).

In prossimità dello sbocco della galleria, e del tratto di costa antistante, sono state eseguite n° 7 traverse sismiche (rotte) a riflessione per complessivi 3.575 m di stendimento. Le rotte 1, 2, 3 e 4 sono disposte parallelamente alla costa mentre le 5, 6 e 7 sono ad essa perpendicolari; in particolare la rotta 6 rappresenta idealmente il prolungamento a mare della traversa A.

Dai dati ricavati si evince una buona correlazione fra la sismica a terra e quella a mare, nonché fra la le profondità dei rifrattori sismici ed i sondaggi disponibili. Oltre alla presenza di alcune solette in calcestruzzo a modesta profondità, proba-

bilmente connesse con le attività del progetto ITALSTRADE del 1989[2], lungo la battigia le traverse A e B individuano il substrato roccioso a profondità variabili fra 6 – 8 m da p.c.; esso è ricoperto da depositi di spiaggia rappresentati da ghiaie anche grossolane con ciottoli, sabbie e materiale di riporto di pari granulometria aventi velocità delle onde sismiche nell'ordine di 700 m/s.

La sismica a mare, che permette fra l'altro una verifica della batimetria del fondale, evidenzia come il substrato sia sempre a profondità modeste dal fondale e, nell'area d'interesse, comprese fra 1,5 e 5 m.

Per maggiori dettagli uno specifico allegato contiene la documentazione relativa alla sismica a terra, le tabelle con le dromocrone e le sezioni sismostratigrafiche interpretative. Un ulteriore elaborato contiene gli elementi acquisiti con la sismica a mare, le sezioni stratigrafiche interpretative di restituzione ed una specifica relazione descrittiva sul funzionamento del metodo e sugli strumenti utilizzati.

7.4. Prove in sito

Durante il corso delle indagini, ed in particolare durante l'esecuzione dei sondaggi e dei rilievi sul terreno, sono state effettuate numerose prove in sito i cui risultati, unitamente alle prove di laboratorio, concorrono alla valutazione delle caratteristiche geologiche, di resistenza e di deformabilità dei materiali attraversati. Rimandando alla relazione geomeccanica e geotecnica per maggiori dettagli si elencano di seguito le prove eseguite:

- prove point load su campioni prelevati in affioramento afferenti sia al Flysch di Monte Antola che alle Argilliti di Montoggio;
- prove SPT durante l'attraversamento di materiali sciolti; in particolare nel sondaggio S5D sia in materiali di riporto che nelle Argille di Ortovero;
- n° 17 prove dilatometriche nel corso dei sondaggi S1D, S2D, S3D, S4D, S5D. Ciascuna prova si è articolata attraverso tre cicli di carico e scarico misurando i rispettivi moduli per ciascuno di essi;
- n° 2 prove Lugeon nei sondaggi S1D, S2D, con pressioni comprese fra 10 e 35t/m^2;

[2] Dalla documentazione contabile dello scolmatore del Fereggiano, progetto ITALSTRADE 1989, risultano infatti pagati calcestruzzi in fondazione per circa 75.000 mc in corrispondenza della prevista "opera di restituzione esterna".

- n° 1 prova di cementazione nel sondaggio S3D, mediante uso di cemento Portland ultrafine ed un rapporto acqua/cemento 1/5, registrando un assorbimento complessivo, su un tratto di foro di 5 m, pari a 600 l di miscela.
- nel sondaggio S3D sono state eseguite due prove Lugeon sullo stesso tratto rispettivamente prima e dopo la prova di cementazione in foro di cui sopra al fine di valutare la riduzione di permeabilità dell'ammasso;

Tutta la documentazione relativa alle prove in sito eseguite è contenuta in uno specifico elaborato allegato al progetto.

7.5. Prove di laboratorio

Durante il corso dei sondaggi sono stati prelevati numerosi campioni sui quali eseguire prove di laboratorio finalizzate alla classificazione ed alla caratterizzazione geotecnica e geomeccanica dei materiali. In relazione ai terreni attraversati la maggior parte dei campioni prelevati sono relativi a spezzoni di carota lapidea afferenti al Flysch di Monte Antola e, in misura molto minore, alle Argilliti di Montoggio.

Tutti i campioni sono stati presi in carico, durante il corso delle perforazioni e non appena redatte le colonne stratigrafiche, direttamente dal responsabile del laboratorio. La scelta dei materiali più idonei da prelevare è stata effettuata, in relazione al tipo di prove previste, privilegiando i materiali posti in corrispondenza delle quote della galleria.

Rimandando alla relazione geotecnica e geomeccanica per maggiori dettagli, di seguito si elencano brevemente le prove eseguite:

- analisi mineralogiche su sezione sottile, chimiche e difrattometriche, per la valutazione dell'esatta composizione del materiale roccioso e dell'usura degli utensili di scavo per i lavori in sotterraneo;
- point load su campioni lapidei prelevati nel corso dei sondaggi ed a diverse profondità;
- n° 80 prove di compressione semplice non strumentate;
- n° 13 prove di compressione semplice strumentate, con determinazione del coefficiente di Poisson e del modulo elastico;

- n° 16 prove di trazione tipo “brasiliana”;
- n° 14 prove di compressione triassiale, condotte ciascuna su n° 6 provini utilizzando pressioni di contenimento pari a 0,00 - 0,2 – 0,5 – 1 – 3 – 5 MPa.

L’intera documentazione relativa alle prove di laboratorio è suddivisa in due elaborati allegati al progetto.

8. GEOLOGIA DEL TRACCIATO

La Carta Geologica in allegato, alla scala 1:5.000, è stata ottenuta interpolando i dati a disposizione con particolare riferimento alla cartografia geologica disponibile, alla carta degli affioramenti redatta sulla base dei recenti sopralluoghi ed alle stratigrafie di tutti i sondaggi geognostici, vecchi e nuovi. Gli studi condotti, in coerenza con le informazioni disponibili, hanno evidenziato come le litologie presenti nella zona interessata dal progetto siano riconducibili essenzialmente alle seguenti Formazioni:

- Flysch di Monte Antola;
- Argilliti di Montoggio;
- Argille di Ortovero;
- Depositi superficiali (alluvionali, colluviali, gravitativi, antropici, di spiaggia).

Il tratto compreso fra il torrente Fereggiano e lo sbocco a mare si sviluppa in buona parte all'interno della Città di Genova evidenziando un intenso grado di urbanizzazione e numerosi corsi d'acqua in parte tombati.

Dall'esame della carta geologica si nota come la maggior parte delle aree d'interesse progettuale sia occupata dal Flysch di Monte Antola, che si estende con continuità lungo quasi tutto lo sviluppo della galleria. La stratificazione, non sempre molto evidente e d'interpretazione univoca in affioramento, riproduce una serie di strutture anticilinaliche e monoclinaliche spesso blande interrotte da sistemi di faglie disposte generalmente NW-SE o circa E - W, più raramente N-S. Accanto ai sistemi dislocativi indicati in carta è probabile ve ne siano altri non riconoscibili sia per la scarsità di affioramenti sia per il grado di urbanizzazione di molte aree. Normalmente il Flysch è ricoperto da una coltre detritica di spessore modesto; localmente sono presenti depositi riconducibili a movimenti gravitativi e costituiti prevalentemente da brecce eterogenee in matrice limoso - sabbiosa di colore grigio.

Le Argilliti di Montoggio sono confinate ad una stretta fascia nell'intorno del Rio Mermi, posta fuori carta. Tale affioramento è da mettere in relazione con la presenza di importanti sistemi di faglia. Un secondo e limitato affioramento di Argilliti di Montoggio è cartografato ad est del Forte di San Martino ad una distanza compresa fra 80 – 150 m rispetto al tracciato. Le Argilliti di Montoggio nelle aree indagate non affiorano mai diret-

tamente in superficie, essendo ricoperte da una coltre detritica originata a spese della formazione stessa e su cui spesso s'instaurano fenomeni deformativi superficiali.

Le Argille di Ortovero occupano una fascia ristretta avente direzione circa E-W, delimitata da due faglie parallele con direzione NW-SE o E-W. Lo spessore del litotipo si dimostra molto variabile e compreso fra i 60 m del vicino sondaggio SF6 del Fereggiano (anche se da bibliografi risultano possibili spessori maggiori, sino a 80 – 100 m) ed i 12 m del sondaggio S2D recentemente eseguito. Anche in questo caso non sono stati riscontrati affioramenti del litotipo per effetto dell'elevata alterabilità dello stesso e del marcato grado di urbanizzazione delle aree di competenza.

Lungo l'alveo del torrente Bisagno (fuori carta) sono presenti depositi alluvionali costituiti prevalentemente da ghiaie argillose con sabbia o sabbie argillose con ghiaia. Tali depositi, com'è stato possibile dedurre dalle stratigrafie dei sondaggi o pozzi per acqua effettuati in passato, presentano spessori anche superiori ai 20 m. Spostandosi dal corso d'acqua verso i vicini rilievi i depositi alluvionali hanno spessori decrescenti, mentre su di essi poggia una coltre detritica originatasi a spese del Flysch e/o materiali di riporto messi in posto probabilmente a favore della costruzione dei diversi fabbricati.

In corrispondenza della costa sono presenti depositi di spiaggia; in molte aree esigenze di fruibilità detta battigia hanno portato, nel recente passato, a versamenti di materiale granulare spesso proveniente dalla manutenzione degli alvei fluviali.

9. PROFILO GEOLOGICO

L'opera principale prevista in progetto è rappresentata dalla galleria di derivazione delle acque di piena del torrente Fereggiano. La descrizione del relativo profilo è proposta, per comodità, lungo la direzione di deflusso delle acque, quindi dall'opera di presa verso lo sbocco a mare. La numerazione delle progressive per contro è in senso opposto, ovvero dallo scarico a mare all'opera di presa.

Il profilo geologico è stato elaborato in base alle evidenze cartografiche ed agli elementi desunti dai sondaggi eseguiti nelle diverse fasi e periodi. La ricostruzione delle strutture a grande scala è sostanzialmente conforme al quadro geologico generale noto ed al Progetto ITALSTRADE del 1989; rispetto a quest'ultimo però si riscontrano localmente alcune differenze accertate sulla base delle indagini recentemente eseguite; si consideri inoltre che i due tracciati non sono coincidenti. Il progetto del primo lotto riprende infatti la galleria esistente, spostandosi poi progressivamente verso est avvicinandosi alla galleria del Bisagno, lasciando quindi il primitivo tracciato EDILSTRADE 1989 ad una distanza variabile fra 300 – 500 m.
A livello generale l'andamento delle strutture vede un susseguirsi di pieghe a bassa curvatura con assi sub paralleli, distanziati, con direzione E-W. Si ricorda che l'inclinazione degli strati riportati in sezione è sensibilmente amplificata rispetto a quella reale per effetto della deformazione introdotta dalla differenza di scala orizzontale/verticale (un'inclinazione degli strati di 10° determina una immersione di oltre 45° in profilo). Sul profilo è riportato anche l'atteso livello piezometrico. Rimandando alla relazione idrogeologica per maggiori dettagli, e premesso che i calcari marnosi del Flysch di Monte Antola hanno una permeabilità (per fratturazione) generalmente modesta, nella maggior parte dei piezometri messi in opera è stato riscontrato un livello idrico posto a modesta profondità da p.c. Questo ha portato a prevedere una piezometrica che, per buona parte del tracciato, segue la topografia approfondendosi solo nel tratto compreso fra l'Ospedale di San Martino e la linea di costa.

Con riferimento al profilo geologico allegato sono state distinte le seguenti tratte omogenee:

Zona C. Tratta 3.717 – 3.081 m: è compresa fra due faglie poste la prima a nord rispetto l'opera di presa, la seconda alla progressiva 3.100 m circa. Entrambe le dislocazioni hanno in carta direzione NW – SE e prevedono la presenza di calcari marnosi da

molto fratturati a brecciati; lo spessore delle zone di faglia si prevede decametrico. Gli strati descrivono una serie di ondulazioni, con una sinclinale in corrispondenza dell'opera di presa seguita subito da un'anticlinale in zona di rilievo (coerenza fra giacitura degli strati e assetto morfologico). Lo stato di fratturazione del materiale, esternamente alle zone di disturbo tettonico, è generalmente modesto così come segnalato dal sondaggio S4D. In corrispondenza degli assi delle pieghe, o più probabilmente dei fianchi delle stesse, potrebbero essere presenti fasce di materiale maggiormente fratturato legato a piccole dislocazioni di svincolo originate come risposta di un materiale rigido alle ripetute deformazioni.

Zona D. Tratta 3.081 – 2.306 m: Nella tratta in argomento si prevede materiale moderatamente fratturato così come indicato nel sondaggio S3D; questo nonostante la presenza più ad occidente di una faglia disposta N-S che però, probabilmente, non fa sentire i suoi effetti in asse al tracciato. Gli strati descrivono ancora una serie di ondulazioni con fianchi però leggermente più aperti rispetto al tratto precedente.

Zona E. Tratta 2.400 – 2100 m: questa tratta rappresenta un settore ribassato da due faglie fra loro parallele che cingono una depressione (graben) il cui riempimento è avvenuto nel Pliocene ad opera di sedimenti marini afferenti alle Argille di Ortovero. In base alla ricostruzione stratigrafica emersa dai sondaggi sondaggi S2D e S5D il letto delle argille si posiziona a quote più alte rispetto allo scavo. Tutta la tratta permane nei calcari marnosi del Flysch di Monte Antola aventi una struttura monoclinalica. Lo stato di fratturazione previsto è medio, o medio elevato. L'attraversamento delle due faglie avverrà in un materiale costituito da frammenti e blocchi arenacei eterometrici in matrice ora limoso argilloso sabbiosa ora sabbioso limosa.
E' opportuno segnalare come nel progetto ITALSTRADE del 1989 l'attraversamento di questa tratta avvenisse interamente nelle argille di Ortovero, riscontrate fino a quota di progetto nel corso del sondaggio SF6. Il tracciato ITALSTRADE (e con esso il sondaggio SF6) rimane >300 m ad ovest rispetto al nuovo tracciato dello scolmatore del Fereggiano; questo se da un lato può spiegare una diverso inquadramento geologico stratigrafico dall'altro permette di comprendere quale possa essere, nell'ambito della fossa tettonica attraversata, la possibile complessità e variabilità laterale.
Resta il fatto che questo settore si presenta come quello di maggiore complessità tettonica e stratigrafica (i due aspetti sono fra loro strettamente connessi), tanto più che in profondità le faglie delimitanti il graben tendono a convergere fra loro, e con ciò probabilmente ad ampliare gli effetti sul setto roccioso interposto.

Zona F. Tratta 2100 – 0.000 m: riprende la naturale configurazione del Flysch calcareo con intercalazioni marnose ed argillitiche e blande ondulazioni orientate in direzione ponente – levante. Un brandello di argilliti di Montoggio è cartografato in zona valletta Puggia (Istituto di Fisica dell'Università) ad est rispetto alla galleria fra le pk 1.500 – pk 1.900. In questa tratta, dove peraltro è stato eseguito il sondaggio S1D interamente compreso nel Flysch di Monte Antola, le possibilità di intercettare le Argilliti è assai modesta.

Il materiale si presenta da poco a mediamente fratturato in conformità con quanto riscontrato nel sondaggio S1D. Progressivamente al diminuire della copertura potrà esservi un incremento del grado di fratturazione della roccia.

I rilievi eseguiti nel corso dello scavo della galleria del Fereggiano, già realizzata da ITALSTRADE nel 1992 per i primi 909,40 m, segnalano la presenza di strati e banchi di calcare e calcare marnoso, con locali interstrati di marna ed argillite, estesi con continuità dalla zona d'imbocco sino al fronte di scavo. La giacitura dell'ammasso mostra invece una certa variabilità anche su distanze relativamente brevi.

Nella tratta posta al di sotto di Corso Italia, per i primi 35 m circa, lo scavo della galleria esistente ha attraversato materiali sciolti (depositi di spiaggia e materiale di riporto), nonchè la zona di contatto fra gli stessi materiali ed il substrato roccioso.

10. ASSETTO STRATIGRAFICO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE COMPLEMENTARI

Nel presente capitolo è descritta, con riferimento alle sezioni stratigrafiche allegate, la situazione prevista in corrispondenza dell'opera di presa, dello sbocco a mare, delle opere di presa e gallerie di collegamento dei Rii Rovare e Noce,.

10.1. Opera di sbocco a mare

Lo sbocco a mare è ubicato a valle di Corso Italia all'altezza dei bagni Squash. La stratigrafia dell'opera di restituzione a mare è nota grazie alle indagini pregresse relative ai sondaggi SF9 – SF10 del deviatore del Fereggiano, integrate e supportate dalle traverse sismiche a terra ed a mare recentemente eseguite.

Le indagini hanno evidenziato la presenza di depositi spiaggia grossolani per spessori compresi fra 6 – 8 m da p.c., ed un substrato roccioso rappresentato dalle alternanze calcareo marnose del Flysch di Monte Antola. Accanto ai materiali di spiaggia si prevede altresì la presenza di materiale di riporto, costituito essenzialmente da ciottoli e ghiaia con anche frammenti eterometrici, derivante da lavori di ripascimento della spiaggia effettuati in passato. La posizione della falda può essere ritenuta coincidente con il livello del mare.
A mare lo spessore della copertura poggiante sul substrato è più modesta e, nelle aree d'interesse, è compresa normalmente fra 1,5-5 m dal fondale.
Le indagini sismiche segnalano inoltre, nel tratto di spiaggia antistante Corso Italia, proprio davanti all'imbocco della galleria esistente, alcune solette in calcestruzzo poste a modesta profondità. Dovrebbe trattarsi di strutture (opera di restituzione a mare?) realizzate da ITALSTRADE nel 1992, e successivamente ricoperte per rendere fruibile l'area attualmente oggetto di una concessione balneare.

10.2. Opere di presa sui rii Fereggiano, Noce e Rovare

La tipologia delle opere previste è con luci e soglie; la portata destinata a proseguire in alveo viene derivata tramite una luce di fondo mentre quella in eccesso viene sfiorata mediante una soglia. Il collegamento fra l'opera di presa e la galleria avviene attraverso pozzi a vortice.

L'opera di presa sul Rio Fereggiano è prevista, salvo una modestissima copertura di materiale di riporto, direttamente nei calcari marnosi del Flysch di Monte Antola visibili in affioramento lungo l'incisione del corso d'acqua.
In corrispondenza dell'opera di presa sul Rio Rovare, sulla base delle indagini disponibili di cui ai sondaggi 168/S1 e 168/S2 (banca dati Comune di Genova) si prevede che il substrato roccioso sia ammantato da una coltre di materiale di riporto avente spessore compreso fra 3 – 5 m da p.c.
In corrispondenza dell'opera di presa del Rio Noce, con riferimento ai sondaggi eseguiti per la caratterizzazione geomeccanica dei terreni finalizzata al progetto dell'AMGA, si prevede il passaggio della faglia che segna il limite meridionale della fossa di Terralba. La situazione stratigrafica, fra p.c. e 18 m di profondità, dovrebbe essere piuttosto articolata. Si prevede infatti l'attraversamento di una breccia di faglia costituita da frammenti e blocchi calcarei eterometrici a spigoli vivi immersi in matrice limoso sabbiosa, a tratti limoso argillosa. Dall'alto verso il basso la presenza di inclusioni e frammenti lapidei aumenta in maniera evidente, anche se nella stessa tratta potranno esservi parti dello scavo a prevalenza ora argillosa (Argille di Ortovero) ora calcareo marnosa. Al di sotto della profondità di 18 m da p.c. sarà presente la normale successione del Flysch di Monte Antola da fratturato a mediamente fratturato.

10.3. Gallerie di collegamento e di servizio

Le gallerie di collegamento, interposte fra le opere di presa del Rovare e Noce e la galleria di adduzione principale, saranno scavate interamente all'interno della bancate calcareo marnose, con intercalazioni marnose ed argillitiche, del Flysch di Monte Antola generalmente da poco a mediamente fratturato.
Nel complesso per esse si prevede un contesto geologico sostanzialmente analogo rispetto a quello della galleria principale nel vicino tratto in affiancamento. Solo nella parte iniziale della galleria del Noce, per effetto della faglia che interessa anche l'opera di presa, il materiale potrà avere uno stato di fratturazione significativamente più elevato.

11. ASPETTI SISMICI

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, risulta 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 ad eccezione di alcuni comuni posti ad oriente rispetto alla città di La Spezia, viene considerato non sismico.

Il 20 marzo 2003 è stata 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). Per ogni zona è prevista l'applicazione della progettazione sismica con livelli di severità differenziati, salvo proprio nella zona 4 dove viene demandata alle Regioni la facoltà di richiedere o meno la progettazione sismica.

Mediante la banca dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) è stata ottenuta la figura 11.1 che riporta lo schema, semplificato, della storia sismica della città di Genova.

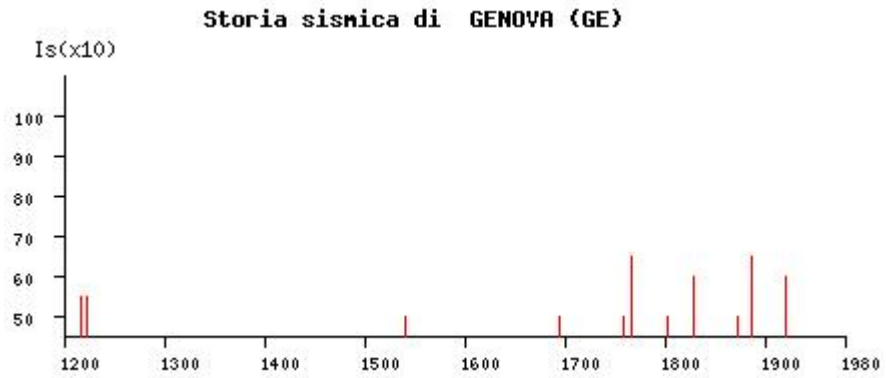


Figura 11.1. Storia sismica di Genova (banca dati INGV)

E' evidente come la modesta pericolosità derivi essenzialmente da un ridotto numero di sismi registrati cui compete, generalmente, una magnitudo modesta o relativamente modesta. La maggior quantità di registrazioni relative ai periodi successivi al 1800 sono imputabili forse più alla maggior 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 11.1 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 e sull'epicentro stesso.

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 11.1. 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 11.1.

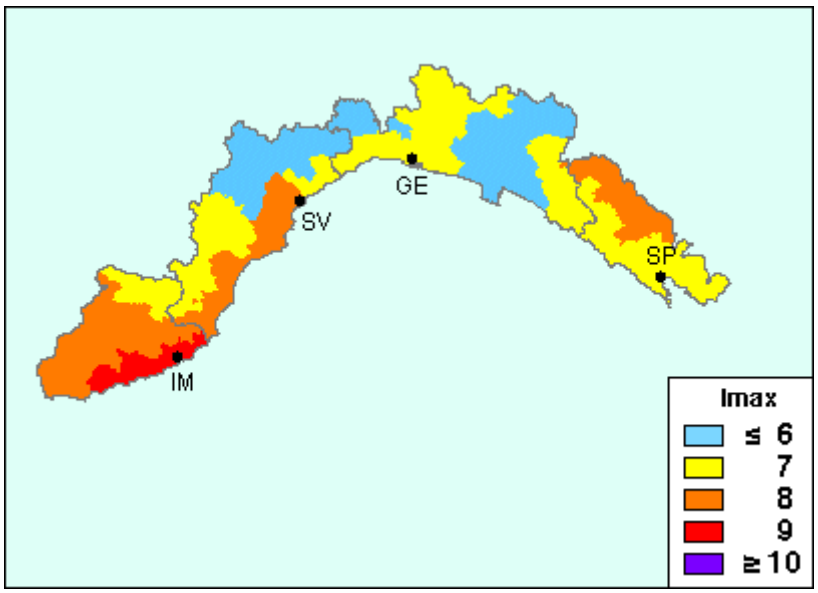


Figura 11.2. Regione Liguria. Massima intensità sismica (fonte: GNDT – ING).

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 (reticolo di riferimento, Tr 475 anni), 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.

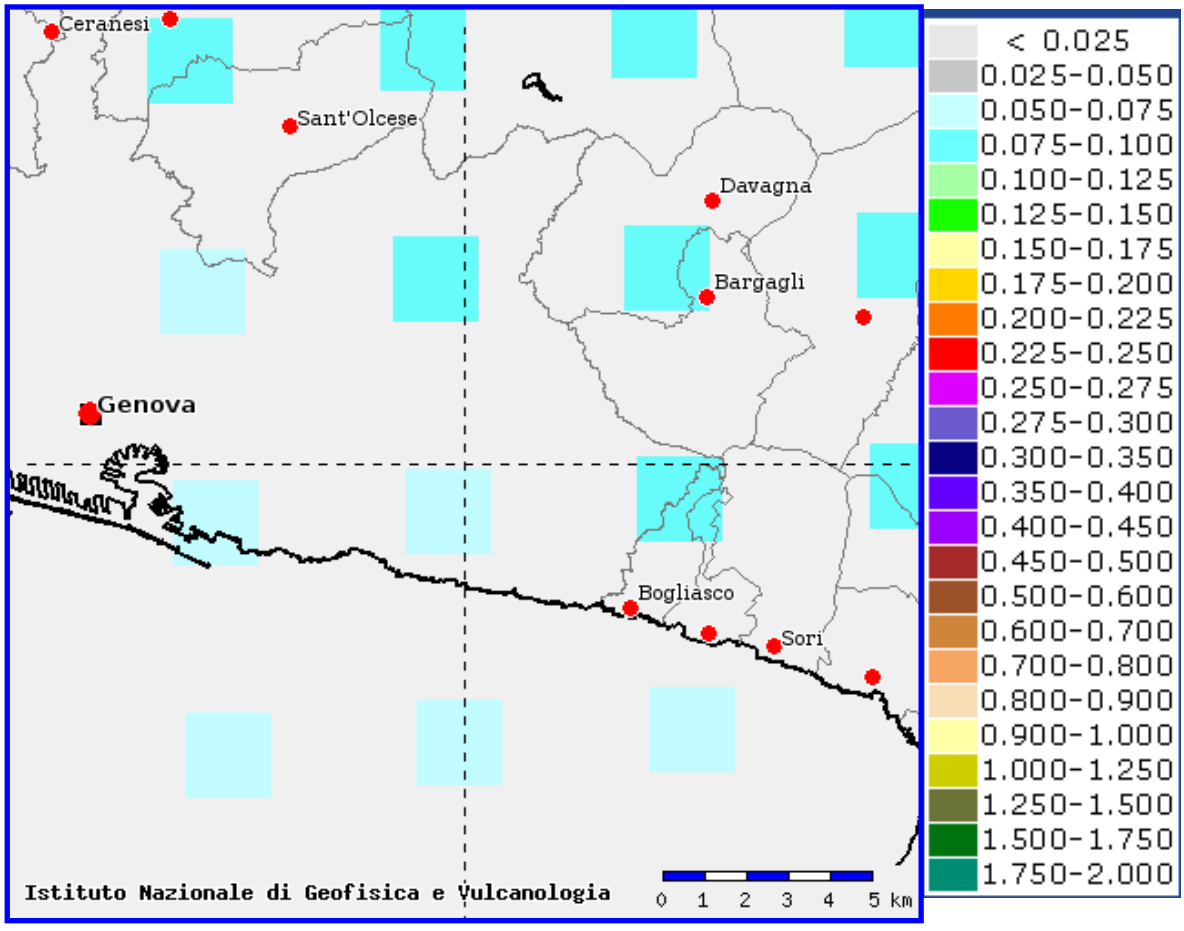


Figura 11.3. Valori di pericolosità sismica (OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Vs30>800 m/s, suolo di categoria A).

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) (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

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 11.2. 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:

$$Vs30 = 30 /$$

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.

Nell'estate del 2013 specifiche indagini sono state eseguite per la determinazione categoria di suolo di fondazione in corrispondenza dell'opera di restituzione a mare.

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.

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 11.3 . Categorie topografiche ai sensi delle NTC 2008

La valutazione della pericolosità sismica locale deve essere 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 esame, 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 VR è dato per ciascun tipo di costruzione dalla seguente relazione:
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 11.4) 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 11.4. 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 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**.

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 11.5. 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 parametri ag, F0, e TC* per i periodi di ritorno TR associati a ciascun SL, che definiscono lo spettro di risposta elastico di riferimento in accelerazione Se(T) dai quali viene poi ricavato lo spettro di progetto Sd(T) vengono dedotti in base alle coordinate gografiche del sito d'interesse progettuale.

12. CONCLUSIONI

Il lavoro ha preso avvio sulla base della documentazione disponibile rappresentata dal Foglio "Genova" della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000, dal Foglio 213 – 230 "Genova" in scala 1:50.000 dell'APAT, dal Piano di Bacino del Bisagno, dalla cartografia allegata all'*"Atlante cartografico geologico del comune di Genova",* dal Progetto preliminare dello scolmatore del Bisagno redatto dall'Associazione Temporanea di Imprese Binnie Black & Veatch – Geodata – D'Appolonia nel luglio 2000, e dal progetto definitivo dello stesso scolmatore del Bisagno redatto dall'ATI Technital, S.p.A., Sogreah S.A., Studio Maione ingegneri associati, Studio Galli S.p.A. nel 2007.
Sono inoltre state reperite tutte le informazioni disponibili e relative ad indagini geognostiche ubicate sul territorio e ricadenti in corrispondenza o nell'intorno del tracciato di progetto; si fa particolare riferimento alle indagini effettuate per conto di ITALSTRADE nel 1989 per il deviatore del Fereggiano, alle indagini eseguite nel 2000 per un progetto di caratterizzazione geomeccanica per opere in microtunnel a valle dell'Ospedale San Martino, e numerosi sondaggi eseguiti per progetti di edilizia pubblica o privata reperiti presso la banca dati del Comune di Genova.

Le indagini di riferimento nell'ambito del presente progetto sono quelle specificamente eseguite per la progettazione definitiva dello scolmatore del Bisagno.
In particolare sono stati eseguiti, nelle aree di maggiore difficoltà interpretativa e con riferimento esclusivo alle aree di competenza del primo lotto, n° 5 sondaggi a carotaggio continuo di lunghezza compresa fra 20 – 90 m, tutti attrezzati con piezometro. I sondaggi sono stati eseguiti dal raggruppamento PRO.MO.GEO – GET nel periodo compreso fra gennaio ed agosto 2005. Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati campioni su cui effettuare prove di classificazione e caratterizzazione geotecnica e geomeccanica di laboratorio. Sono state effettuate anche numerose prove in sito tipo Lugeon, dilatometriche, down hole ed SPT. La campagna ha previsto inoltre l'esecuzione di traverse sismiche a terra in corrispondenza dell'opera di sbocco, oltre a traverse sismiche a mare sempre in prossimità dello sbocco.

I dati ricavati sono stati ulteriormente integrati da rilievi geologici e geomeccanici in sito che hanno permesso di redigere la carta degli affioramenti e conoscere le caratteristiche essenziali delle discontinuità che interessano le masse rocciose.
Nell'estate del 2013 rilievi topografici, tecnici e goognostici hanno interessato anche la galleria esistente del deviatore del Fereggiano, realizzata per un tratto di 909,40 m da

ITALSTRADE nel 1992. La galleria risulta interamente rivestita in c.a.(fatta eccezione per gli ultimi 8 m in corrispondenza del fronte di scavo) e collaudata.

Una dettagliata cartografia in scala 1:5.000 riporta l'ubicazione delle indagini ubicate nell'intorno dell'area studiata e la posizione delle stazioni geostrutturali rilevate. I risultati delle indagini, commentati in dettaglio nella relazione geomeccanica e geotecnica di progetto, sono allegati ad una serie di elaborati distinti relativi alle stratigrafie dei sondaggi, fotografie delle cassette, rilievo geostrutturale, sismica a rifrazione, sismica a mare, prove in sito, analisi di laboratorio, rilievo della falda idrica ed analisi chimiche delle acque, indagini sulla galleria esistente del Fereggiano..

Dal punto di vista geologico stratigrafico sono presenti i seguenti terreni, dal più antico al più recente:

- Argilliti di Montoggio, rappresentate da argilliti laminate e scagliettate di colore scuro;
- Flysch di Monte Antola, rappresentato da calcari marnosi con subordinate intercalazioni di marne ed argilliti;
- Argille di Ortovero, rappresentate da marne argillose di colore grigio;
- Depositi colluvali, alluvionali, di spiaggia e riporti antropici,.

L'assetto geologico generale del territorio è deducibile dall'allegata carta geologica e, più in dettaglio, dal profilo geologico tracciato in asse alla galleria principale nonché in corrispondenza di tutte le opere principali. La carta idrogeologica individua le emergenze idriche (pozzi e sorgenti), delimita i bacini dei corsi d'acqua principali e, sulla base della cartografia geologica, suddivide i singoli litotipi in base alla relativa classe di permeabilità.

La galleria di adduzione delle acque, che rappresenta anche l'opera principale, si sviluppa essenzialmente entro ai calcari marnosi del Flysch di Monte Antola, generalmente poco o mediamente fratturati. Localmente la monotonia del materiale è interrotta da faglie, generalmente di svincolo originate lungo il fianco delle pieghe, in corrispondenza delle quali il materiale si presenta da molto fratturato a brecciato. I sondaggi dimostrano come in ogni caso, anche nelle tratte meno disturbate, siano presenti locali orizzonti fratturati o brecciati di spessore generalmente modesto (1 – 3 m).

In prossimità dell'Ospedale di San Martino, fra le progressive 2.100 – 2.400 m circa, si prevede l'attraversamento del graben di Terralba, una fossa tettonica delimitata da sistemi di faglie dirette fra loro parallele successivamente colmata dalle Argille di Ortovero; le indagini eseguite evidenziano come la galleria resti al di sotto del letto delle Argille e quindi all'interno del Flysch.

Il quadro geologico generale ottenuto sulla base delle indagini disponibili si dimostra coerente con il Progetto Definitivo dell'attigua galleria dello scolmatore del Bisagno, e con il progetto del deviatore del Fereggiano redatto da ITALSTRADE nel 1989. Fanno eccezione locali differenze derivanti da una più approfondita definizione dei litotipi presenti nel sottosuolo nelle diverse tratte. In particolare risulta che nella zona dell'Ospedale e del Forte di San Martino lo scavo permanga nel Flysch senza incontrare ne le Argille di Ortovero ne le Argilliti di Montoggio, affioranti quest'ultime più ad est.

In tutti i sondaggi è stato riscontrato un livello idrico prossimo a piano campagna; in alcune perforazioni la falda risulta anche avere risalienza rispetto al piano campagna. La piezometrica pertanto segue la copertura lungo tutto il tracciato; fa eccezione il tratto compreso fra il Forte di San Martino e la linea di costa ove la piezometrica si deprime in maniera evidente. In ogni caso per maggiori dettagli sull'argomento si rimanda alla Relazione idrogeologica allegata al progetto.

L'opera di sbocco a mare vede la presenza di una modesta copertura di depositi di spiaggia e materiali di riporto (6 – 8 m) poggianti sul Flysch.
Anche le gallerie di servizio, quelle di collegamento e le opere di presa sui rii Rovare e Fereggiano sono impostate direttamente nel substrato flyschioide, salvo modesti depositi di copertura di origine antropica individuati sull'opera di presa del Rovare e, in misura molto minore, del Fereggiano. L'opera di presa sul Noce è posta in corrispondenza della faglia che segna il margine meridionale della fossa di Terralba e si prevede interesserà prima una breccia di faglia ove si trovano frammisti lembi di Flysch ed Argille di Ortovero, (sino a circa 18 m di profondità) e successivamente il Flysch.

Il progetto prevede lo scavo della galleria principale, e delle gallerie minori, mediante un avanzamento condotto con sistema tradizionale. Il primo fronte di attacco sarà rappresentato dalla progressiva 0+909 dell'esistente galleria realizzata nel 1993 da ITALSTRADE.

Lo scavo avverrà mediante l'utilizzo di sezioni tipo concettualmente analoghe a quelle già utilizzate nel 1993, che prevedono una prevalenza di spritz beton, chiodature radiali o centine in condizioni di fronte prevalentemenete stabile. Interventi di preconsolidamento del fronte di scavo, mediante infilaggi metallici, localmente anche VTR al fronte, saranno previsti nell'attraversamento delle zone di disturbo tettonico (in particolare nell'intera area del graben) e della progressiva 1647 m circa, dove la galleria principale intercetta, con un modesto franco, la linea ferroviaria esistente Genova – La Spezia.
Dal punto di vista idrogeologico si prevede l'attraversamento di un materiale lapideo saturo, permeabile per fratturazione, con generali e diffuse condizioni di stillicidio, spesso intenso, e possibili venute concentrate in corrispondenza delle zone di disturbo tettonico, nonchè della tratta posta fra le progressive 2.500 – 3700 m, dove i sondaggi S3D ed 4D hanno rilevato la presenza di una falda in pressione.

Per lo scavo dei pozzi posti in corrispondenza delle opere di presa si prevede l'utilizzo del sistema Raise boring, in modo da garantire una buona produttività minimizzando al tempo stesso le interferenze ed i disagi con il tessuto cittadino. Lo scavo dovrà essere impostato direttamente in materiale lapideo; sarà quindi necessario predisporre opere di sostegno di tipo provvisionale (paratie tirantate) al fine di sostenere le coltri superficiali costituite da materiale detritico, o più spesso riporto antropico. Ove necessario, ed in funzione del grado di fratturazione della roccia, prima della posa del rivestimento in calcestruzzo lungo lo sviluppo degli stessi pozzi si dovrà provvedere ad un consolidamento delle pareti medianti chiodi, rete elettrosaldata e spritz beton.

APPENDICE 1

Fotografie

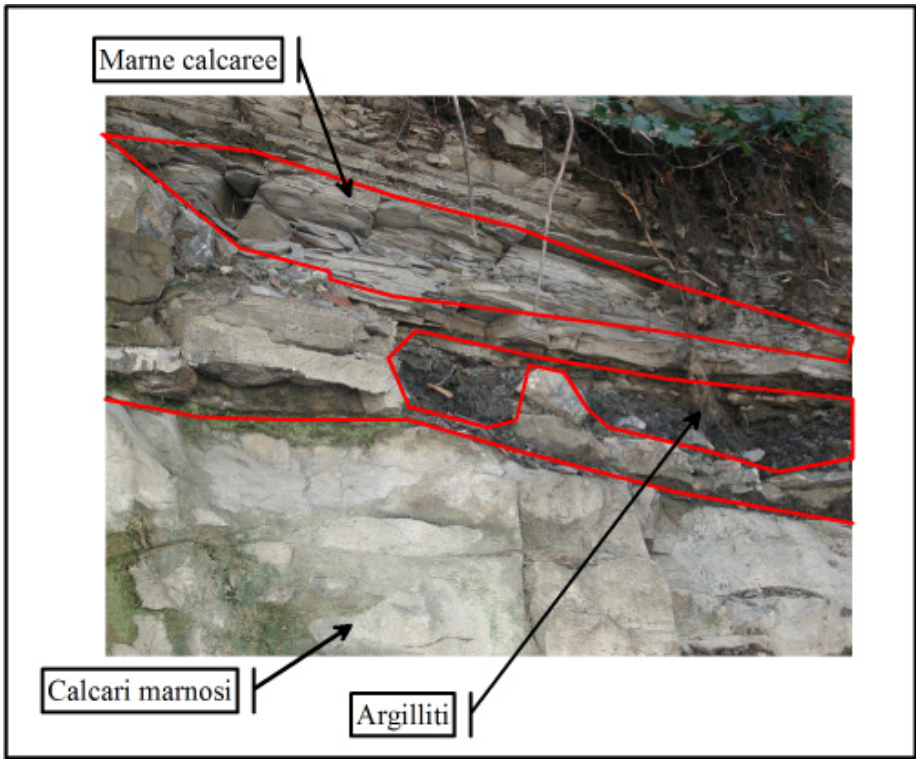


Foto 1. Flysch di Monte Antola. Alternanza eteropica di calcari marnosi, marne calcaree ed argilliti.



Foto 2. Sondaggio S2D. Flysch di Monte Antola. Materiale poco fratturato (RQD 80%) in corrispondenza della galleria.



Foto 3. Sondaggio S5D. Breccia di faglia e frammenti di calcare marnose.



Foto 4. S8D. Breccia di faglia al passaggio fra Argilliti di Montoggio e Flysch di Monte Antola.



Foto 5. S8D. Flysch di Monte Antola. Breccia di faglia. Particolare.



Foto 6. Sondaggio S8D. Sistemi di fratture sigillati e frattura aperta con inclusione argillitica.



Foto 7. Flysch di Monte Antola. Da una carota di sondaggio: fratture lisce, planari o moderatamente ondulate.