# COMUNE DI GENOVA



# Servizio di Progettazione di Fattibilità Tecnica ed Economica e definitiva (per appalto integrato) nonché del coordinamento della sicurezza in fase di progettazione delle “Opere di adeguamento idraulico del tratto tombinato di valle del rio Maltempo, affluente del torrente Polcevera”
# PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Arch. Roberto Valcalda

| PROGETTAZIONE: | MANDATARIA: | MANDANTE: |
|---|---|---|
| | TECHNITAL | Dott.ssa Claudia Pizzinato |

RESPONSABILE DELLE INTEGRAZIONI DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: Ing. Simone Venturini

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONALE DEL VENETO – Dr. Geol. EMANUELE FRESIA N° 501

TITOLO:

## GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA
## RELAZIONE GEOLOGICA

ORDINE INGEGNERI VERONA E PROVINCIA – Dott. Ing. SIMONE VENTURINI – A2515

| CODICE ESTESO ELABORATO: | SCALA: | DATA: |
|---|---|---|
| II151F-PD-GEO-R001_0 | - | 07/2022 |
| | NOME FILE: II151F-PD-GEO-R001_0.docx | |

ELABORAZIONE PROGETTUALE:

Ing. SIMONE VENTURINI
Ordine degli ingegneri
Della Provincia di Verona
N. A2515

REVISIONI

| REV. | DATA | MOTIVO | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 07.2022 | Emissione | E.FRESIA | G.MASSERA | S.VENTURINI |
| | | | | | |
| | | | | | |

# INDICE

Pag.

1. PREMESSA ..... 4
2. OGGETTO E SCOPO ..... 8
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO ..... 9
4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ..... 10
5. GEOLOGIA ..... 12
   - 5.1 Inquadramento strutturale ..... 12
   - 5.2 Successione stratigrafica ..... 14
6. GEOMORFOLOGIA ..... 23
7. IDROGEOLOGIA ..... 28
8. DOCUMENTAZIONE DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E VINCOLI ..... 32
   - 8.1 Premessa ..... 32
   - 8.2 Piano di Bacino Stralcio per la Tutela del Rischio Idrogeologico ..... 32
   - 8.3 Piano Urbanistico Comunale di Genova ..... 41
9. SISMICITA' ..... 50
   - 9.1 Pericolosità sismica ..... 54
   - 9.2 Risposta sismica locale ..... 58
   - 9.3 Liquefazione ..... 61
   - 9.4 Sorgenti sismogenetiche e capaci ..... 61
10. INDAGINI GEOGNOSTICHE ..... 63
    - 10.1 Indagini pregresse ..... 63
      - 10.1.1 Progetto esecutivo del Viadotto Polcevera ..... 63
      - 10.1.2 Progetto definitivo del nodo autostradale di Genova ..... 64
      - 10.1.3 Geoportale Regionale ..... 66
      - 10.1.4 Piano di caratterizzazione e messa in sicurezza del sito di Via Piombelli ..... 68
    - 10.2 Indagini geognostiche di progetto ..... 72
      - 10.2.1 Rilievi geologici di campagna ..... 72
      - 10.2.2 Sondaggi a carotaggio continuo ..... 76
      - 10.2.3 Prove in sito e di laboratorio ..... 79
      - 10.2.4 Geofisica ..... 81
      - 10.2.5 Pozzetti esplorativi ..... 85
11. CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO. BIENIAWSKY E GSI ..... 88
12. INTERAZIONI OPERE TERRENI ..... 93
13. CONCLUSIONI ..... 99

# INDICE DELLE FIGURE

Pag.

Figura 1.1: Rio Maltempo – In blu a sud il bacino del Rio Maltempo; in verde a nord quello del Torrente Torbella. In rosso il tratto tombato ..... 4
Figura 1.2: Nuova galleria idraulica con il bacino del Torrente Torbella e la quota scolmata del Rio Maltempo (in verde) ..... 5
Figura 1.3: Opere principali. In rosso il tratto tombato del Rio Maltempo, in giallo la nuova galleria scolmatrice ..... 5
Figura 1.4 Scatolare con cui il Rio Maltempo supera lo sbarramento ..... 6
Figura 4.1 Corografia a grande scala con ubicazione della galleria idraulicadi derivazione del Rio Maltempo (Geoportale Regionale) ..... 11
Figura 5.1 Schema tettonico (Capponi e Crispini 2008) ..... 13
Figura 5.2 Stralcio carta geologica d'Italia Foglio 213-230 Genova con evidenza del tracciato di progetto. In rosso la galleria ed in blu il Torrente Torbella a valle della confluenza ..... 15
Figura 5.3 Legenda Foglio Genova della carta geologica d'Italia ..... 16
Figura 5.4 Successione stratigrafica della Formazione di Ronco (note illustrative carta geologica ISPRA) ..... 18
Figura 5.5 Successione stratigrafica della Formazione delle argilliti di Montanesi (note illustrative carta geologica ISPRA) ..... 19
Figura 6.1 Geoportale Regionale (stralcio) Frane lungo il Rio Maltempo a monte dell'opera di presa. In colore rosso frane per scivolamento o scorrimento. In viola frane superficiali tipo soil slip. Nel cerchio rosso l'opera di presa ..... 25
Figura 6.2 Posizione approssimativa della discarica non autorizzata lungo Via Piombelli a valle del viadotto autostradale. In rosso il tracciato della galleria idraulica ..... 26
Figura 7.1 Ubicazione pozzi alla confluenza fra Torbella e Polcevera ..... 30
Figura 8.1 PSAI. Carta della suscettività al dissesto. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 33
Figura 8.2 PSAI. Carta del rischio geologico. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 34
Figura 8.3 PSAI. Carta del rischio idraulico La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 35
Figura 8.4 PSAI carta delle fasce di inondabilità. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 36
Figura 8.5 PSAI. Carta idrogeologica e legenda. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 37
Figura 8.6 PSAI Carta geomorfologica e legenda. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 38
Figura 8.7 PSAI Carta della franosità reale e legenda. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 39
Figura 8.8 PSAI Carta degli elementi a rischio. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 40
Figura 8.9 PSAI carta dei vincoli. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 41
Figura 8.10 PUC. Carta geologica. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 42
Figura 8.11 PUC. Carta geomorfologica e legenda. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 43
Figura 8.12 PUC. Carta idrogeologica. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 45
Figura 8.13 PUC. Carta dei vincoli. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 46

Figura 8.14 PUC carta di zonizzazione e suscettività d'uso del territorio. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata ..... 48
Figura 8.15 PUC Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica ..... 49
Figura 9.1. Storia sismica di Genova (banca dati INGV) ..... 51
Figura 9.2. Regione Liguria. Massima intensità sismica (fonte: GNDT – ING). ..... 52
Figura 9.3. 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). ..... 53
Figura 9.4 . Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato da NTC 2008 ..... 55
Figura 9.5. Identificazione del sito all'interno della maglia di appartenenza nel reticolo di riferimento (programma: Parametri sismici - Geostru) ..... 56
Figura 9.6 Parametri spettrali di riferimento ..... 57
Figura 9.7 Spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali ..... 57
Figura 9.8 Zone sismiche ZS9 ..... 58
Figura 9.9 Categorie di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018 ..... 60
Figura 9.10 Categorie topografiche ..... 60
Figura 9.11 Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ..... 61
Figura 9.12 Schermata del database DISS centrata su Genova ..... 62
Figura 10.1 Canale di gronda. Sondaggio M17 nella Argilliti di Montanesi ..... 64
Figura 10.2 Stralcio Carta indagini geognostiche della Liguria (fonte: geoportale regionale) con ubicazione dei sondaggi disponibili. La linea tratteggiata rossa rappresenta il tracciato della galleria idraulica ..... 67
Figura 10.3 Ubicazione delle traverse sismiche (Piano di caratterizzazione Via Piombelli) ..... 70
Figura 10.4 Ubicazione sondaggi e ricostruzione del tetto del substrato (Piano di caratterizzazione Via Piombelli) ..... 71
Figura 10.5 A sinistra argilliti con struttura fissile e noduli di quarzo affioranti in asse galleria. A destra argilliti lungo la sponda destra del Rio Maltempo in zona opera di presa ..... 73
Figura 10.6 Alveo del Torrente Torbella a valle dello sbocco della galleria idraulica ..... 74
Figura 10.7 Dissesto con intervento di messa in sicurezza in Via Fasciotti a nord dello sbocco della galleria idraulica ..... 75
Figura 10.8 Dissesto in sinistra Rio Maltempo a valle dell'opera di presa ..... 76
Figura 10.9 Sondaggio S03. Argilliti a quota galleria ..... 78
Figura 10.10 Sondaggio S05. Substrato argillitico fra 10-15 m da p.c. ..... 79
Figura 10.11 Traversa sismica R1 ..... 82
Figura 10.12 Traversa sismica R2 ..... 83
Figura 10.13 ..... 83
Figura 10.14 Confronto Masw-Remi n° 1 ..... 84
Figura 10.15 Ubicazione pozzetti e numerazione dei ponti elencati in questo documento ..... 86
Figura 11.1 Classificazione dell'ammasso secondo Bieniawsky ..... 90

# 1. PREMESSA

Il Comune di Genova ha affidato a Technital il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica ed il Progetto Definitivo per appalto integrato delle opere di sistemazione idraulica e adeguamento della capacità idraulica del Rio Maltempo, affluente in sinistra idrografica del Torrente Polcevera, del quale è nota l'insufficienza della sezione a convogliare le portate aventi tempo di ritorno di 200 anni. Tale insufficienza idraulica è imputabile, fra le altre cose, all'estesa urbanizzazione che ha portato alla copertura del tratto terminale del corso d'acqua. Copertura che peraltro allo stato attuale risulta degradata, caratterizzata da dimensioni non costanti, e ristretta in più punti per l'inserimento di numerosi sottoservizi.

La soluzione proposta al fine di risolvere le criticità idrauliche esistenti prevede la realizzazione di una galleria scolmatrice che raccoglie le acque provenienti dalla parte più a monte e non antropizzata del bacino del Rio Maltempo per collettarle nel tratto terminale del Torrente Torbella, che con decorso circa parallelo rimane più a nord.

Per una prima identificazione dei luoghi in figura seguente si riporta uno stralcio di corografia con i limiti del bacino idrografico del Torrente Torbella, che scorre interamente a cielo aperto, e del Rio Maltempo il cui alveo è a cielo aperto a monte, e tombato nel tratto finale di attraversamento dell'urbanizzato.



*Figura 1.1: Rio Maltempo – In blu a sud il bacino del Rio Maltempo; in verde a nord quello del Torrente Torbella. In rosso il tratto tombato*

Ad un livello di maggiore dettaglio il progetto prevede: la realizzazione di un'opera di presa sul Rio Maltempo a monte del viadotto autostradale ①, un pozzo di dissipazione che collega l'opera di presa con la galleria scolmatrice ②, una galleria scolmatrice del diametro di circa 4 m e lunghezza circa 538 m che sottopassa lo spartiacque fra Rio Maltempo e Torrente Torbella ③ dotata di un pozzo di aerazione intermedio, l'opera di confluenza nel Torrente Torbella ④, la sistemazione idraulica del Torrente Torbella fra l'opera di confluenza e il Torrente Polcevera con il rifacimento del ponte stradale di Via Rossini ed una

passerella pedonale ⑤.

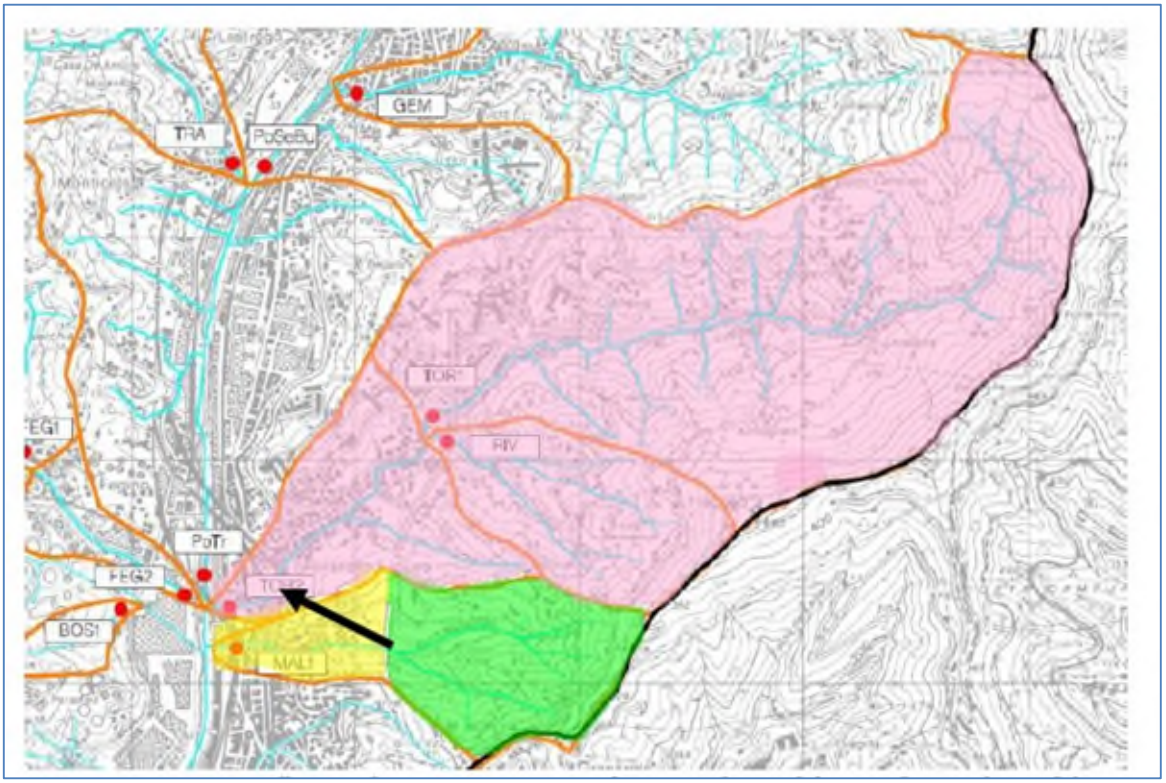



*Figura 1.2: Nuova galleria idraulica con il bacino del Torrente Torbella e la quota scolmata del Rio Maltempo (in verde)*

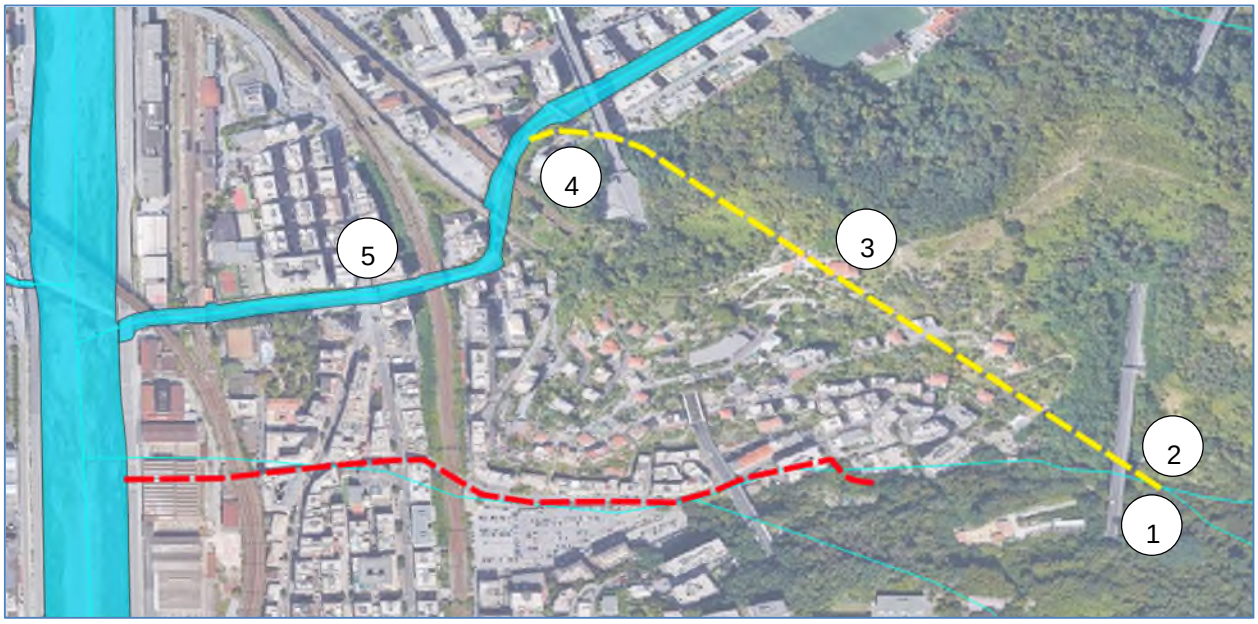



*Figura 1.3: Opere principali. In rosso il tratto tombato del Rio Maltempo, in giallo la nuova galleria scolmatrice*

All'altezza del ponte dell'autostrada il Rio Maltempo è attraversato e sbarrato da una colmata realizzata con materiale di riporto sopra alla quale è stata posta la viabilità locale; uno scatolare in calcestruzzo

realizzato sul fondo alveo, parzialmente occultato dalla fitta vegetazione e dalle ripide pendenze delle scarpate, permette all'acqua di superare tale sbarramento.



*Figura 1.4 Scatolare con cui il Rio Maltempo supera lo sbarramento*

Dato che la presenza della colmata costituisce un ostacolo al naturale deflusso delle acque si è posizionata l'opera di presa della galleria scolmatrice a monte di essa.

Pertanto ed in sintesi il progetto comprende le seguenti opere/parti di opere:

- pulizia dell'alveo del rio Maltempo a monte dell'opera di presa, in modo da ridurre i rischi di intasamento per effetto della vegetazione (alberi ed arbusti);
- vasca di calma e di sghiaiamento con manufatto di imbocco e di ripartizione delle portate. Il materiale flottante di grosse dimensioni verrà intercettato da un pettine posto a monte della vasca. Segue il manufatto di ripartizione che convoglia le portate eccedenti la capacità della tombinatura verso la galleria scolmatrice;

- pozzo di caduta che collega l'opera di presa con la galleria idraulica;
- galleria idraulica accessibile da valle lunga 538 m, avente pendenza inferiore al 5 per mille, dotata di canale a pelo libero in corrente lenta di adeguata sezione ed altezza per consentire una manutenzione da valle, ed un aeroforo intermedio;
- manufatto di sbocco dotato di panconi per manutenzione;
- opere di protezione dell'alveo del Torrente Torbella alla confluenza, e di protezione di pile e spalle dei ponti ferroviari esistenti;
- opere di adeguamento, miglioramento spondale e riprofilatura dell'alveo del Torbella;
- rifacimento del ponte stradale su Via Rossini, la cui ridotta sezione e la presenza di una pila in alveo ostacolando il deflusso delle piene, e rifacimento di una passerella pedonale;
- lungo il tratto tombato del Rio Maltempo, a valle della galleria scolmatrice, saranno rimosse le interferenze dei sottoservizi in modo da garantire il ripristino completo dell'attuale sezione idraulica. Inoltre si prevede la pulizia e la manutenzione straordinaria della superficie interna nelle zone particolarmente degradate o soggette ad erosione.

# 2. OGGETTO E SCOPO

Il presente documento, unitamente agli elaborati grafici che lo accompagnano, costituisce la relazione geologica del Progetto Definitivo delle opere di adeguamento idraulico del Rio Maltempo a Genova.

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

Scopo del lavoro è l'identificazione dei terreni presenti nell'area d'interesse progettuale, la definizione del modello geologico e idrogeologico del sottosuolo, la descrizione degli aspetti relativi alla sismicità, litologia, struttura, idrogeologia, geomorfologia, la valutazione della prevista interazione opere terreni e del livello di pericolosità geologica in relazione agli interventi previsti. Vengono inoltre illustrati gli esiti delle indagini geognostiche pregresse reperite e di quelle specificamente eseguite nei primi mesi del 2022.

Il quadro informativo disponibile illustrato nel testo, ed integrato dagli elaborati grafici allegati, permette di rappresentare tutta la gamma di informazioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche finalizzate alla corretta progettazione delle opere.

# 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto Ministero dei Lavori Pubblici n. 47 (11 marzo 1988) "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998).
- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione". (Pres. Cons. Superiore — Servizio Tecnico Centrale).
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);
- Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14/01/2008 pubblicate sulla G.U. n° 29 del 04.02.2008.
- Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 14/01/2008. Circolare 02/02/2009 n° 617 C.S.LL.PP.
- Piano di Tutela delle Acque (PTU) della Regione Liguria approvato con Delibera 11 del 29/03/2016.
- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17/01/2018 pubblicate sulla G.U. del 20.02.2018.
- Circolare 21/01/2019 n 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/01/2018.

# 4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in studio ricade nella porzione occidentale della città di Genova in corrispondenza del quartiere di Rivarolo, in sinistra idrografica del torrente Polcevera.

La morfologia generale è collinare, tipica del genovese. Nell'ambito del sedime in studio la collina è interrotta al piede dall'ampia spinata alluvionale del torrente Polcevera, larga in questo tratto fino a 900 m, avente orientazione circa nord sud ed il cui corso è regimato e delimitato da argini artificiali.

I rilievi collinari sono solcati dagli affluenti dello stesso torrente Polcevera, che nell'ambito dell'area di intervento sono il Rio Maltempo e il Torrente Torbella, entrambi aventi direzione circa E-W o NE-SW e posti in sinistra idrografica.

Il Rio Maltempo, come molti altri corsi d'acqua della città, è tombato nella parte più urbanizzata, circa dalla confluenza nel Polcevera per circa 600 m verso monte. Il Torrente Torbella scorre invece a cielo aperto con alveo spesso delimitato da muri e/o argini artificiali.

Con riferimento alla Carta Topografica d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare (IGM) l'area in studio ricade nella tavoletta 82-II-NE in scala 1:25.000 "Sestri Ponente". Nella Carta Tecnica Regionale (CTR) della Liguria in scala 1:10.000 ricade nel foglio 213150.

In figura seguente si riporta una corografia a grande scala tratta dal Geoportale della Regione Liguria con la posizione della galleria scolmatrice rispetto al reticolo idrografico principale.

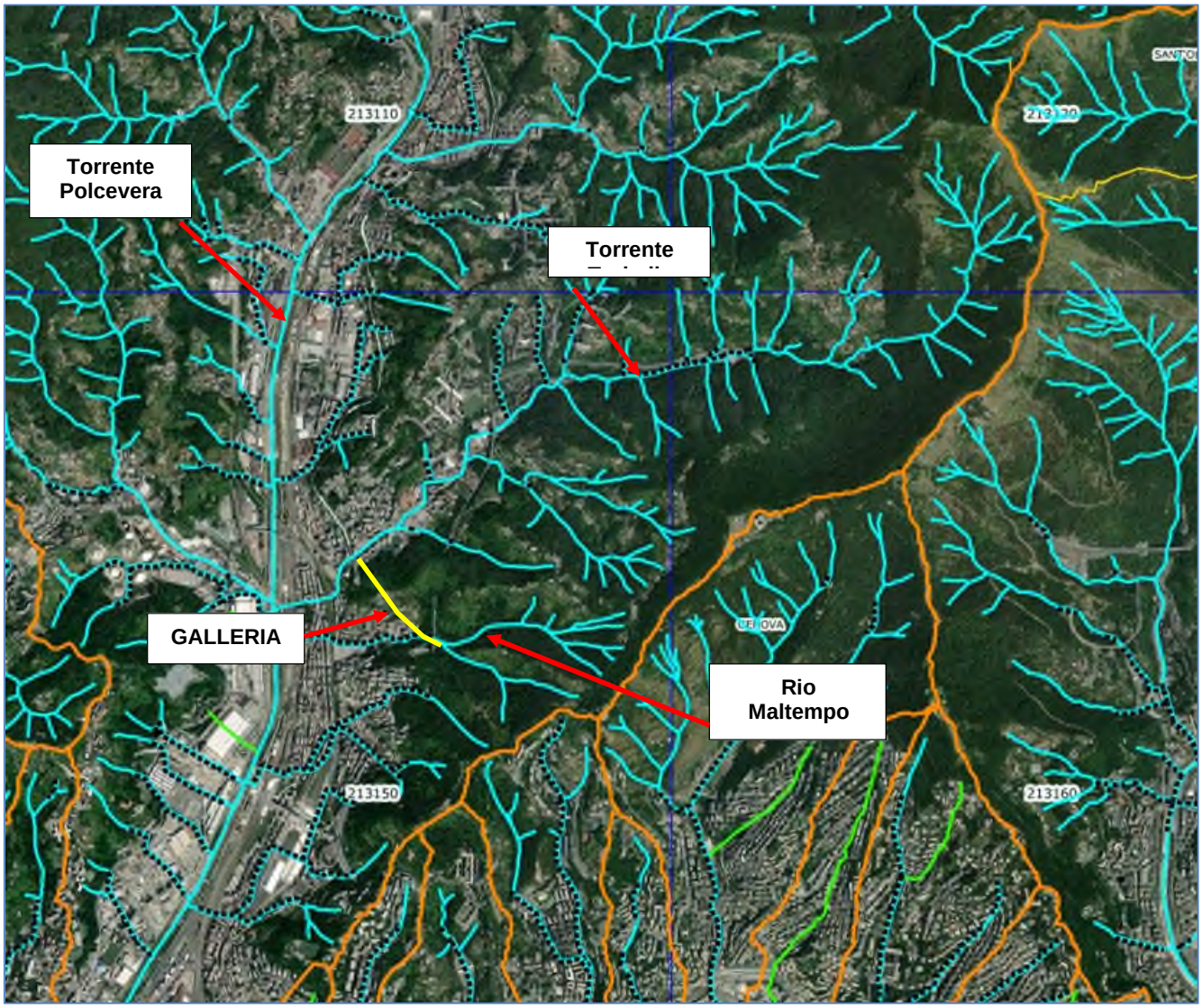



*Figura 4.1 Corografia a grande scala con ubicazione della galleria idraulicadi derivazione del Rio Maltempo (Geoportale Regionale)*

# 5. GEOLOGIA

Nel presente capitolo è descritto l'assetto geologico e strutturale a grande scala e successivamente, con un livello di dettaglio crescente, a scala dell'opera.

La carta geologica che accompagna il progetto, ed a cui si rimanda per maggiori dettagli, è stata redatta sulla base di documentazione bibliografica, di rilievi e sopralluoghi sul terreno e dell'esito delle indagini geognostiche disponibili.

## 5.1 Inquadramento strutturale

L'area in studio ricade in un settore di grande complessità strutturale avente caratteristiche del tutto peculiari in quanto considerato di transizione tra la catena alpina e quella appenninica. Attualmente nella comunità scientifica esiste un certo consenso sul fatto che non abbia molto senso cercare dei limiti precisi tra catene che hanno giocato ruoli complementari e vicarianti in un'evoluzione orogenica continua; rimane tuttavia il fatto che quest'area comprende unità delle Alpi Liguri che sono state dapprima coinvolte nell'evoluzione alpina a livelli più o meno profondi, e successivamente interessate da una tettonica attribuibile all'evoluzione appenninica.

Le Alpi Liguri costituiscono la terminazione meridionale delle Alpi occidentali e sono rappresentate da un impilamento complesso di unità tettoniche le cui caratteristiche litostratigrafiche e strutturali riflettono l'evoluzione geodinamica di questo settore di catena. Tale evoluzione inizia con le fasi di rifting e di spreading triassico-giurassiche che determinano l'individuazione del bacino oceanico Ligure-Piemontese tra i margini continentali assottigliati delle placche Europea ed Apula. A partire dal Cretaceo l'inversione dei movimenti relativi determinano la convergenza dei margini e la subduzione di litosfera oceanica fino alla chiusura del bacino Ligure-Piemontese e, successivamente, la collisione continentale e l'esumazione delle unità subdotte.

Le Alpi Liguri vedono quindi la sovrapposizione di unità di crosta oceanica e di mantello, rappresentate dalle Unità Figogna, Palmaro-Caffarella, Cravasco-Voltaggio e Voltri (Figura 5.1), riequilibrate a differenti profondità, e quindi a diverse condizioni di pressione e temperatura, per gradienti termici da bassi a molto bassi. La similitudine nell'evoluzione tettono-metamorfica indica che alle unità di crosta oceanica sono state precocemente associate unità le cui caratteristiche litologiche suggeriscono derivazione da un margine continentale, rappresentate dalle Unità Gazzo-Isoverde e Angassino-Terma. Queste unità sono state esumate e accavallate le une sulle altre e sull'avampaese europeo che, nell'area genovese, è rappresentato dalla poco estesa unità di Arenzano.

Entro il basamento pre Oligocenico possono essere distinte quindi:

- Unità di margine continentale;
- Unità di crosta oceanica e di mantello;
- Unità costituite da Flysch.

Le unità costituite da flysch (Unità Antola, Unità Ronco, Unità Montanesi e Unità Mignanego) sono non metamorfiche o di basso grado metamorfico, il che indica che durante l'orogenesi alpina sono rimaste sempre a livelli strutturali piuttosto superficiali. Queste unità sono a loro volta accavallate sulle unità di

grado metamorfico più elevato. Nell'ambito di questa distinzione possono essere riconosciute più unità tettonometamorfiche, intendendo con tale termine un volume roccioso che si differenzia in maniera significativa da quelli adiacenti per caratteristiche metamorfiche, per posizione strutturale, per assetto strutturale interno. Per le unità di grado metamorfico basso o molto basso la bibliografia preferisce utilizzare il termine di unità tettonica.

In figura 5.1 si riporta lo schema tettonico con evidenza delle principali unità.

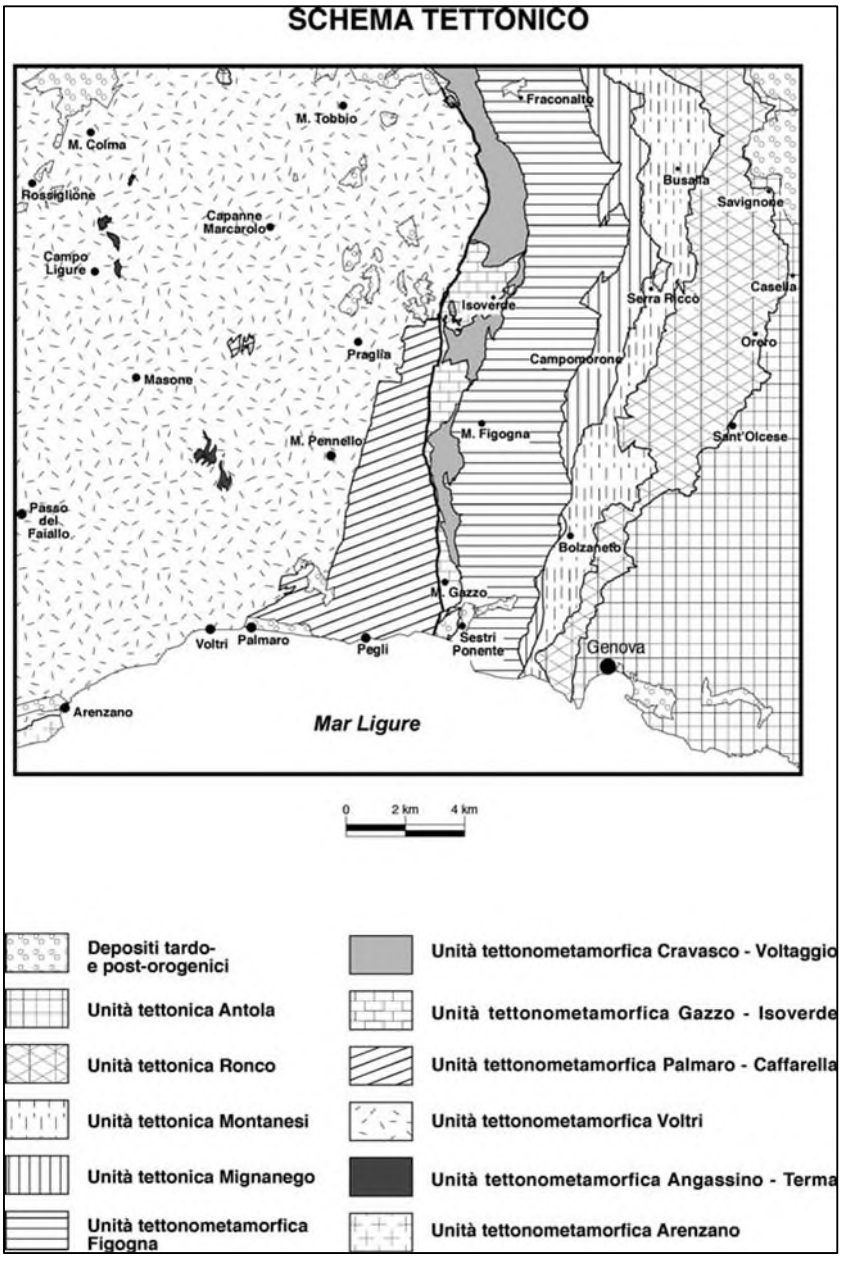



*Figura 5.1 Schema tettonico (Capponi e Crispini 2008)*

Questo complesso impilamento di unità è ricoperto in discordanza dai depositi del Bacino Terziario Piemontese, una successione sedimentaria tardo eocenica-oligocenica che affiora principalmente a nord dell'area di studio.

## 5.2 Successione stratigrafica

Gli studi effettuati hanno permesso di distinguere e cartografare differenti unità geologiche i cui limiti sono dedotti dalla nutrita ed ottima documentazione bibliografica, e verificati da rilievi geologici di campagna.

Per quanto riguarda le unità del substrato nel presente documento e nella carta geologica allegata al progetto è stata mantenuta la suddivisione in unità e formazioni riportata nel foglio 213-230 "Genova" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 edita dall'ISPRA (Capponi & Crispini, 2008) di cui si riporta uno stralcio in figura 5.2, nonché nel Foglio 27 della Carta Geologica del PUC del Comune di Genova in scala 1:10.000.

Per quanto concerne le caratteristiche geometriche e strutturali nel profilo geologico allegato al progetto è ricostruito l'andamento della unità litologiche interessate dalle opere in progetto. Tale ricostruzione si basa sui dati geometrici ricavati dalla documentazione bibliografica, dal rilevamento di campo e dalle indagini geognostiche disponibili. E' qui opportuno sottolineare che le suddette ricostruzioni hanno una valenza generale e orientativa in quanto localmente l'assetto dei terreni risulta notevolmente complicato dalla presenza di strutture tettoniche, prevalentemente duttili ma anche fragili, osservabili pure in affioramento, che restituiscono un quadro di grande complessità a livello sia strutturale che giaciturale, con possibili variabilità in spazi brevi.

La stratigrafia viene descritta secondo l'ordine di sovrapposizione tettonica, dall'alto verso il basso, con un focus particolare per i terreni che direttamente interessano le opere in studio.

Le unità di substrato affioranti in sinistra idrografica del torrente Polcevera, riscontrabili entro e nell'intorno del sedime di progetto, appartengono alla porzione sommitale della sequenza stratigrafica e sono rappresentate da Flysch in facies torbiditica riferibili al Dominio Ligure con grado metamorfico basso o bassissimo.

Secondo bibliografia vengono distinte:

- Unità tettonica di Antola;
- Unità tettonica di Ronco;
- Unità tettonica di Montanesi;
- Unità tettonica di Mignanego.

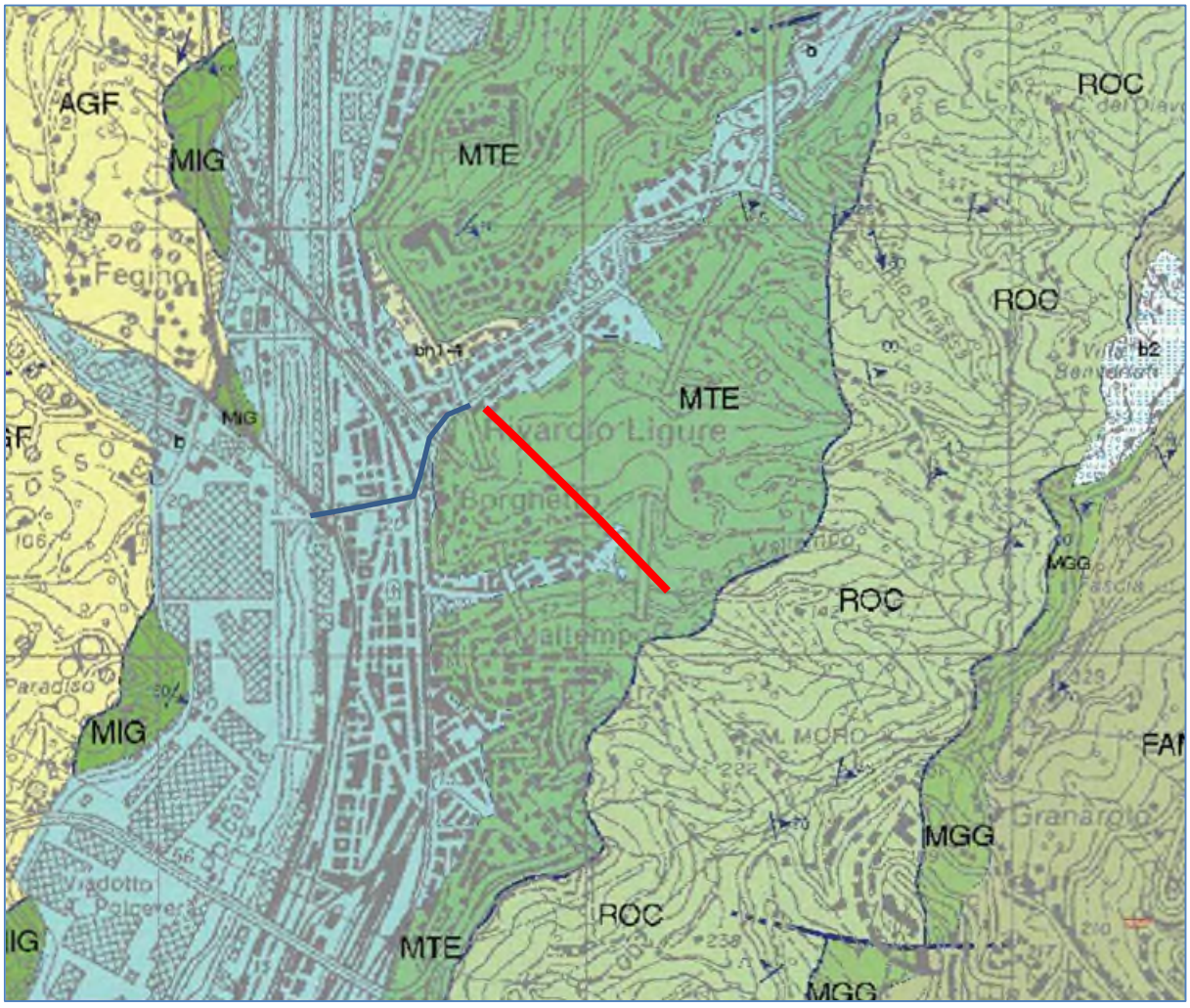
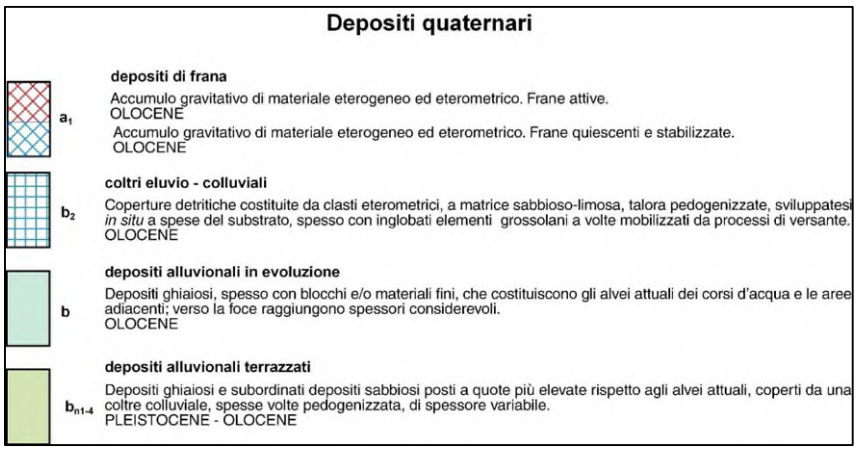



*Figura 5.2 Stralcio carta geologica d'Italia Foglio 213-230 Genova con evidenza del tracciato di progetto. In rosso la galleria ed in blu il Torrente Torbella a valle della confluenza*



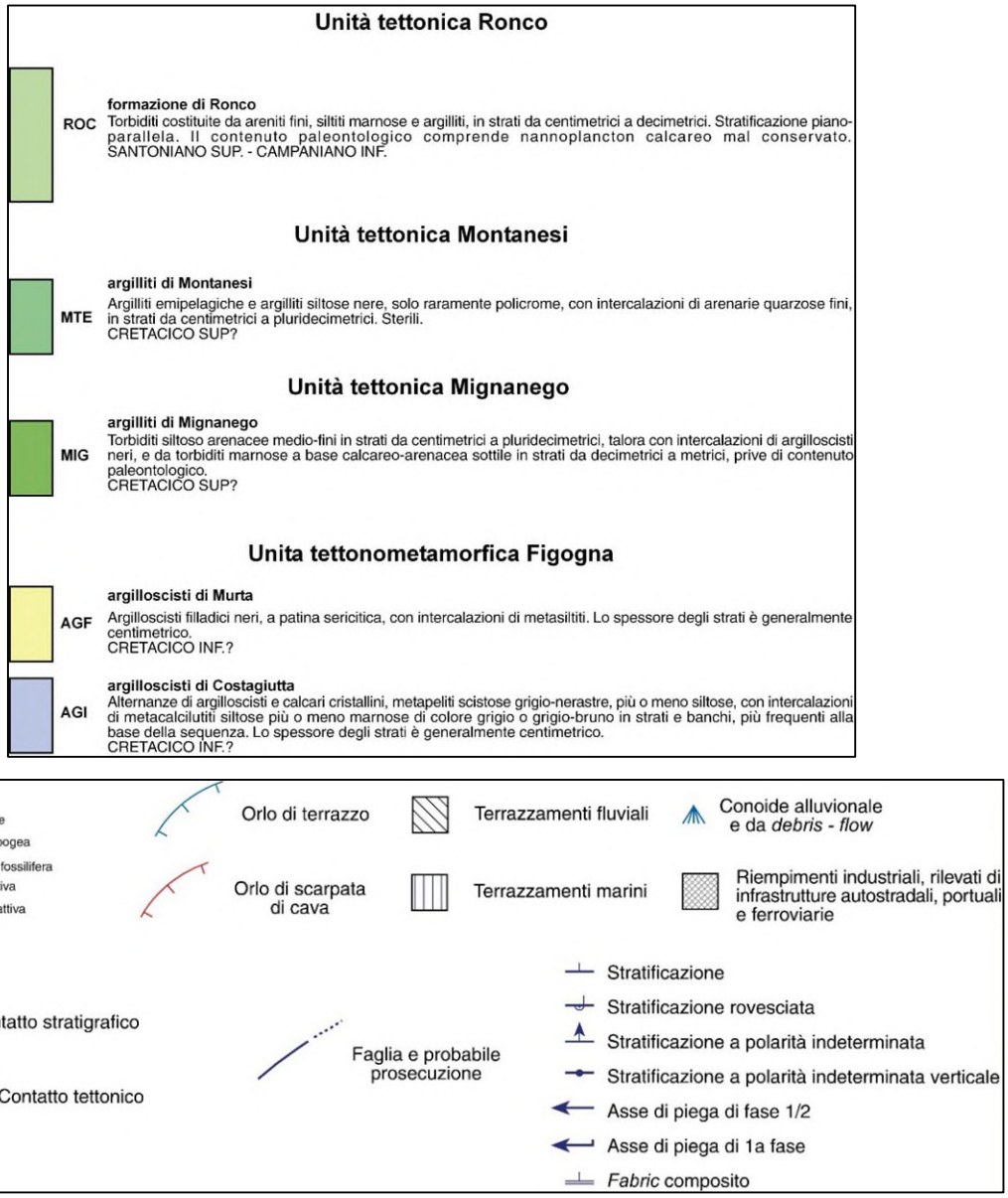



*Figura 5.3 Legenda Foglio Genova della carta geologica d'Italia*

Il Flysch dell'Antola affiora estesamente nell'area cittadina ma non nel sedime in studio o sue prossimità, per cui non viene fornita la relativa descrizione.

Le sottostanti Unità di crosta oceanica e di mantello sono distinte in ordine di sovrapposizione geometrica dall'alto verso il basso:

- Unità tettonometamorfica Figogna;
- Unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio;
- Unità tettonometamorfica Palmaro-Caffarella
- Unità tettonometamorfica Voltri

Litologicamente sono successioni ofiolitifere comprendenti porzioni del basamento gabbro- peridotitico e le relative coperture vulcano-sedimentarie. Le diverse unità risultano polideformate e polimetamorfiche, sotto

differenti condizioni di pressione e temperatura, per gradienti termici da bassi a molto bassi . Queste successioni ofiolitifere sono classicamente riferite al dominio oceanico Ligure-Piemontese (Vanossi et alii, 1984), che si sviluppa a partire dal Giurassico tra i blocchi continentali europeo e insubrico ed è successivamente coinvolto negli eventi subduttivi alpini.

Fra quelle elencate la sola Unità tettonometamorfica Figogna è presente in qualche modo in vicinanza dell'areale in studio e pertanto, nel seguito, se ne riporta una seppur sintetica descrizione.

Di seguito si descrivono le principali unità stratigrafiche che interessano le opere, ed un relativo intorno significativo, così come risultano dalle note illustrative del foglio Genova della carta geologica e dai rilievi di campo.

**L'Unità tettonica Ronco** affiora nella dorsale che da Sampierdarena sale verso Fregoso ed è geometricamente compresa fra l'Unità Montanesi al letto e l'Unità Antola al tetto. Comprende la sola formazione di Ronco ed è attribuibile al Dominio Ligure Interno.

E' delimitata da contatti tettonici (thrust) al tetto ed a letto ed ha geometria complessivamente tabulare con immersione verso Est; secondo alcuni modelli (Ellero, 2000) costituirebbe il nucleo di una grande piega isoclinale laminata. Le giaciture, mediamente orientate verso Est, paiono maggiormente disturbate in una fascia centrale tra la cresta e il fondovalle a partire da Fregoso verso Sud. Si evidenziano pieghe di ampiezza compresa tra decine e centinaia di metri, con assi orientati grossomodo NE-SW e orizzonti fortemente disturbati da pieghe metriche e decimetriche. Oltre alle pieghe ad ampio raggio si osservano, in vicinanza di faglie e del thrust dell'Unità Antola, pieghe strizzate, generalmente con nucleo siltitico od argillitico.

La **formazione di Ronco** (ROC. Santoniano Sup. - Campaniano Inf) è caratterizzata da un metamorfismo di anchizona e consiste in torbiditi composte da alternanze di siltiti marnose, areniti fini ed argilliti, in strati da centimetrici a decimetrici. Lo spessore, difficilmente quantificabile a causa delle pieghe sovrapposte; è ipotizzato da Marini (1998) tra 250 e 350 m, mentre Ellero (2000) riporta uno spessore apparente di circa 2.000 m. La stratificazione è piano-parallela con sequenze incomplete. I meccanismi deposizionali più probabili sono torbiditi a bassa densità in cui prevalgono processi di trazione e decantazione. L'ambiente di formazione è attribuibile a una piana di bacino sovralimentata e/o a una frangia di conoide (Mutti & Ricci Lucchi, 1975). L'unità non presenta tracce significative di metamorfismo ed il contenuto paleontologico è limitato a nannoplancton calcareo (mal conservato), che fornisce indizi di età compresa tra il Santoniano superiore e il Campaniano inferiore. A causa delle estese coperture la Formazione di Ronco affiora diffusamente ma per piccole estensioni. I disturbi sono maggiori nella porzione medio-bassa dell'unità, a contatto con la Formazione di Montanesi, dove il rapporto tra gli stati arenitici e le intercalazioni pelitiche può oscillare tra 1:1 ed 1:2. Nella parte medio-alta, caratterizzata da strati decisamente più massicci con interstrati pelitici sottili, i disturbi sono meno evidenti e la clastesi è concentrata in fasce più ristrette.

Non sono osservabili sorgenti significative o particolari evidenze relative alla presenza di acqua nell'ammasso. Questa unità non interessa direttamente i lavori ma in essa ricade la porzione più elevata del bacino idrografico del torrente Maltempo, a monte del viadotto autostradale e dell'opera di presa.

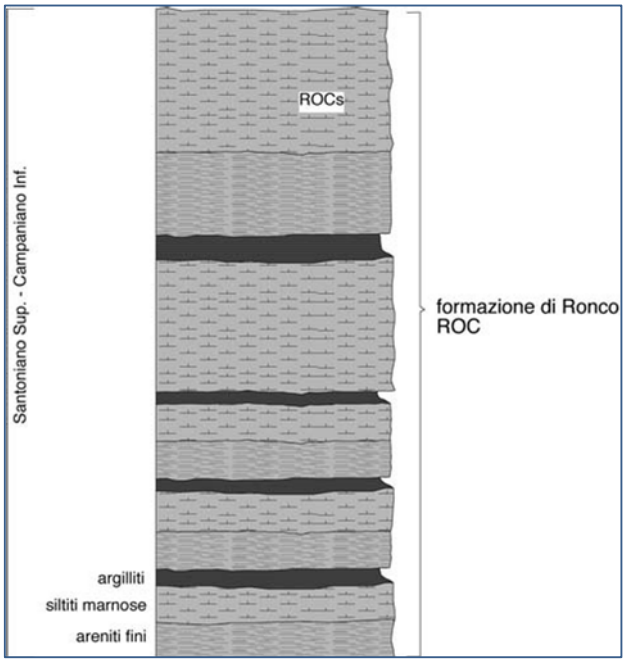



*Figura 5.4 Successione stratigrafica della Formazione di Ronco (note illustrative carta geologica ISPRA)*

**L'Unità tettonica Montanesi** affiora estesamente lungo il versante in sinistra idraulica del torrente Polcevera dal fondovalle fino al contato tettonico con l'Unità tettonica Ronco. Il limite superiore non è mai direttamente osservabile ma si assiste ad un progressivo incremento del grado di disturbo tettonico (scompaginazione degli strati e clastesi). Il limite inferiore con l'Unità tettonica Mignanego, anch'esso tettonico, non è visibile poiché coperto dalle alluvioni di fondovalle del Polcevera.

Comprende la sola **formazione delle Argilliti di Montanesi** (MTE. Cenomaniano-Turoniano – Cretaceo inf) ed è attribuibile al Dominio Ligure Interno Le Argilliti di Montanesi consistono in torbiditi a metamorfismo di anchizona costituite da argilliti emipelagiche e argilliti siltose nere, solo raramente policrome, in strati da centimetrici a pluri-decimetrici, con intercalazioni di arenarie siltose fini laminate, grigie, di spessore da centimetrico a pluri-centimetrico. Il rapporto arenaria/pelite è mediamente pari a 1:10. Sono presenti numerose vene di quarzo di spessore centimetrico. Le superfici di laminazione sono lisce, con ossidazione superficiale e sviluppo di patine limoso-argillose. La stratificazione raramente appare poco disturbata, e dove questo si verifica le giaciture sono vergenti mediamente verso Est. Localmente si osserva una pseudo-stratificazione indotta da pieghe isoclinali strizzate a piccolo raggio con interruzione della continuità degli strati arenacei, sempre con immersione verso i quadranti orientali e vergenza mediamente verso Ovest; tali strutture potrebbero essere indotte da fenomeni di trascinamento legati a piani di thrust sub-paralleli alla stratificazione. La foliazione suddivide l'ammasso in lithons di aspetto scaglioso interessati da fenomeni di pedogenesi fino a 5-6 m di profondità.

L'ambiente di deposizione suggerito dall'associazione litologica è quello di una piana emipelagica. A causa di un diffuso slaty cleavage le rocce presentano una marcata fissilità. Come per altre formazioni polideformate lo spessore reale non è quantificabile oggettivamente: Ellero (2000) stima uno spessore apparente di circa 1.800 m.

Nell'ambito della successione sono presenti intercalazioni di pebbly mudstone (MTEp), con clasti angolosi di dimensioni da millimetriche a pluri-decimetriche. Questi depositi sono interpretabili come depositi clastici

grossolani associati a un ambiente di scarpata e legati a processi deposizionali di cohesive debris flow (Ellero, 2000).

Non è presente alcun contenuto paleontologico significativo: un'età Cenomaniana-Turoniana è ipotizzata per analogia con le unità omologhe della Val Lavagna (Marini, 1998).

Dai rilievi di campo condotti lungo lo sviluppo della galleria idraulica e in sinistra Polcevera la formazione risulta costituita per la quasi totalità da argilliti nere interessate da condizioni di metamorfismo di basso grado, solo a luoghi leggermente siltose, con frequenti patine ferromanganesifere. La caratteristica più appariscente è data da una fissilità spinta, dovuta ad una diffusa scistosità di tipo lastroide, che di fatto riduce la roccia in lastrine lucenti e tenaci. In seno alla formazione sono individuabili tre litozone distinte per il diverso tipo di intercalazioni che si sovrappongono stratigraficamente fra loro con passaggi sfumati:

- prima litozona: argilliti con intercalazioni torbiditiche di spessore da sottile a medio con calcari, marne e calcari arenacei.
- seconda e più diffusa litozona: argilliti con intercalazioni torbiditiche da sottili a medie formate da uno strato arenaceo e un intervallo siltoso;
- terza litozona diffusa verso il tetto costituita da argilliti esclusive o argilliti e siltiti. Contiene argilliti varicolori grigio verdi o rosso vinaccia e grugni o lenti di brecciole

Sulla base della documentazione bibliografica, dei rilievi in sito e delle indagini disponibili si ritiene che la galleria di derivazione idraulica, unitamente all'opera di presa, si svilupperà nelle argilliti di Montanesi appartenenti alla seconda litozona.

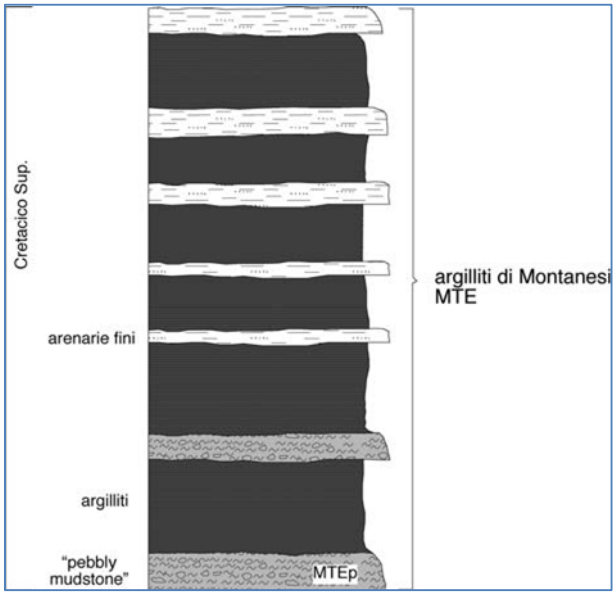



*Figura 5.5 Successione stratigrafica della Formazione delle argilliti di Montanesi (note illustrative carta geologica ISPRA)*

**L'Unità tettonica Mignanego** affiora in lembi discontinui in destra idrografica del torrente Polcevera a buona distanza quindi rispetto ai lavori. Il limite superiore con l'Unità di Montanesi è eroso e in buona parte coperto dalle alluvioni di fondovalle, mentre il limite inferiore con l'Unità tettonometamorfica Figogna è localmente visibile e si presenta come un contatto tettonico distribuito su più superfici di frizione entro le Argilliti di Mignanego stesse.

Comprende la sola formazione delle Argilliti di Mignanego ed è attribuibile al Dominio Ligure Interno.

Le **Argilliti di Mignanego** (MIG. Turoniano-Santoniano - Cretaceo inf) consistono di torbiditi a metamorfismo di anchizona costituite da siltiti arenacee medio-fini in strati da centimetrici a pluri-decimetrici, talora con intercalazioni di argilloscisti neri, e da torbiditi marnose a base calcareo-arenacea sottile in strati da decimetrici a metrici.

Gli orizzonti arenacei conservano tracce di figure di erosione alla base. Sono presenti pieghe a piccolo raggio con asse parallelo ai piani di clivaggio. Il rapporto arenarie/siltiti è pari a 1:2.

Nella parte a quota più elevata si osservano soprattutto pieghe asimmetriche a vergenza occidentale, a scala decimetrica, che fanno ipotizzare il proseguimento dello stile strutturale individuato in sinistra idrografica della Val Polcevera.

Le associazioni di facies suggeriscono un ambiente deposizionale di piana di bacino sovralimentata, prossimo alle porzioni più distali di un apparato di conoide (Marini, 1998). Lo spessore della formazione non dovrebbe superare i 300 m anche se le deformazioni polifasiche rendono del tutto ipotetica la stima degli spessori originali; Ellero (2000) ipotizza uno spessore apparente di circa 1.500 m. Non è presente alcun contenuto paleontologico significativo; un'età Turoniano-Santoniana è ipotizzata per analogia con le unità omologhe della Val Lavagna (Marini, 1998). Questa unità non è interessata in alcun modo dai lavori e la sua descrizione è fornita solo ai fini di un più completo inquadramento geologico.

**L'unità tettonica Figogna** affiora in destra Polcevera su una fascia allungata in direzione nord-sud che va dalla costa all'altezza di Cornigliano sino al monte Figogna. Tale andamento meridiano ricalca quello della cosiddetta zona Sestri-Voltaggio, in cui classicamente vengono riunite l'Unità del Monte Figogna, l'Unità Cravasco-Voltaggio e l'Unità Gazzo-Isoverde. E' costituita da un basamento metaofiolitico e relativa copertura metasedimentaria. La successione tipo dell'Unità Figogna presenta alcuni caratteri peculiari rispetto alle sequenze di crosta oceanica delle altre unità. Nei basalti, generalmente con giacitura a pillow, sono peculiari livelli di ialoclastiti e di brecce, più o meno rimaneggiate, e filoni di basalto e di dioriti. Le rocce gabbriche, generalmente ben rappresentate nelle altre unità, sono limitate ad un affioramento volumetricamente molto ridotto.

Le deformazioni sovrapposte definiscono un assetto strutturale complesso in cui l'elemento più evidente è la grande anticlinale sinforme, a nucleo di serpentiniti e basalti, che si estende da Erzelli fino al monte Figogna. Dal basso verso l'alto nell'unità in parola è possibile distinguere:

- Serpentiniti del Bric dei Corvi;
- Metagabbri di Ghersi;
- Metaoficalciti di Pietralavezzara;
- Metabasalti del Monte Figogna;
- Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia;
- Metacalcari di Erzelli;
- Argilloscisti di Costagiutta;
- Argilloscisti di Murta

Di quelle sopra elencate la sola formazione degli Argilloscisti di Murta (Cretaceo inferiore) è presente nell'area vasta di studio pertanto, nel seguito, si riporta la descrizione di tale formazione.

E' costituita da argilloscisti filladici neri, a patina sericitica, con intercalazioni di metasiltiti, calcari e metaareniti fini di colore grigio chiaro, nocciola in alterazione, con laminazioni piano-parallele localmente convolute. Lo spessore degli strati è generalmente da centimetrico a decimetrico; sono presenti orizzonti con strati fino a 30 centimetri di argilliti e metasiltiti. Sono frequenti gli essudati di quarzo e albite in lenti e vene. Il rapporto stratimetrico metaareniti/metapeliti è di 1:2. Le superfici di strato su roccia fresca sono normalmente lucide, con veli di sericite talcosa al tatto; presentano talvolta tracce di scivolamento ed aspetto vetrificato (fenomeni di dinamometamorfismo). Possono essere presenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro.

I limiti con le Unità sovrastanti e sottostanti sono di tipo tettonico. Al suo interno l'unità presenta giaciture vergenti ad Ess, presso il limite con le Argilliti di Mignanego. Spostandosi verso Ovest le giaciture seguono l'andamento delle pieghe alla macroscala, ma sono raramente significative poiché la stratificazione è disturbata da fitte sequenze di pieghe strizzate a piccolo raggio con assi orientati circa NNE-SSW

L'unità mostra intensi fenomeni di alterazione, infatti l'orizzonte pedogenizzato può superare i 4 m di spessore, senza contare l'accumulo di detrito di versante. I processi pedogenetici conferiscono alle superfici sericitiche un tipico aspetto di color nocciola grigiastro chiaro.

Come per le argilliti di Mignasego questa unità non è interessata in alcun modo dai lavori e la sua descrizione è fornita unicamente ai fini di un più completo inquadramento geologico.

Sulle unità del substrato poggiano depositi di copertura quaternari costituiti da:

- depositi d'alveo attuale (AA);
- depositi alluvionali e marini (AM);
- coltri eluvio-colluviali (CD);
- riporti, aree fortemente antropizzate e discariche (R).

**Depositi d'alveo attuali** del torrente Polcevera e del Torrente Torbella (Olocene -Attuale) sono composti da ciottoli anche grossolani, ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, con sabbie debolmente limose. Sono confinati lungo l'alveo dei corsi d'acqua. La composizione litologica, rispecchiando le litologie affioranti nel bacino, è data da prevalenti argilliti e argilloscisti. La reazione all'HCl è debole.

**Depositi alluvionali e marini antichi** (Olocene) sono ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbioso limosa e sabbioso argillosa da scarsa ad abbondante. Talora sono presenti blocchi e/o lenti di materiali fini sabbioso limosi o limoso sabbiosi. Al tetto può essere presente una copertura di materiale di riporto, generalmente grossolano, di spessore mediamente compreso tra i 2÷4 metri. Occupano la piana alluvionale del torrente Polcevera e perimetrano l'alveo del Torrente Torbella dalla confluenza nel Polcevera verso monte sino a nord di Fischi.

**Coltri eluvio colluviali** (Olocene) sono depositi continentali di versante e di alterazione del sottostante

substrato, di cui rispecchiano la composizione litologica. Sono composte da clasti argillitici di dimensioni eterometriche in abbondante matrice limoso sabbiosa o limoso argillosa; talvolta risultano pedogenizzate e possono inglobare elementi grossolani mobilizzati da processi di versante. Derivanti da fenomeni di erosione, alterazione e limitato (o assente) trasporto, ricoprono diffusamente il substrato argillitico per spessori che nella carta geomorfologica del PUC, e con buon riscontro dai rilievi di campagna, sono generalmente variabili fra 0,5 – 3 m.

**Riporti** (attuale) sono materiali eterogenei ed eterometrici, generalmente a composizione ghiaioso sabbiosa in matrice limosa e limoso- argillosa con presenza di frammenti di laterizi e resti vegetali, messi in opera per spianare le aree e favorire lo sviluppo del tessuto urbano. Per composizione litologica possono talvolta essere difficilmente distinguibili dalle coltri eluvio colluviali in posto.

# 6. GEOMORFOLOGIA

Come si evince dalla descrizione del modello geologico la Val Polcevera è dominata da successioni di argilloscisti ed argilliti appartenenti ad unità flyschoidi. Tali litologie danno luogo a morfologie morbide, sebbene caratterizzate localmente da versanti ripidi, con bacini modellati prevalentemente dall'azione delle acque di ruscellamento ed incanalate, e con un reticolo poco gerarchizzato.

Lo spessore delle coltri di alterazione in seno al flysch, che può raggiungere punte di oltre 10 metri ma normalmente mostra valori medi nell'ordine di 2-3 m, è facilmente inciso da rii minori e canali di ruscellamento con scarpate in erosione che possono raggiungere e superare i 6-7 metri di altezza. Per effetto dell'intensa copertura vegetale non si evidenziano, generalmente, testate in arretramento e significativi fenomeni di erosione accelerata.

Le zone di fondovalle e quelle subpianeggianti sono intensamente antropizzate e solcate dai rilevati ferroviari e stradali, nonché occupate dagli impianti industriali localizzati spesso sulla sponda occidentale del Polcevera. L'alveo di esondazione del Polcevera, così come quello del Torrente Torbella, è contenuto entro scarpate morfologiche spesso rettificate e rivestite/delimitate da argini/muri costruiti in periodi e con tipologie diverse.

Il Rio Maltempo scorre a cielo aperto a monte e per un breve tratto anche a valle dell'Autostrada. All'altezza del viadotto autostradale l'alveo è attraversato da un alto rilevato che ne occlude la sezione; la continuità idraulica è garantita da una struttura scatolare che allo stato attuale è poco visibile in quanto avvolta da una fitta vegetazione. Nel tempo la morfologia della porzione valliva del bacino, dalla confluenza nel Polcevera fin quasi all'autostrada, è stata trasformata in un comparto fortemente urbanizzato che ha portato a canalizzare l'alveo del rio, confinato non solo al di sotto (o a margine) di viabilità, ma anche di importanti fabbricati. L' urbanizzazione ha comportato una significativa riduzione di capacità idraulica rispetto all'alveo naturale, aggravata nel tempo dalla posa di numerose interferenze che hanno generato ulteriori criticità idrauliche e aggravato l'insufficienza della tombinatura. Dai rilievi eseguiti lungo il tratto tombato del Rio Maltempo sono altresì emersi significativi restringimenti della sezione idraulica, specie in corrispondenza degli attraversamenti delle vie Piombelli e Canepari. A monte dell'autostrada e della prevista opera di presa l'alveo, tornato ma cielo aperto, si biforca:

- il ramo *Maltempo 1*, più breve, è affiancato da una strada sterrata. Per la sua discreta accessibilità è localmente degradato in quanto utilizzato come discarica di inerti. Dopo qualche centinaio di metri la strada sterrata attraversa l'alveo sbarrandolo nuovamente, salvo la presenza di un modesto scatolare. In questo punto si riscontra un salto di alcuni metri fra valle e monte imputabile probabilmente all'accumulo di materiale di riporto a monte, dove si palesa anche un accumulo di sedimenti ghiaiosi / ciottolosi.
- Il ramo *Maltempo 2* è il più settentrionale ed esteso dei due. Verso monte si biforca a sua volta in due rami che costituiscono il Rio Lunghe ed il Rio Fascie, i quali si spingono sino quasi al piede di Via Al Forte di Begato.

Un importante ruolo nell'evoluzione morfologica del territorio è attribuibile alla importante attività tettonica

che ha interessato l'area, all'assetto strutturale dei litotipi affioranti e al differente grado di erodibilità dipendente dalla natura litologica dei terreni.

La Val Polcevera per effetto di una giacitura generale diretta verso i quadranti orientali mostra infatti pendenze medie più elevate in sponda sinistra (dove ricade l'intervento in progetto) piuttosto che in quella destra. Nelle aree di affioramento dei termini litologici a comportamento lapideo o pseudo-lapideo la morfogenesi selettiva favorisce lo sviluppo di forme aspre e marcate, caratterizzate da versanti acclivi, spesso interrotti da bruschi stacchi morfologici connessi ad importanti elementi tettonici o a superfici di strato dei livelli più competenti. Non mancano fenomeni di dissesto più o meno localizzati, spesso imputabili a fenomeni di scivolamento planare o rototraslazionale, o ancora di colata, che normalmente si impostano a carico delle coltri eluvio colluviali poggianti sul substrato argillitico; talvolta il dissesto può coinvolgere anche il cappellaccio di alterazione dell'unità flyschioide.

I principali elementi strutturali presenti nell'area, connessi alla tettonica che ha interessato tale porzione di catena a partire dal Cretaceo, sono particolarmente evidenti in tutto il settore di interesse e in modo particolare nelle aree di affioramento dei termini litologici maggiormente competenti.

I settori di piana alluvionale del torrente Polcevera, ed in misura minore del Torrente Torbella, si caratterizzano per la presenza di potenti depositi di copertura alluvionale attuali ed antichi dove la morfogenesi selettiva svolge un ruolo di secondaria importanza, in quanto subordinata ai processi deposizionali e di alterazione in situ dei litotipi affioranti.

Sul Polcevera sono da citare gli interventi antropici che negli ultimi 150 anni hanno portato alla realizzazione di un complesso sistema fluvio-costiero con strutture portuali ed opere di regimazione che hanno drasticamente ridotto la dinamica naturale, mentre diversi suoi affluenti sono stati progressivamente incanalati e coperti, diventando di fatto parte integrante del sistema fognario urbano. Nel tratto di foce, inoltre, le regimazioni dell'asta torrentizia del Polcevera hanno ridotto la sezione di deflusso da 450 m a meno di 100 m, aumentando il rischio dei fenomeni alluvionali e di esondazione, sempre più ricorrenti nell'area .

Lo studio dei fenomeni di dissesto presenti nel settore di intervento è stato condotto a partire da documentazione bibliografica integrata da rilievi di campo e studi foto-interpretativi di ortofoto e immagini satellitari. In particolare per l'analisi dei fenomeni di dissesto si sono consultate le cartografie tematiche del Progetto IFFI (APAT 2007), la cartografia geologica-geomorfologica allegata al PUC del Comune di Genova e quella del Piano di Bacino del Polcevera, di cui alcuni stralci cartografici sono più dettagliatamente illustrati nel capitolo 8 e nella carta geomorfologica allegata al progetto. Si evince così che i versanti della Val Polcevera possono essere localmente interessati da fenomeni franosi le cui tipologie sono diversificate in funzione delle caratteristiche litologiche del substrato e, secondariamente, del condizionamento tettonico-strutturale.

Con riferimento alle aree di stretto interesse progettuale ad una distanza variabile fra 300-800m a monte dell'opera di presa del Rio Maltempo sono cartografate alcune frane quiescenti o potenzialmente attive di tipo superficiale, prevalentemente tipo soil slip e più limitatamente per scivolamento, lungo i due rami in cui

si divide il Rio Maltempo (Maltempo 1 e Maltempo 2), oltre a fenomeni di ruscellamento diffuso ed erosione laterale . Tali elementi per posizione, ridotte dimensioni e profondità non comportano gravami o rischi potenziali diretti per le opere in progetto, ma a seguito di eventi meteorici particolarmente intensi e prolungati potrebbero determinare un incremento del trasporto solido che affluirà rapidamente verso l'opera di presa. Da segnalare inoltre, come riportato nella carta geomorfologica del PUC e come facilmente riscontrabile anche da sopralluoghi in campo, una condizione di erosione concentrata di fondo lungo il Rio Maltempo a monte dell'Autostrada, fenomeno questo imputabile ai volumi d'acqua incanalati ed alle caratteristiche di alterazione e fessurazione del substrato argillitico, che affiora estesamente lungo buona parte dell'alveo stesso.

In figura seguente uno stralcio del geoportale regionale con riportate le perimetrazioni di frana dell'Inventario dei fenomeni Franosi (IFFI); le medesime perimetrazioni si ritrovano anche nella cartografia del Piano di Bacino, nel PUC. e nella carta geomorfologica di progetto.

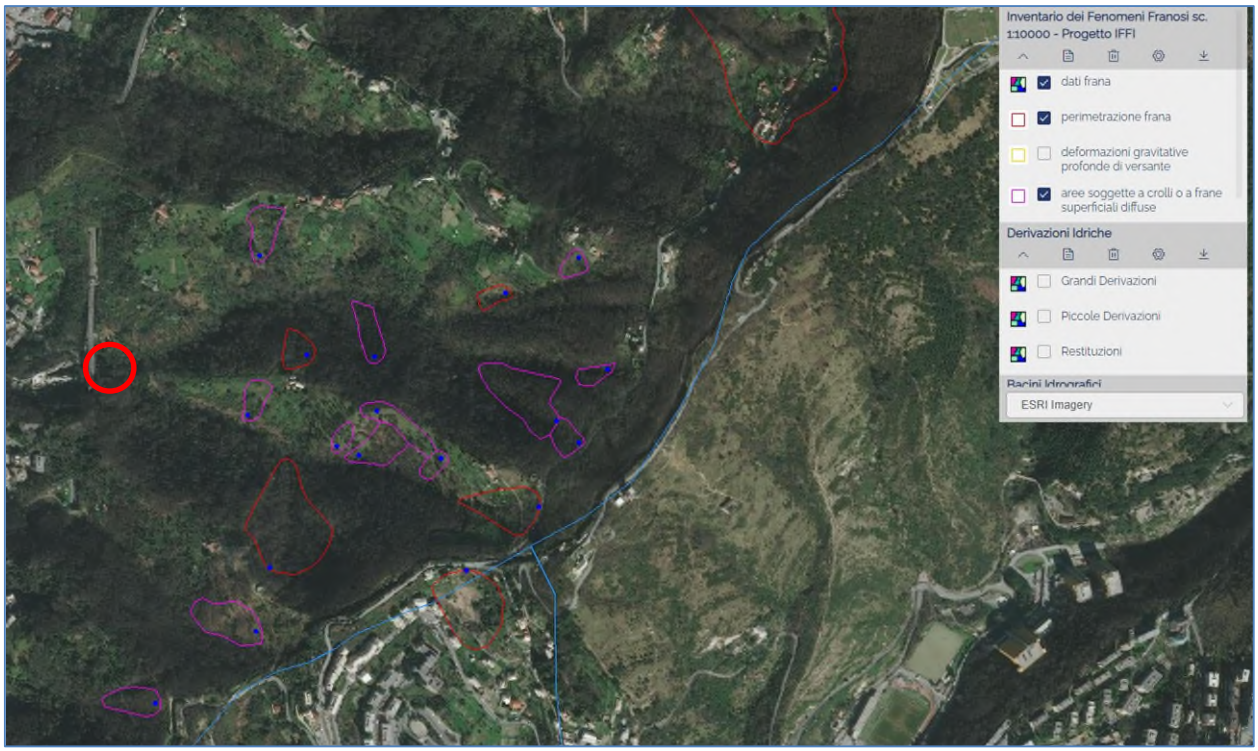



*Figura 6.1 Geoportale Regionale (stralcio) Frane lungo il Rio Maltempo a monte dell'opera di presa. In colore rosso frane per scivolamento o scorrimento. In viola frane superficiali tipo soil slip. Nel cerchio rosso l'opera di presa*

Una recente frana di ridotte dimensioni è stata riscontrata a valle dell'opera di presa in sinistra idrografica del Rio Maltempo. Trattasi di un fenomeno di soil slip superficiale a carico della coltre colluviale poggiante sul substrato argillitico. Proprio per la sua recente genesi non è riportata in alcuna documentazione bibliografica consultata. Posta su un versante ripido con fitta vegetazione si ritiene possa essersi innescata a seguito di eventi meteorici molto intensi anche come conseguenza del convogliamento e concentrazione dell'acqua raccolta da una strada sterrata posta subito a monte. Anch'essa non comporta gravami o condizionamenti particolari per le opere in progetto ma, trovandosi in un punto in cui la sezione idraulica è ristretta, una sua estensione e/o riattivazione potrebbe occludere parzialmente l'alveo del Rio Maltempo.

Immediatamente a valle del viadotto autostradale, e quindi dell'opera di presa, in sponda destra del Rio Maltempo le cronache locali riportano la presenza di una discarica non autorizzata contenente fusti in materiale plastico per la quale sono stati svolti dettagliati accertamenti per la messa in sicurezza del sito. Una più precisa delimitazione e caratterizzazione dell'area è stata ottenuta a seguito di un sopralluogo congiunto effettuato con i tecnici comunali della Direzione Ambiente del Comune di Genova, i quali hanno gentilmente messo a disposizione la documentazione disponibile. In figura seguente l'ubicazione approssimativa della discarica in questione rispetto agli interventi in progetto.

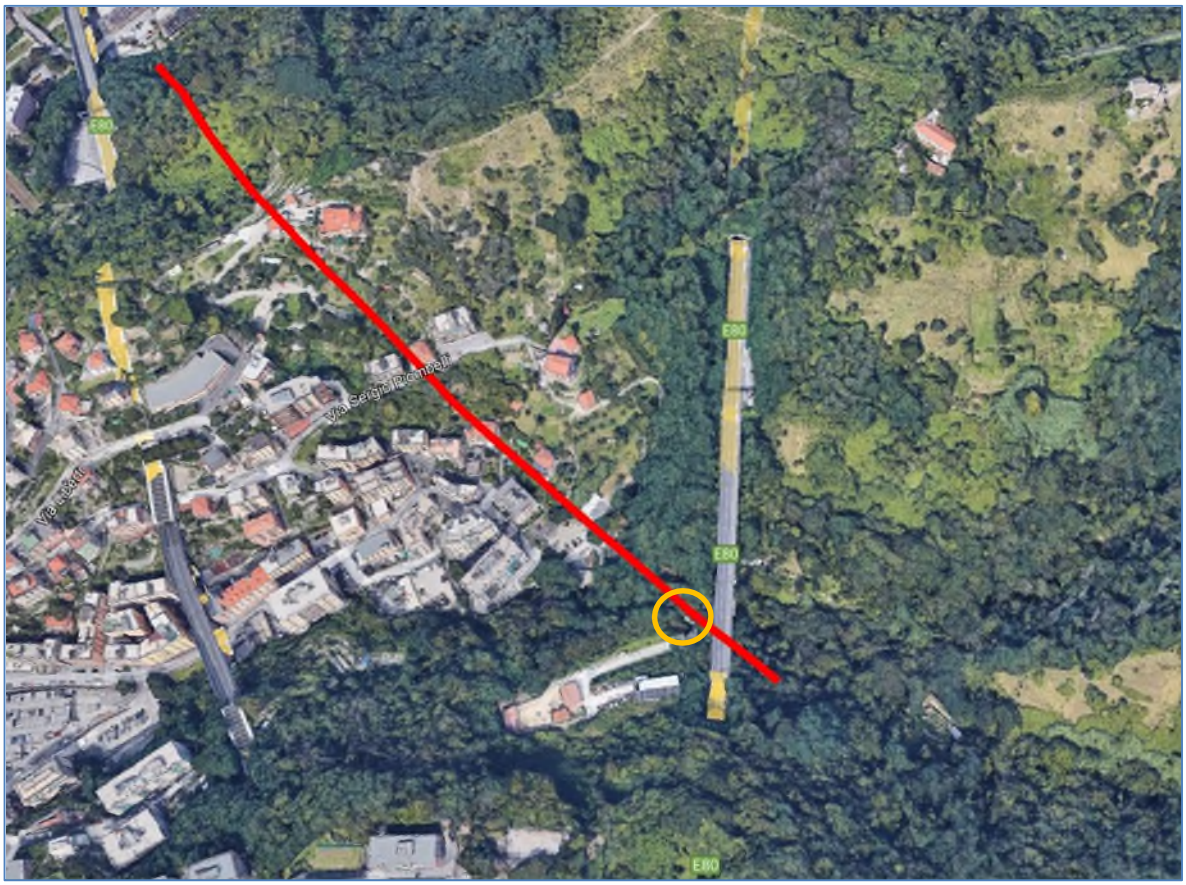



*Figura 6.2 Posizione approssimativa della discarica non autorizzata lungo Via Piombelli a valle del viadotto autostradale. In rosso il tracciato della galleria idraulica*

Per quanto riguarda la presenza di sbancamenti e riporti degni di nota si rammenta, come già anticipato, la presenza di un rilevato che in corrispondenza del viadotto autostradale sbarra l'alveo del torrente Maltempo permettendo il deflusso della portata idrica attraverso uno scatolare a modesta sezione.

Uno sbancamento antropico è osservabile ad est rispetto lo bocco della galleria idraulica, a margine di Via Fasciotti. La sua esecuzione è da ricondurre agli interventi di edilizia residenziale eseguiti per ricavare spazio da destinare ai fabbricati e relative pertinenze, i quali hanno arretrato il piede del versante mettendo talvolta a nudo il substrato roccioso. Lungo questo fronte, probabilmente favorito dagli stessi scavi di sbancamento, si riscontra uno smottamento che ha coinvolto la coltre detritica e probabilmente la porzione superficiale maggiormente alterata del substrato argillitico. Il dissesto, che è stato messo in sicurezza tramite una geostuoia, rete, chiodi e reticolo di funi, resta ad una distanza minima di 60-70m dall'imbocco della galleria il quale, per contro, si pone in un contesto geomorfologico stabile con substrato affiorante o

subaffiorante.

# 7. IDROGEOLOGIA

Il settore di studio è caratterizzato da una certa complessità idrogeologica strettamente connessa alla presenza di differenti successioni sedimentarie e di numerose strutture tettoniche.

In linea generale i versanti sono dominati da un substrato prevalentemente argillitico con molto subordinate intercalazioni arenacee. La permeabilità è nel complesso da bassa a molto bassa, anche se non può comunque escludersi a priori un valore relativamente maggiore nei settori più intensamente tettonizzati. Ne consegue dal punto di vista teorico una possibile ma in ogni caso sporadica presenza di sorgenti, con portate modeste se non addirittura stagionali, legate ad una forte compartimentazione degli ammassi, alla presenza di intercalazioni arenacee e di fasce a maggior fratturazione.

I terreni a prevalente componente argillitica e siltitica e di basso grado metamorfico, fra cui in particolare quelli appartenenti all'unità di Montanesi affioranti lungo e nell'intorno delle opere in progetto, sono composti da torbiditi a marcata fissilità rappresentate da argilliti siltose nerastre con intercalazioni di arenarie siltose e siltiti arenacee fini in rapporti variabili, ed argilloscisti filladici neri con intercalazioni di metasiltiti. Costituiscono limiti di permeabilità per gli acquiferi giustapposti verticalmente o lateralmente e, nello specifico contesto idrogeologico di riferimento, rappresentano sostanzialmente degli acquiclude significativi. Infatti la circolazione idrica sotterranea, ove presente, è fondamentalmente limitata alla porzione corticale dell'ammasso roccioso, ed in particolare alla coltre alterata superficiale, dotata di una porosità relativamente più elevata rispetto quella della roccia sottostante e pertanto di un maggior grado di conducibilità idraulica relativa. Ne consegue una possibile e modesta circolazione idrica superficiale, con relativo adattamento della superficie piezometrica alla morfologia del territorio (deflusso secondo le curve di pendenza). Tali falde idriche superficiali hanno limitate potenzialità e sono strettamente collegate alla stagionalità ed alla variabilità degli apporti meteorici.

Nel complesso la permeabilità è per fessurazione ed è da considerarsi da molto bassa a bassa.

Coerentemente la carta idrogeologica del PUC, descritta nel capitolo 8, in corrispondenza delle aree interessate dai lavori individua un substrato impermeabile (Argilliti di Montanesi) con coltri colluviali di modesto spessore permeabili per porosità.

A monte dell'opera di presa affiora la Formazione di Ronco, non direttamente interessata dai lavori. Si tratta di torbiditi in forma di alternanze di areniti fini, siltiti marnose ed argilliti, in strati da centimetrici a decimetrici. Costituiscono acquiferi misti di modesta trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi, che possono essere sede di falde idriche di ridotta rilevanza, generalmente discontinue e limitate alla fascia corticale più fratturata ed alterata. Sono talvolta presenti sorgenti con scarsissima portata, spesso non permanenti o con spiccata variabilità stagionale. La permeabilità, per fessurazione, è bassa o medio bassa.

Nella carta idrogeologica del PUC la Formazione di Ronco è considerata un substrato semipermeabile.

Lungo i versanti le coperture colluviali non hanno, salvo contesti prettamente locali, spessori tali da

consentire la formazione di una falda acquifera, se non effimera e strettamente legata agli eventi meteorici. La permeabilità è generalmente bassa.

Lungo i principali corsi d'acqua la presenza di una coltre alluvionale grossolana poggiante su di un substrato lapideo impermeabile o semi permeabile favorisce, per contro, la formazione di una falda freatica di subalveo di particolare rilevanza, con locali e possibili confinamenti legati alla presenza di intercalazioni fini, direttamente alimentata da dispersioni in alveo, dalle precipitazioni dirette e da contributi provenienti dai versanti incassanti. La potenza di tale falda è funzione dello spessore della coltre alluvionale, per cui aumenta procedendo da monte verso valle assumendo, nelle aree in studio, valori da metrici a decametrici. La direzione di deflusso segue quella dell'asse vallivo. La permeabilità è per porosità e variabile da media ad alta. Trattandosi di un acquifero a buona permeabilità e privo di protezione la sua vulnerabilità idrogeologica è da ritenersi sempre elevata. Sul Polcevera tale falda, come riportato anche nella carta idrogeologica, va a costituire un acquifero significativo captato da diversi pozzi; la sua soggiacenza come risulta dalle indagini eseguite in corrispondenza del nuovo viadotto sul Polcevera è mediamente variabile fra 4 - 6m da p.c. Sul Torrente Torbella, la cui falda confluisce in quella del Polcevera, possono attendersi valori di soggiacenza sostanzialmente analoghi, o di poco inferiori, con una escursione compresa fra 3 - 5m in funzione del periodo stagionale; i livelli minimi si registrano nei mesi estivi, quelli massimi fra autunno ed inverno quando, a seguito dei principali eventi meteorici, la falda si spinge sino a piano campagna.

A conferma di quanto sopra dalla cartografia disponibile da fonte bibliografica, ed in particolare dalla carta idrogeologica del PUC di Genova, non risulta la presenza di sorgenti lungo il percorso della galleria idraulica e più in generale entro ed in un intorno significativo delle opere in progetto. In generale la presenza di sorgenti è piuttosto rara in tutta l'area. In particolare, non si segnalano sorgenti nelle argilliti della formazione di Montanesi, mentre qualche rara sorgente è cartografata nella formazione di Ronco, comunque a monte ed a significativa distanza dai lavori.

Pozzi per acqua sono censiti lungo la piana alluvionale del Polcevera in destra e sinistra idrografica laddove gli spessori della coltre alluvionale sono maggiori. Dalla consultazione del geoportale regionale risulta che poco a Sud della confluenza del Torrente Torbella nel Torrente Polvecera sono presenti n° 3 pozzi per acqua gestiti da IREN Acque S.P.A., di recente costruzione (concessioni datata 2016), aventi portate comprese fra 40-45 l/s come da figura e tabella seguente.

| Pozzo sigla | Nome | Gestore | Portata |
|---|---|---|---|
| 13666 | Pozzo A | IREN Acque SpA | 45 l/s |
| 13707 | Pozzo B | IREN Acque SpA | 40 l/s |
| 13708 | Pozzo C | IREN Acque SpA | 40 l/s |

*Tabella 7.1 Pozzi per acqua alla confluenza del Torbella nel Polcevera*

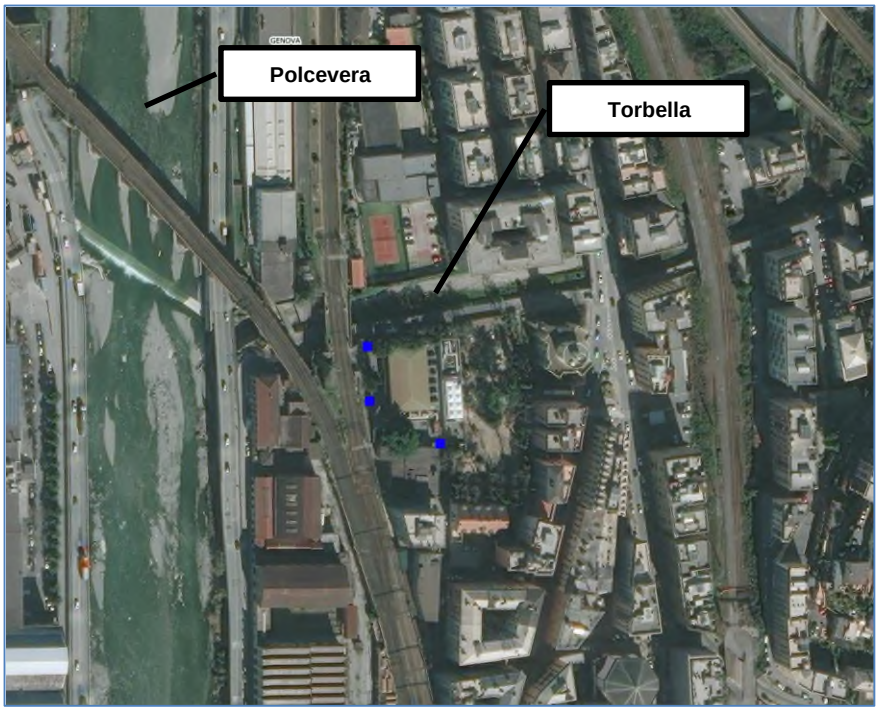



*Figura 7.1 Ubicazione pozzi alla confluenza fra Torbella e Polcevera*

Per una prima valutazione delle permeabilità dei terreni si sono acquisite informazioni bibliografiche relative a prove eseguite in aree limitrofe e sui medesimi terreni. In particolare sono disponibili i risultati delle prove condotte per la progettazione del nuovo ponte sul torrente Polcevera e del nodo autostradale di Genova da cui risulta:

- per le argilliti della formazione di Montanesi: da prove tipo Lugeon permeabilità variabili fra $10^{-7}$ e $10^{-9}$ m/s, ben rappresentate da un valore di riferimento medio di $10^{-8}$ m/s;
- per le argilliti della formazione di Ronco: da prove tipo Lefranc permeabilità nell'ordine di $10^{-6}$ m/s;
- per le coltri colluviali: da prove tipo Lefranc la permeabilità è variabile fra $10^{-5}$ m/s - $10^{-7}$ m/s -;
- per le alluvioni attuali e antiche: da prove tipo Lefranc la permeabilità è variabile fra $10^{-3}$ m/s - $10^{-5}$ m/s.

I valori di cui sopra sono ben in accordo con le caratteristiche granulometriche dei terreni e con i risultati delle prove in sito effettuate nel corso della campagna d'indagine di progetto, i cui risultati sono descritti nel capitolo 10.

La carta idrogeologica allegata al progetto rappresenta e suddivide i terreni in funzione delle caratteristiche di permeabilità. Nella stessa tavola sono riportate le emergenze idriche (pozzi e sorgenti) censite all'interno dell'inquadramento della tavola. Dall'osservazione di questo elaborato si evince che i terreni in cui si sviluppa la galleria idraulica, appartenenti alla Formazione di Montanesi ed a composizione prevalentemente argillitica, sono considerati sostanzialmente impermeabili, o con permeabilità da molto bassa a bassa. Condizioni queste compatibili con l'assenza di falde e corpi idrici sotterranei di una certa rilevanza. Nello schema di circolazione idrica generale costituiscono degli acquiclude di notevole importanza in quanto possono tamponare lateralmente e verticalmente gli acquiferi sotterranei più

importanti.

Durante gli scavi in sotterraneo non saranno perciò da attendersi venute idriche significative e non sono da prevedersi effetti derivanti dallo scavo sulle sorgenti presenti in superficie, o sulla stabilità dei terreni. Potranno in ogni caso riscontrarsi locali venute, in forma di stillicidi puntuali o diffusi, concentrate nelle zone di maggiore fratturazione, in corrispondenza dei pur subordinati interstrati arenitici o ancora laddove la calotta dovesse intercettare la coltre di alterazione superficiale. Stante la natura argillitica delle rocce incassanti tali venute dovranno essere prontamente allontanate evitando accumuli in galleria che alla lunga potrebbero favorire una progressiva alterazione della roccia. A tale scopo è positiva la previsione di scavare la galleria da valle verso monte, in favore di pendenza, consentendo in tal modo il drenaggio naturale delle acque.

I lavori in alveo si mantengono a buona distanza dai pozzi censiti di proprietà di Iren Acque. Prudentemente durante l'esecuzione dei lavori in alveo si potranno incrementare le analisi sulle acque emunte e/o evitare/limitare i prelievi ad uso idropotabile. Resta il fatto che l'elevata vulnerabilità idrogeologica dei depositi alluvionali consiglia particolare attenzione e cautela nell'evitare possibili spandimenti e contaminazioni in alveo.

# 8. DOCUMENTAZIONE DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E VINCOLI

## 8.1 Premessa

In sede di progettazione si è proceduto alla consultazione della documentazione di pianificazione territoriale disponibile, i cui elementi principali in ambito geologico sono descritti nei paragrafi seguenti.

## 8.2 Piano di Bacino Stralcio per la Tutela del Rischio Idrogeologico

Il Piano di Bacino Stralcio per la tutela del Rischio Idrogeologico (in seguito PSAI) dell'Autorità di Bacino Regionale della Liguria, nel quale ricade il Bacino del Polcevera, è stato approvato con D.C.P. n.14 del 02/04/2003 (ultima variante approvata con D.D.G. n.88 del 10/04/2017). Costituisce una importante risorsa documentale arricchita da una completa documentazione cartografica.

Con riferimento al PSAI l'area in studio ricade nella tavola 213150.

La **carta della suscettività al dissesto** deriva dalla sovrapposizione di informazioni di carattere geologico e geomorfologico quali la tipologia di formazione geologica, l'acclività dei versanti, l'uso del suolo e la situazione geomorfologica di dettaglio. Ad ogni classe è associato un "peso relativo" che contribuisce alla definizione delle sei classi di suscettività, comprese tra molto bassa e molto elevata.

Lo stralcio della carta della suscettività al dissesto, riportata in figura, segnala una condizione di suscettività media lungo il tracciato della galleria idraulica, che diventa da bassa a molto bassa nelle alluvioni del Torbella. Condizioni di suscettività da elevata a molto elevata sono invece circoscritte ben a monte dell'opera di presa ed esternamente alle pertinenze progettuali, dove affiora la Formazione di Ronco e in particolare laddove sono censite alcune perimetrazioni di frana attive lungo i due rami del Rio Maltempo.

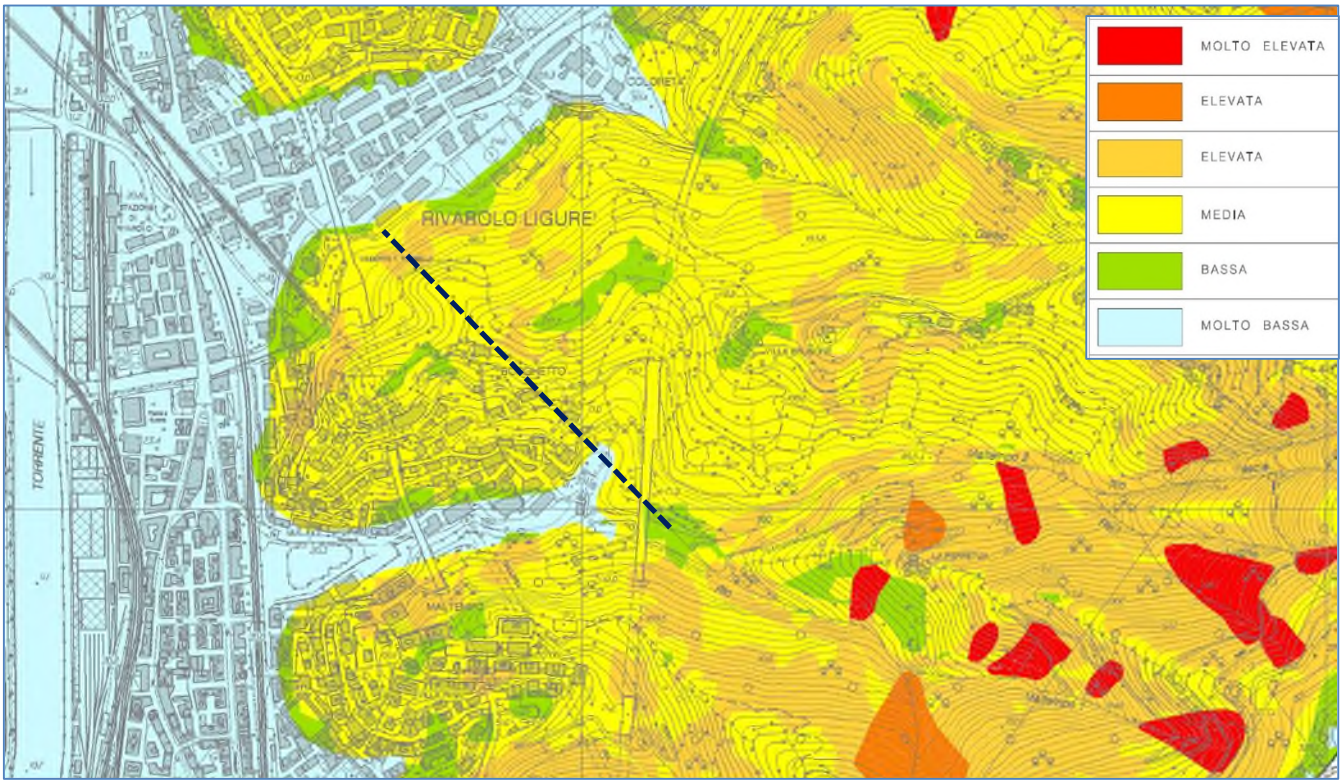



*Figura 8.1 PSAI. Carta della suscettività al dissesto. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

La **carta del rischio geologico** è ottenuta dalla sovrapposizione tra la pericolosità geomorfologica e gli elementi a rischio derivanti dall'analisi dell'uso del suolo, così come indicato nella Relazione generale allegata al Piano di Bacino Stralcio del torrente Polcevera. Pertanto, il rischio geologico deriva dal confronto tra gli elementi a rischio e le aree di bacino caratterizzate da una certa suscettività al dissesto dei versanti. L'estesa presenza di condizioni di subaffioramento del substrato roccioso determina un rischio moderato o lieve lungo lo sviluppo della galleria idraulica passante a medio dove, pur sempre in presenza di substrato roccioso, vi è una sensibile antropizzazione. A monte delle opere vi sono alcune limitate aree a rischio elevato che corrispondono ai potenziali dissesti distribuiti lungo le aste fluviali del Rio Maltempo. Lungo il corso e la golena del Torrente Torbella il rischio geologico decresce a condizioni trascurabili.

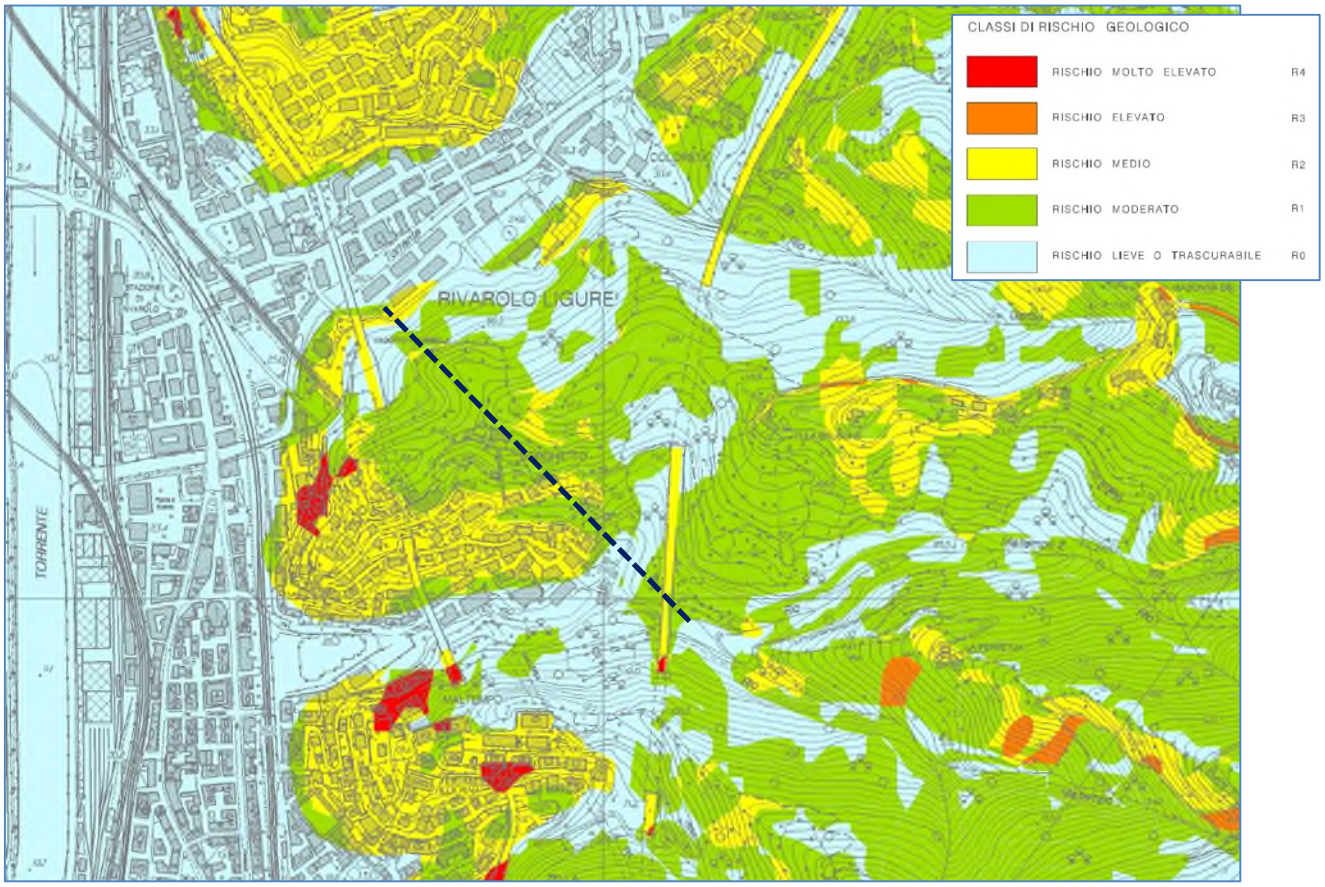



*Figura 8.2 PSAI. Carta del rischio geologico. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

Per quanto riguarda la valutazione del rischio idraulico si è fatto riferimento alla carta del rischio idraulico ed alla carta delle fasce di inondabilità.

Il **rischio idraulico** è elevato lungo il Rio Maltempo a valle del viadotto autostradale e quindi del sedime di progetto dove la struttura scatolare, tombata, è notoriamente insufficiente al regolare deflusso delle piene. Condizioni di rischio da elevato a molto elevato sono censite in più punti nell'intorno del Torrente Torbella, sempre esternamente alle aree di stretto interesse progettuale ed in particolare esternamente al sedime di sbocco della galleria idraulica.

La **carta delle fasce di inondabilità** riporta le seguenti fasce:

- Fascia A: aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con Tr=50 anni;
- Fascia B: aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con Tr=200 anni;
- Fascia C: aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con Tr=500 anni o, se più estese, aree storicamente inondate.
- Fascia B* (ovvero A*): aree storicamente inondate per le quali non siano avvenute modifiche definitive del territorio tali da escludere il ripetersi dell'evento, ovvero aree individuate come a rischio di inondazione in corrispondenza delle quali non siano state effettuate nell'ambito del Piano le adeguate verifiche idrauliche finalizzate all'individuazione delle fasce di inondabilità.

Nei siti di intervento sono censite ben delimitate fasce A-B-C lungo il Rio Maltempo ed il Torrente Torbella. Anche in questo caso nessuna interferenza diretta si registra per le zone interessate dai lavori. Va comunque tenuto conto che la galleria idraulica potrebbe aggravare la situazione a valle della confluenza nel Torrente Torbella, e per tale motivo il progetto ha previsto una risagomatura dell'alveo del Torbella stesso.

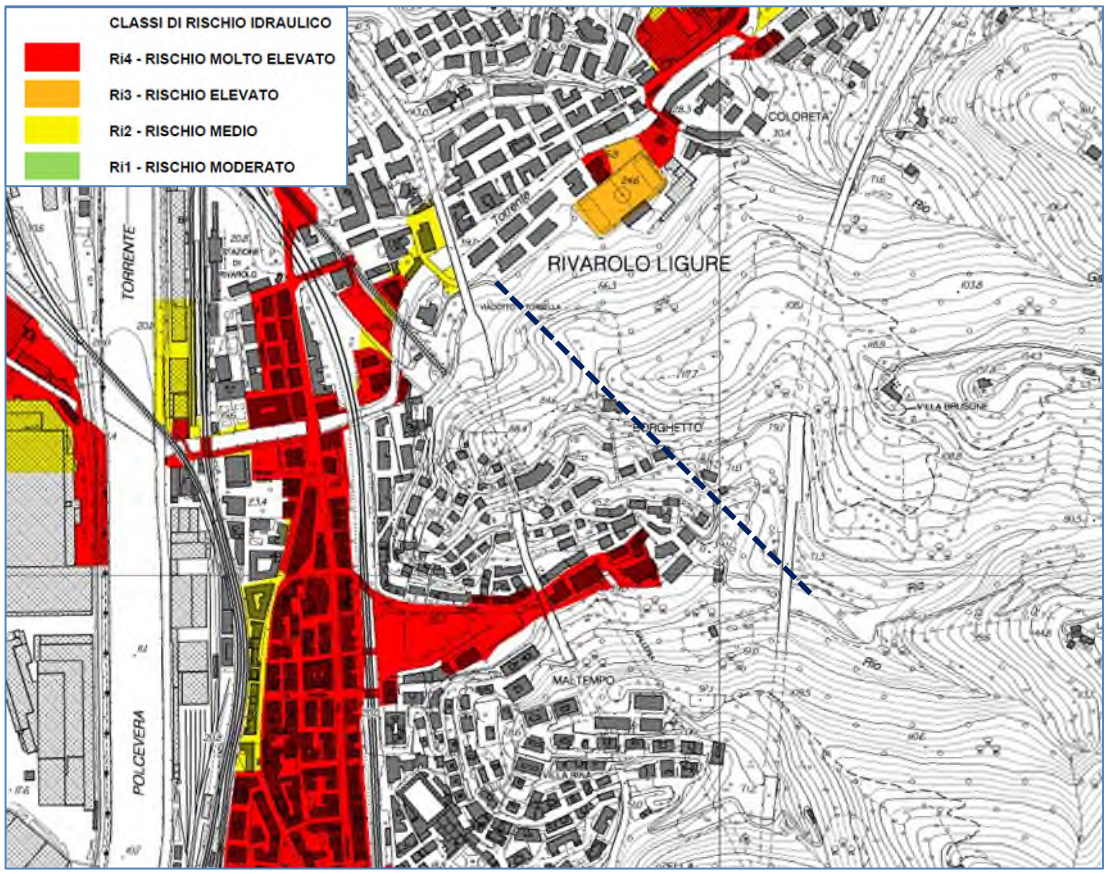



*Figura 8.3 PSAI. Carta del rischio idraulico La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

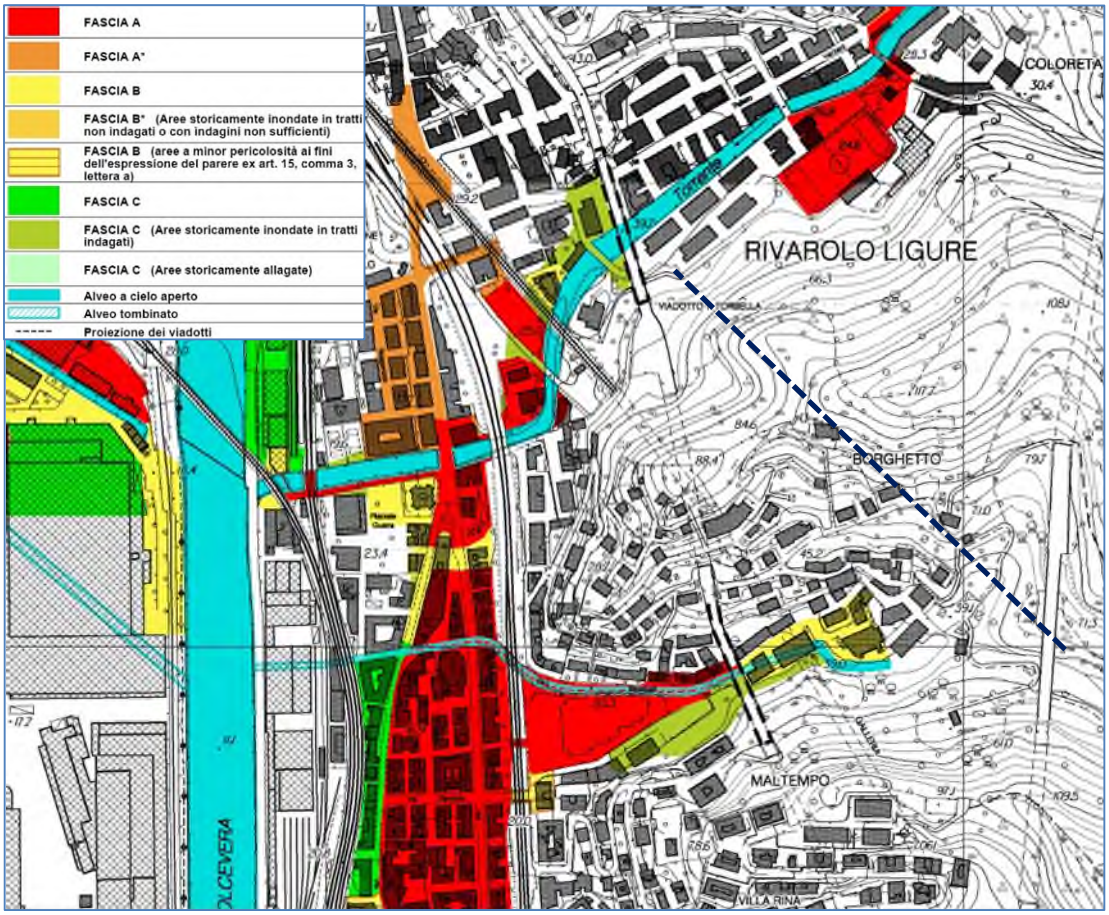



*Figura 8.4 PSAI carta delle fasce di inondabilità. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

La **carta idrogeologica** del PSAI riporta diffusi terreni impermeabili lungo il tracciato della galleria idraulica, con coltri detritiche sottili alle testate del Rio Maltempo e depositi alluvionali permeabili per porosità lungo e nell'intorno del Torrente Torbella. I contesti urbanizzati sono sostanzialmente impermeabili e in essi ricadono anche le aree in depositi alluvionali a valle della galleria idraulica (fa eccezione il sedime di stretta pertinenza dell'alveo dove affiorano depositi alluvionali granulari permeabili).

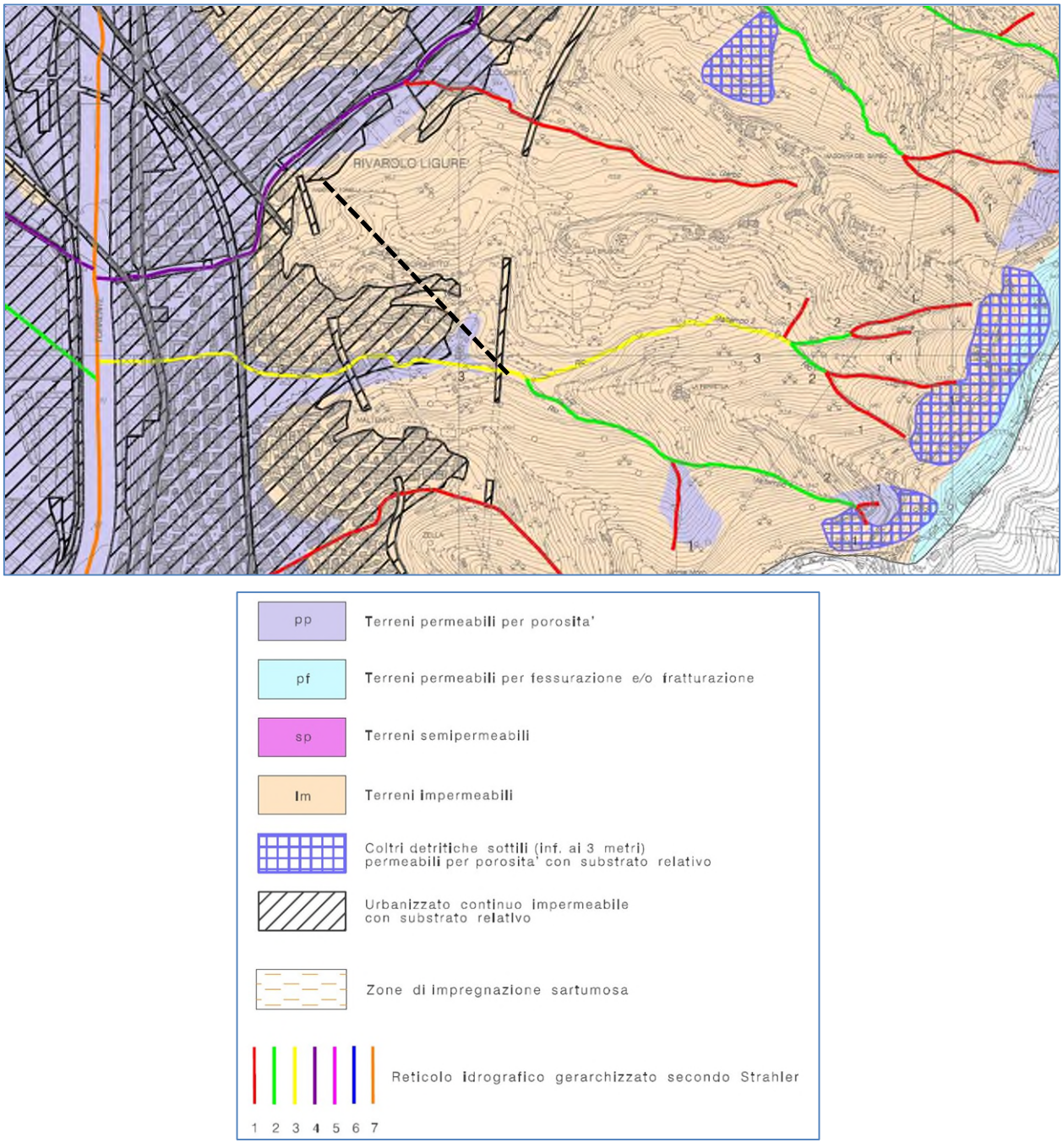



*Figura 8.5 PSAI. Carta idrogeologica e legenda. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

La **carta geomorfologica** del PSAI evidenzia un substrato roccioso in scadenti condizioni di conservazione e/o alterato e/o fratturato con evidenti rotture di pendio in corrispondenza dei crinali. Come già anticipato sul Rio Maltempo a monte dell'opera di presa sono censite alcune frane superficiali potenzialmente attive o quiescenti tipo soil slip (ss) e più limitatamente per scivolamento, oltre a condizioni di erosione concentrata di fondo, ed una locale erosione diffusa in limitate porzioni più a monte.

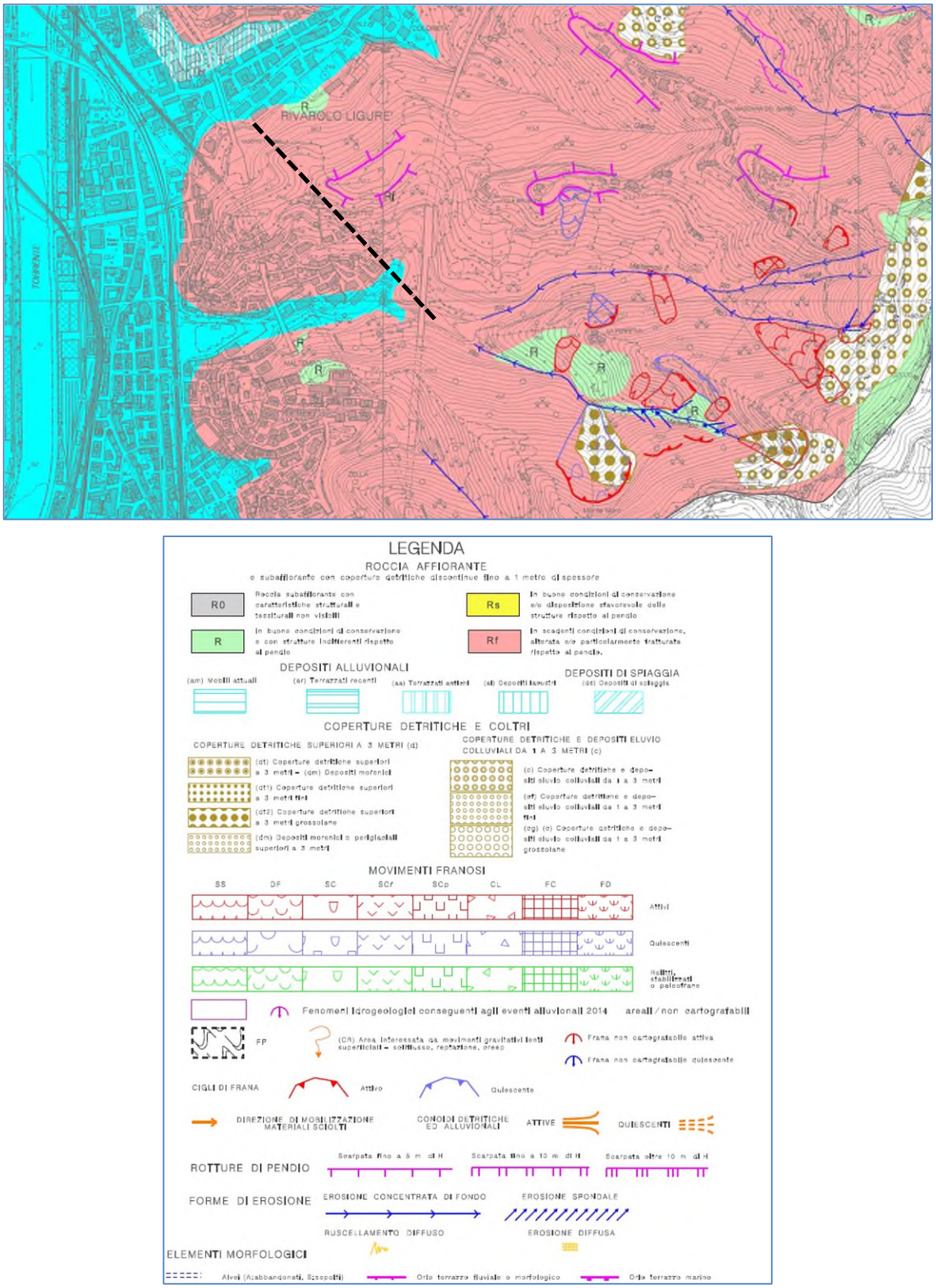



*Figura 8.6 PSAI Carta geomorfologica e legenda. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

Con un focus sull'instabilità dei versanti la **carta della franosità reale** rimarca e meglio dettaglia la presenza di frane quiescenti o potenzialmente attive a monte dell'opera di presa, prevalentemente

superficiali tipo soil slip (ss), e per scivolamento (sc) lungo i due rami del Rio Maltempo. Ad esse si aggiungono condizioni di erosione in alveo ed erosione spondale che sottolineano l'erodibilità ed alterabilità del substrato argillitico in posto.

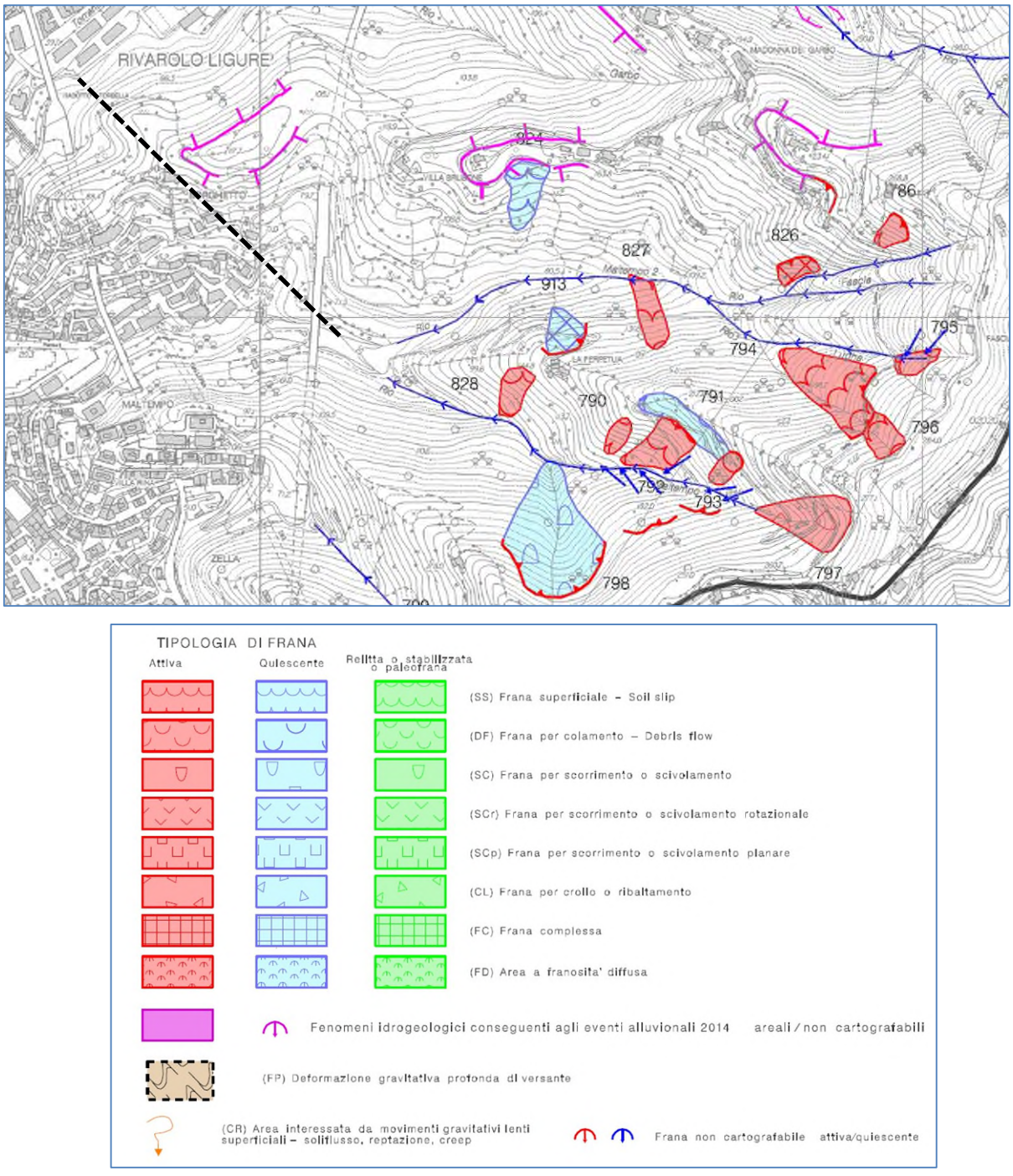



*Figura 8.7 PSAI Carta della franosità reale e legenda. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

Dalla **carta degli elementi a rischio** si evince come la galleria idraulica con relativa opera di presa e la risagomatura dell'alveo del Torbella interessano aree "E0" disabitate o improduttive. La galleria interessa anche aree "E1" ad edifici isolati che ricadono in contesti ad elevata copertura. L'opera di collegamento a cielo aperto fra galleria idraulica e Torrente Torbella posta a margine di Via Fasciotti è in area censita come

"E3" urbana, e come tale richiede un approccio progettuale adeguatamente conservativo.

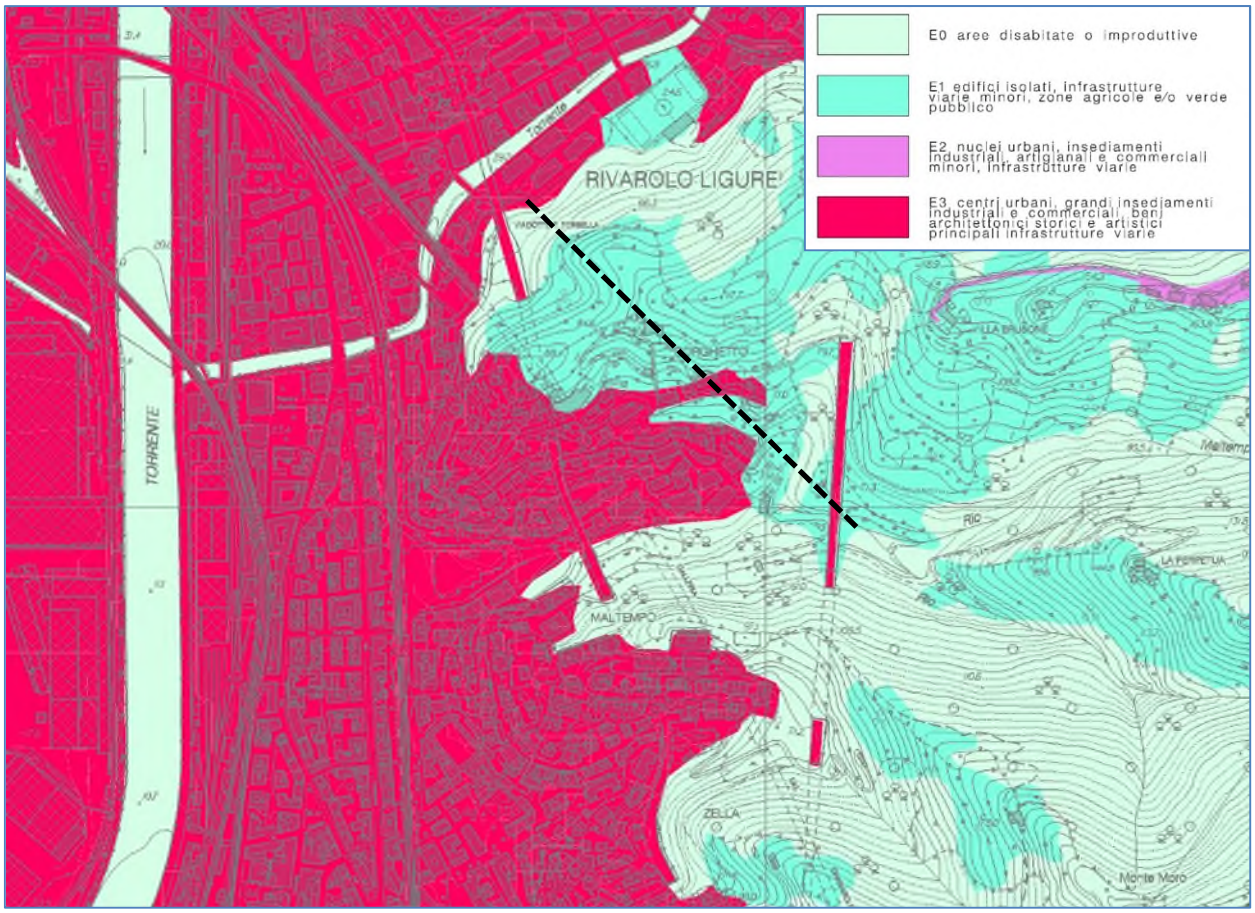



*Figura 8.8 PSAI Carta degli elementi a rischio. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

Dalla **carta dei vincoli** risulta che la galleria idraulica si sviluppa in corrispondenza di aree sottoposte a vincolo idrogeologico. Esenti da vincoli sono le aree pianeggianti entro e nell'intorno del Torrente Torbella a valle dello sbocco della galleria idraulica.

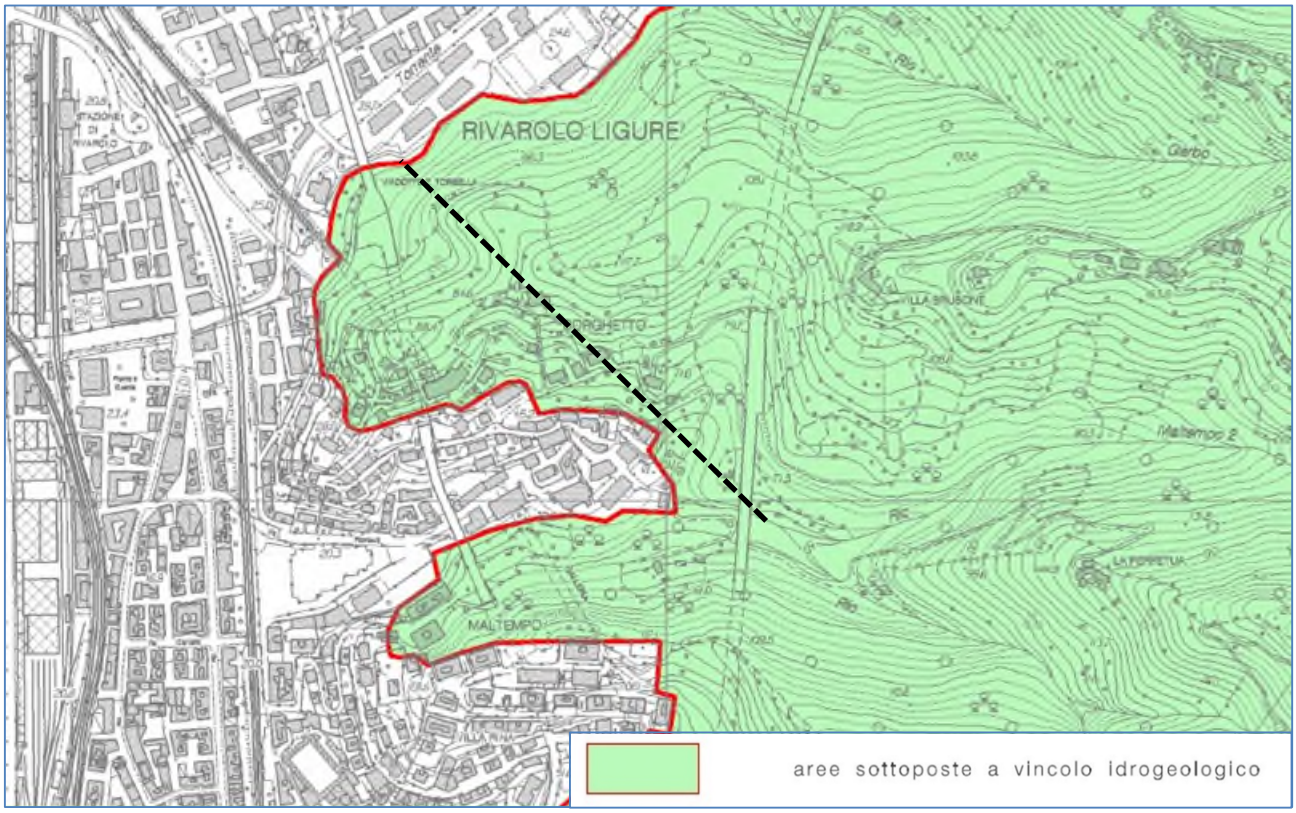



*Figura 8.9 PSAI carta dei vincoli. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

## 8.3 Piano Urbanistico Comunale di Genova

Il Piano Urbanistico Comunale (PUC) approvato con Decreto Presidente Giunta Regionale n.44 in data 10/03/2000, confermato con Deliberazione della Giunta Regionale n.1304 del 5/11/2010 e successive varianti o aggiornamenti, efficaci ai sensi di legge, disciplina gli usi e le trasformazioni compatibili e sostenibili del territorio comunale. Questo studio è corredato da una valida documentazione geologica comprensiva di cartografia in scala 1:5.000, la quale è ben congruente con la carta geologica del CARG, con la documentazione del PSAI e con gli esiti dei rilievi di campo.

Dalla **carta geologica** del PUC si evince come l'intera galleria ed opera di presa ricada nella formazione di Montanesi mentre la formazione di Ronco rimane a monte, nella porzione più interna del bacino del Rio Maltempo. Il contatto fra le due unità è tettonico con conseguente ed atteso incremento del grado di fratturazione al suo approssimarsi, e quindi nella porzione sommitale delle argilliti di Montanesi. Immediatamente a valle dello sbocco della galleria idraulica sono cartografate alluvioni attuali e antiche grossolane.

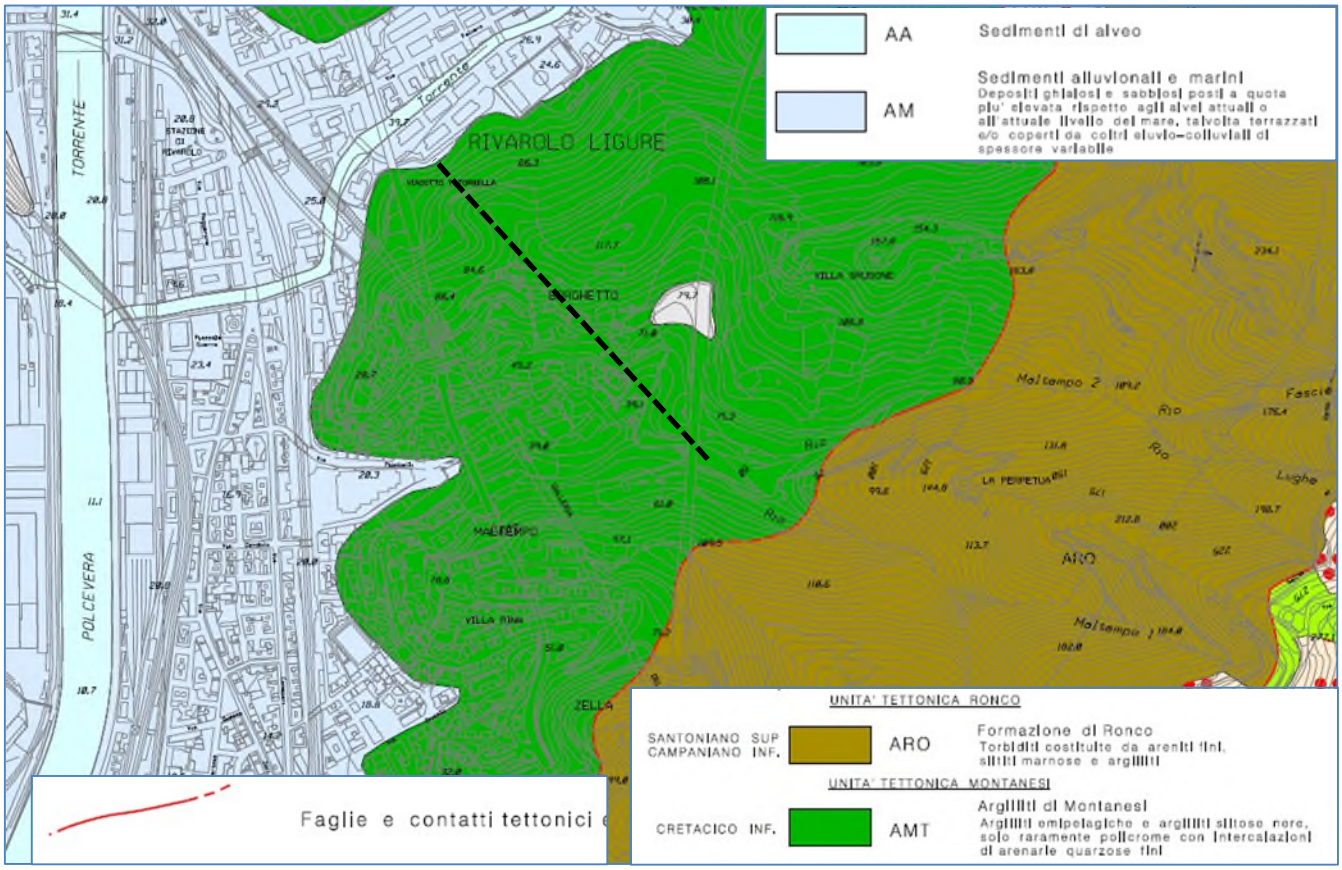



*Figura 8.10 PUC. Carta geologica. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

La **carta geomorfologica** conferma una diffusa coltre colluviale di modesto spessore (classe 0,5-3m) con fenomeni di dissesto superficiali nella porzione montana del Rio Maltempo, attivi e quiescenti, ed un maggiore dettaglio in termini di superfici soggette a ruscellamenti diffusi, erosione laterale e concentrata in alveo. Rare e assai limitate sono in carta le zone dove il substrato affiora direttamente in superficie. In realtà i rilievi sul campo hanno evidenziato diverse condizioni di subaffioramento del substrato, che viene a luce in corrispondenza di piccoli scavi, sbancamenti antropici e a margine della viabilità, anche se con estensioni modeste e tali da non essere cartografabili.

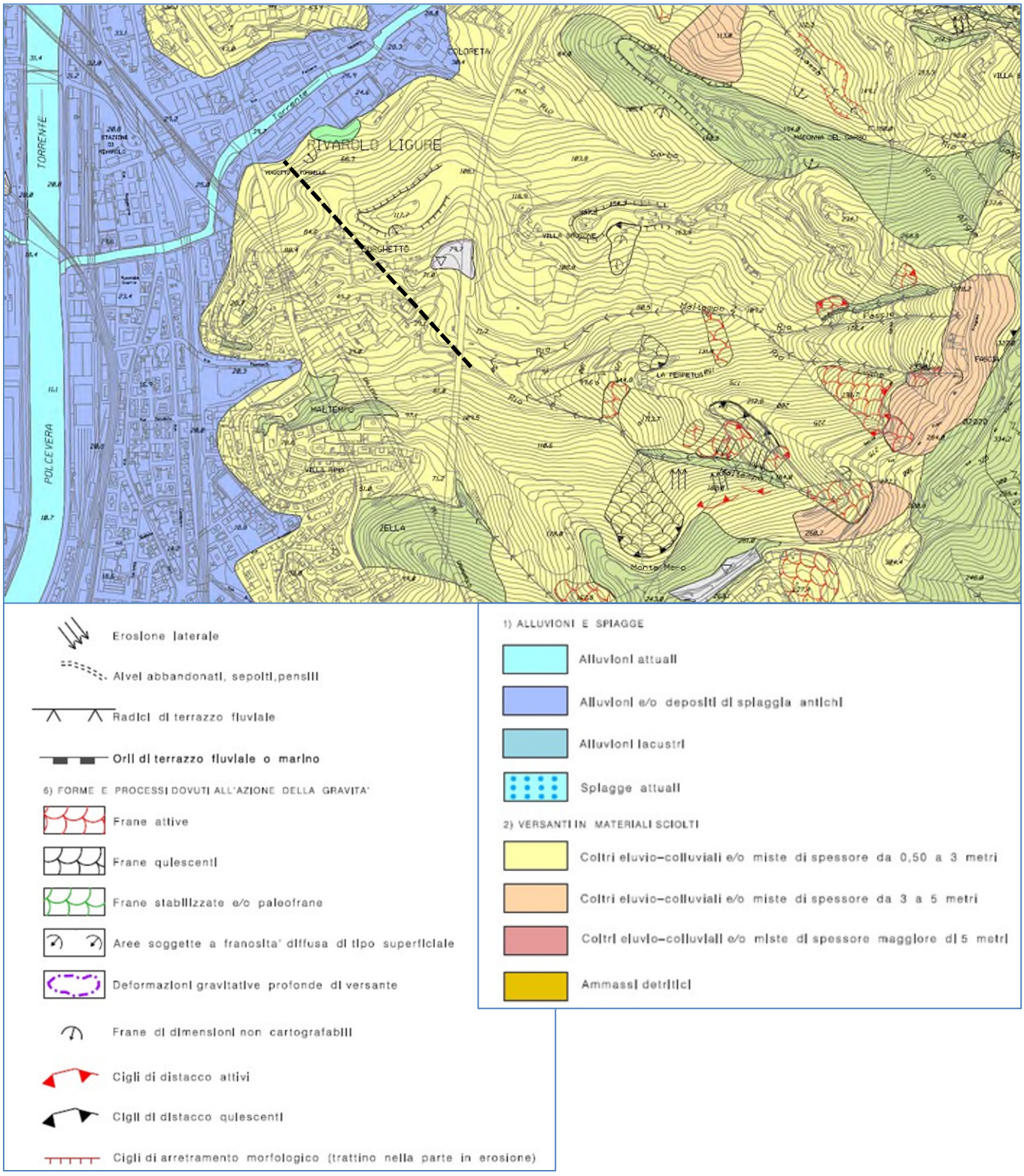
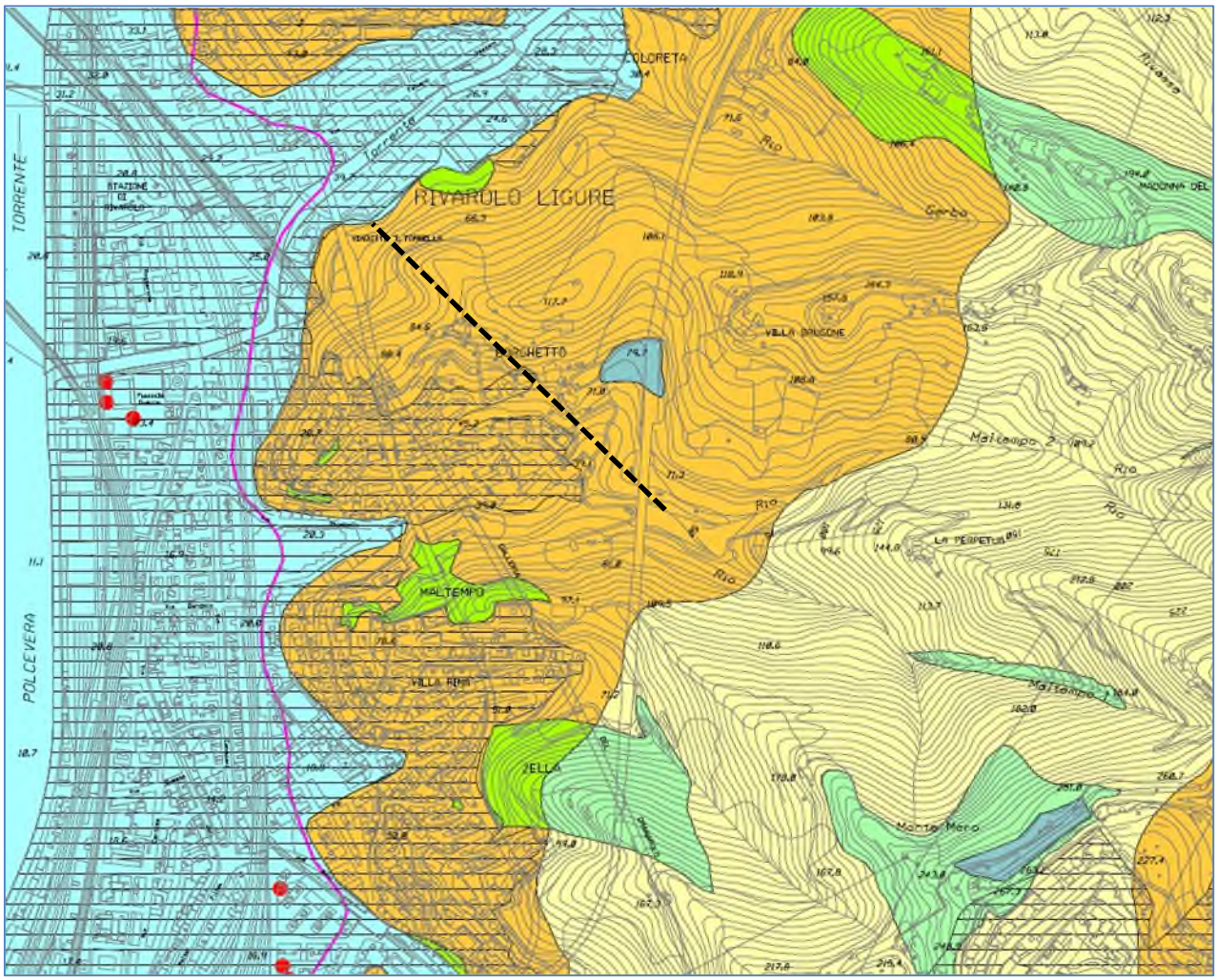



*Figura 8.11 PUC. Carta geomorfologica e legenda. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

La **carta idrogeologica** riporta coperture permeabili su substrato impermeabile lungo il tracciato della galleria idraulica (areale di competenza della Formazione Montanesi), e coperture permeabili su substrato semi permeabile nella porzione interna del Rio Maltempo a monte dell'opera di presa (areale di competenza

della Formazione di Ronco). Non sono censite sorgenti in un intorno significativo delle opere. Lungo le zone subpianeggianti della golena del Torrente Torbella le alluvioni sono permeabili per porosità ma tale permeabilità, ad eccezione della fascia occupata dall'alveo, è spesso limitata dalle pavimentazioni e coperture connesse con l'elevata urbanizzazione. L'ampia golena del Polcevera fino alla confluenza con il Torbella è inclusa nel limite di un acquifero significativo la cui qualità, dalla carta dello "stato chimico delle acque" allegata al Piano di Tutela delle Acque (PTA) è nel complesso scadente; lo stato qualitativo è "non buono" nella relazione sullo stato dell'ambiente in Liguria. In prossimità della confluenza del Torrente Torbella nel Polcevera sono censiti n° 3 pozzi per acqua, dichiarati ad uso umano, gestiti da IREN Acque S.p.A. ed aventi una portata di 40-45 l/s ciascuno.



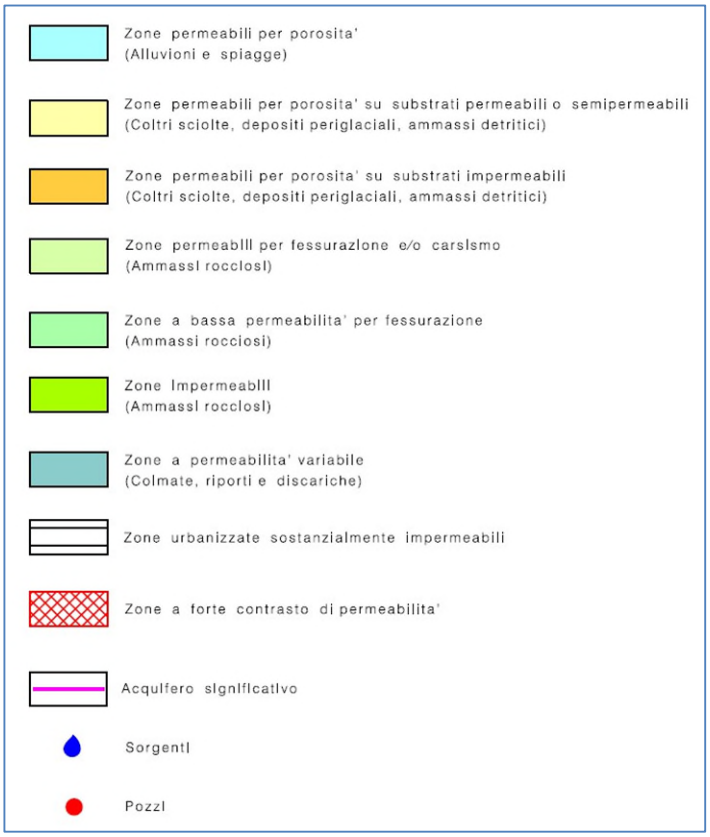



*Figura 8.12 PUC. Carta idrogeologica. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

La **carta dei vincoli** riassume quanto evidenziato nella cartografia tecnica precedentemente illustrata con la delimitazione del vincolo idrogeologico e dell'acquifero significativo, le perimetrazioni delle frane attive e quiescenti che, ricordiamo ancora una volta, rimangono ben a monte delle aree d'intervento, e la presenza di alcuni pozzi alla confluenza del Torbella nel Polcevera. Nelle aree pianeggianti nell'intorno del Torbella le aree inondabili sono esterne ai sedimi di progetto. In questa carta mancano le due frane, di piccole dimensioni e non cartografabili, rispettivamente in prossimità dello sbocco della galleria idraulica ed a valle dell'opera di presa in sinistra del Rio Maltempo, riscontrate nel corso dei rilievi di campo.

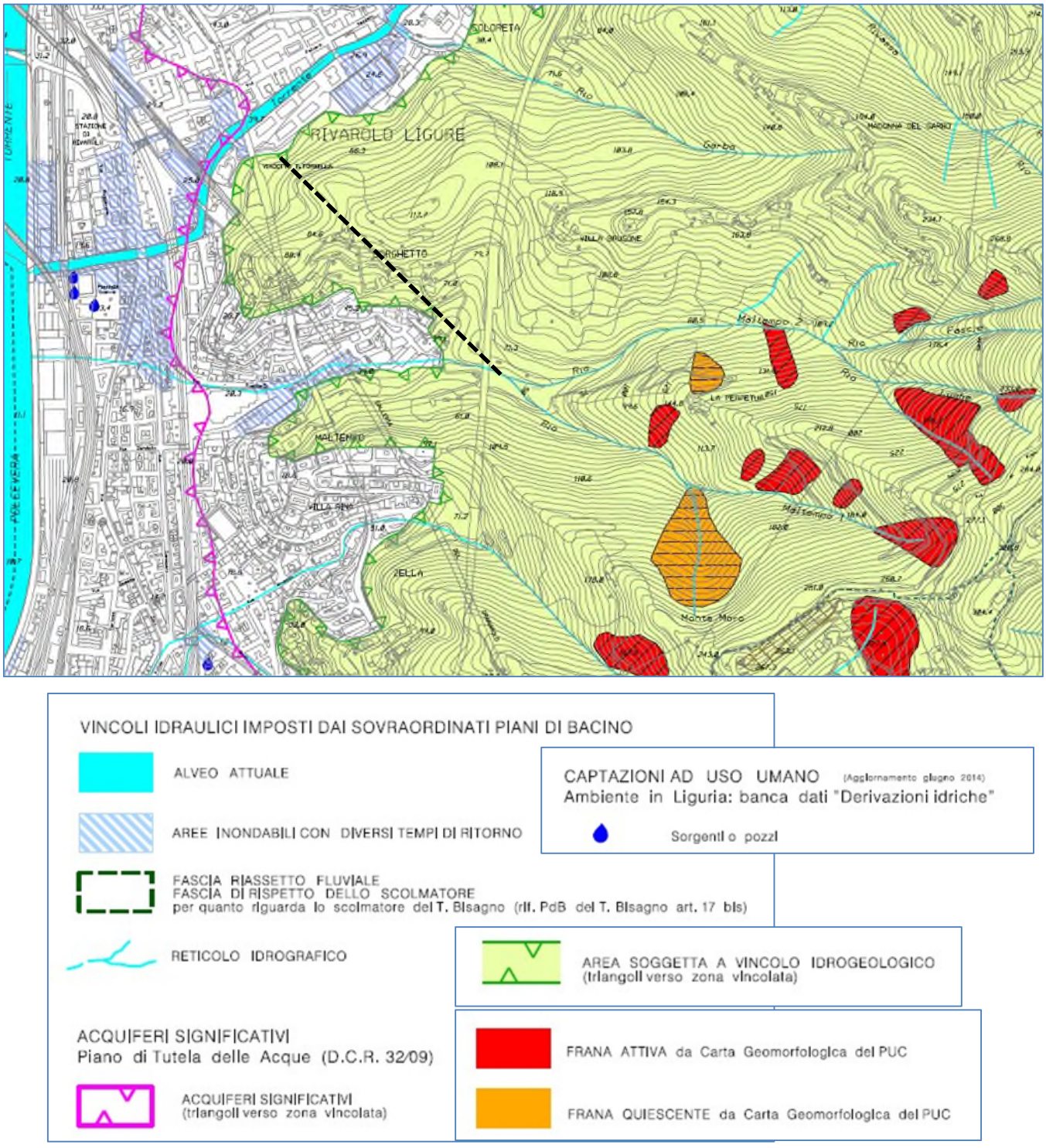
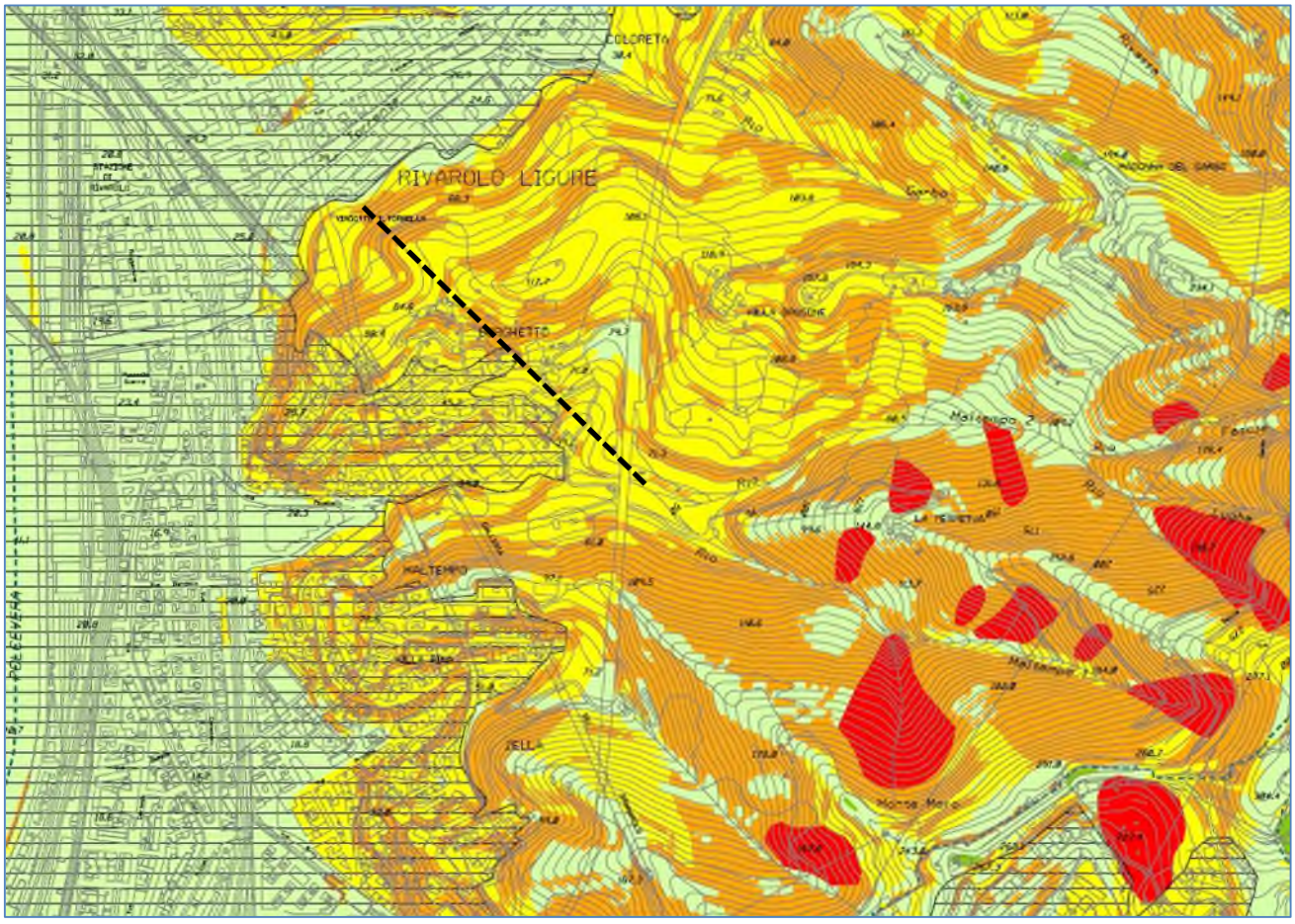



*Figura 8.13 PUC. Carta dei vincoli. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

La **carta di "zonazizzazione e suscettività d'uso del territorio**" definisce, in accordo alle norme geologiche di attuazione dello strumento urbanistico, il livello di approfondimento delle indagini in funzione della zonizzazione definita per l'area di intervento. La galleria idraulica si sviluppa in zone "C" e "D" a suscettività limitata, che passa a zona "E" fortemente condizionata in corrispondenza delle frane potenzialmente attive, sempre esterne ai lavori. Va in questa sede specificato che la suscettività deriva dalle elevate e locali pendenze naturali dei versanti, e da una coltre colluviale che ricopre diffusamente un substrato argillitico alterabile. Essa si si riduce in maniera sensibile nel caso di un'opera realizzata in sotterraneo ed all'interno del substrato roccioso sano. Va considerata inoltre la possibilità, come già anticipato, che possibili instabilità nella porzione montana del bacino del Rio Maltempo possano determinare condizioni di trasporto solido in alveo durante o a seguito di eventi meteorici eccezionalmente intensi. Le zone in alveo mostrano suscettività parzialmente condizionata in ambito urbanizzato.



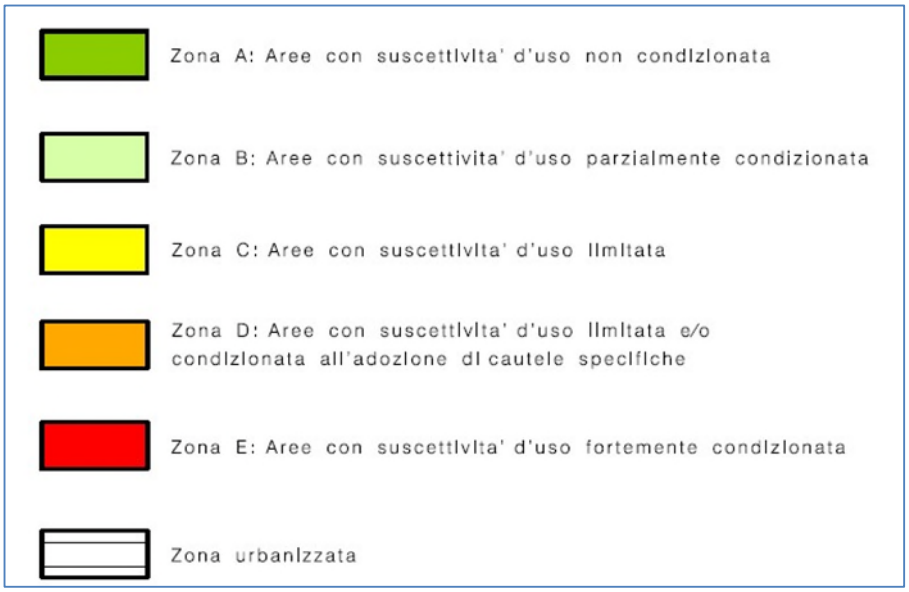



*Figura 8.14 PUC carta di zonizzazione e suscettività d'uso del territorio. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata*

Un cenno merita infine in questa sede la **carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica**. Lungo la galleria ed opere di presa è censita una zona B2s/t con substrato lapideo scistoso affiorante o subaffiorante avente pendenza >15° e Vs < 800 m/s, passabile di amplificazione stratigrafica e topografica. La zona di contatto tettonico fra la formazione di Montanesi e quella di Ronco, posta a monte e non interferente con i lavori, è considerata soggetta a possibili cedimenti differenziali. Intorno all'alveo del Torbella la zona è B7s con depositi alluvionali aventi spessori >3m e pendenza <15°, da cui deriva una possibile amplificazione stratigrafica, ma non topografica.

Sono riportate le ubicazioni di alcuni sondaggi che, da legenda, evidenziano come nelle zone collinari praticamente tutte le perforazioni raggiungano il poco profondo substrato argillitico; per contro in zona alveo la perforazione rimane nei depositi alluvionali evidenziando come essi abbiano spessori plurimetrici (addirittura decametrici sul Polcevera), confermati peraltro dalle stratigrafie estrapolate dal geoportale regionale.

La zona sismica è la 3.

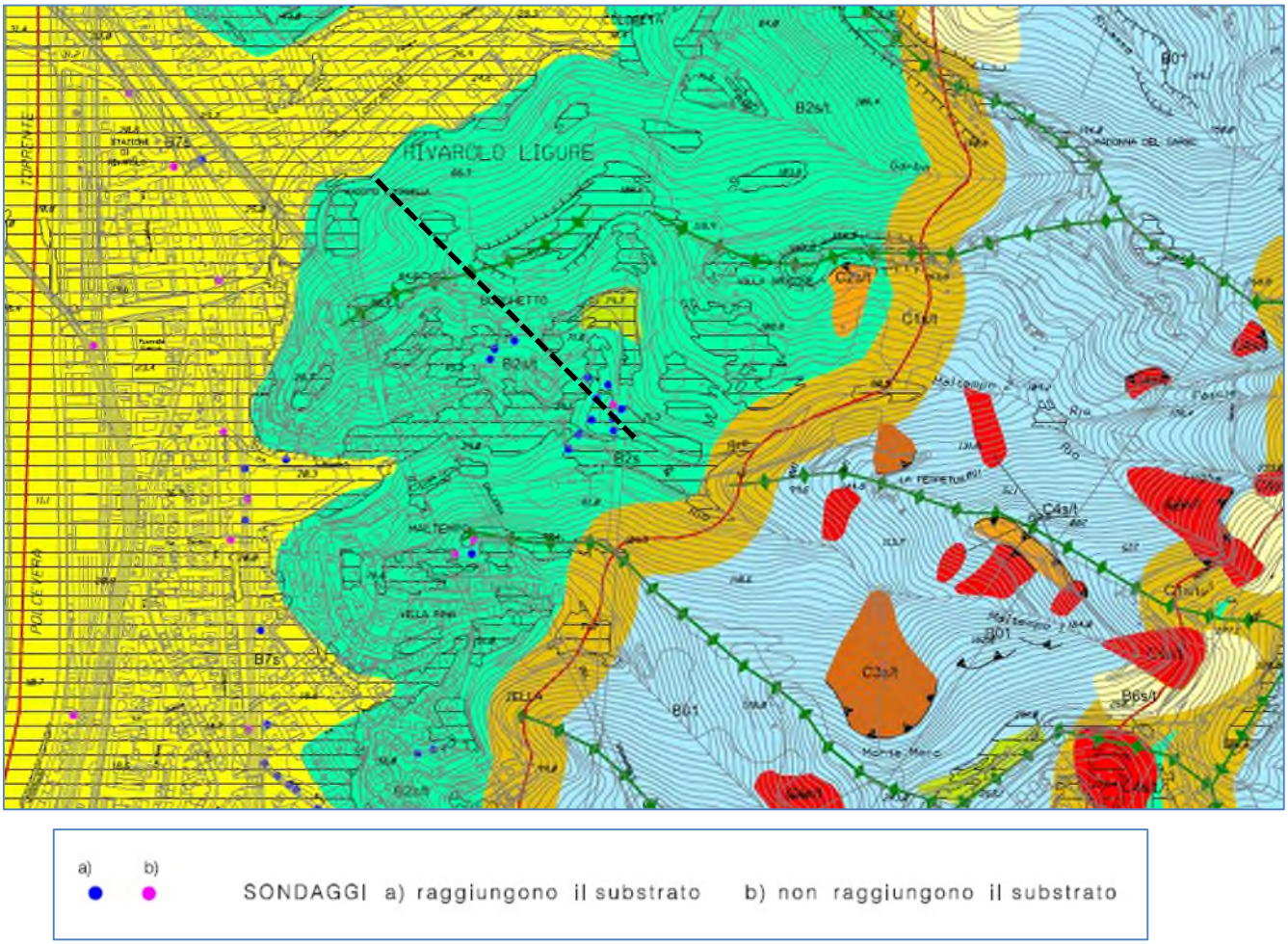



*Figura 8.15 PUC Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*

# 9. SISMICITA'

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

Il 20 marzo 2003 è promulgata l'ordinanza n° 3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", che fissa le regole per l'identificazione dei comuni sismici e definisce nuove norme costruttive. Diversi sono i punti innovativi introdotti. In primo luogo, la classificazione sismica interessa tutto il territorio nazionale e, quindi, non esistono più comuni non sismici. In secondo luogo, al tradizionale sistema di progettazione secondo le "tensioni ammissibili" è sostituito quello più rigoroso basato sugli "stati limite". Il territorio nazionale è suddiviso in quattro zone sismiche, di cui la prima è quella a maggiore pericolosità. Ciascuna zona è caratterizzata da un fissato intervallo di accelerazioni previste al suolo e da uno spettro di risposta. L'Ordinanza 3274 sostanzialmente conferma la modesta pericolosità sismica di buona parte della Liguria ed inserisce il Comune di Genova in zona 4 (quella a minore sismicità su base nazionale).

Con Delibera della Giunta Regionale della Liguria 1362 del 19 novembre 2010 viene apportata una diversa attribuzione di classe di sismicità all'interno del territorio Comunale per cui l'unità urbanistica di Rivarolo nella quale ricade il sedime di progetto, e con essa altre 60 unità urbanistiche del territorio cittadino rimangono in zona 4 a sismicità molto bassa, mentre le 11 unità urbanistiche più settentrionali ed orientali vengono inserite in zona 3 a sismicità bassa.

Con successiva DGR 216 del 17.03.2016 viene aggiornata la classificazione sismica del territorio della Regione Liguria. Per effetto di tale aggiornamento si ha il passaggio dell'intero Comune di Genova in Zona Simica 3 a bassa sismicità.

Mediante la banca dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) è stata ottenuta la figura 9.1 che riporta lo schema, semplificato, della storia sismica della città di Genova per eventi aventi intensità al sito > 5.

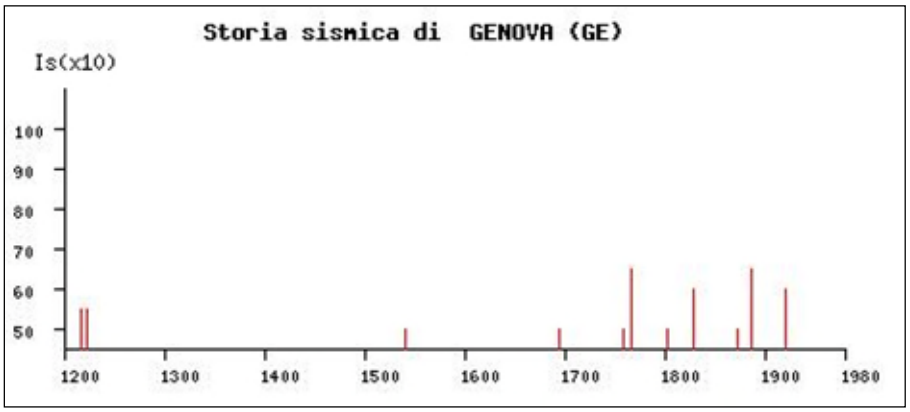



*Figura 9.1. Storia sismica di Genova (banca dati INGV)*

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

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

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

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

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

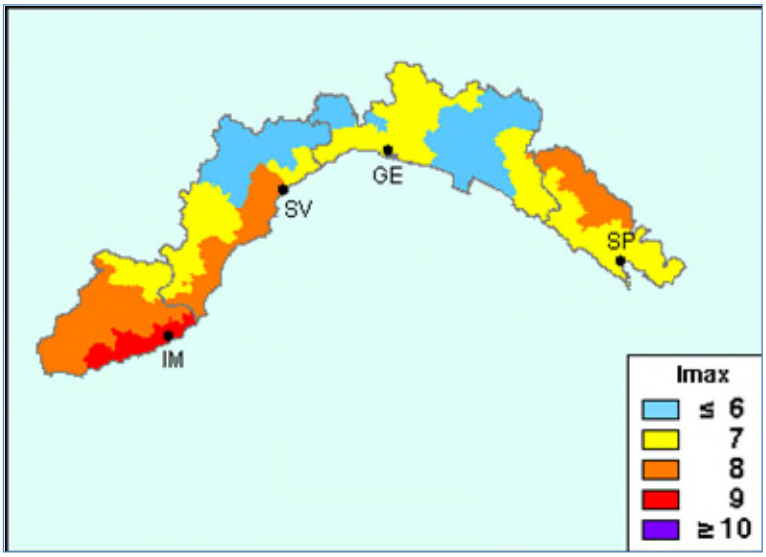



*Figura 9.2. Regione Liguria. Massima intensità sismica (fonte: GNDT – ING).*

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) di cui al D.M. 14/01/2008, e analogamente il successivo "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni", di cui al Decreto del 17/01/2018 e sul quale si basa la presente progettazione, prevedono che l'azione sismica di riferimento (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica. Essa è legata non più al Comune di appartenenza bensì al periodo di riferimento (a sua volta funzione della tipologia ed importanza dell'opera) ed alle coordinate geografiche specifiche del sito.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni ag e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei seguenti tre parametri fondamentali:

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

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

La figura seguente rappresenta i valori di pericolosità sismica secondo l'OPCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b, per l'area in esame. Nella mappa sono riportati i valori medi (con deviazione standard) corrispondenti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni) della PGA (acronimo di Peak Ground Acceleration). Dalla figura è possibile evincere per l'area in studio una PGA dell'ordine 0.050 – 0.075, con valori che tendono a crescere moderatamente spostandosi verso nord e verso est in congruenza con la sopraccitata suddivisione della sismicità in funzione delle unità urbanistiche comunali. Dal grafico di disaggregazione la magnitudo massima è 4,96.

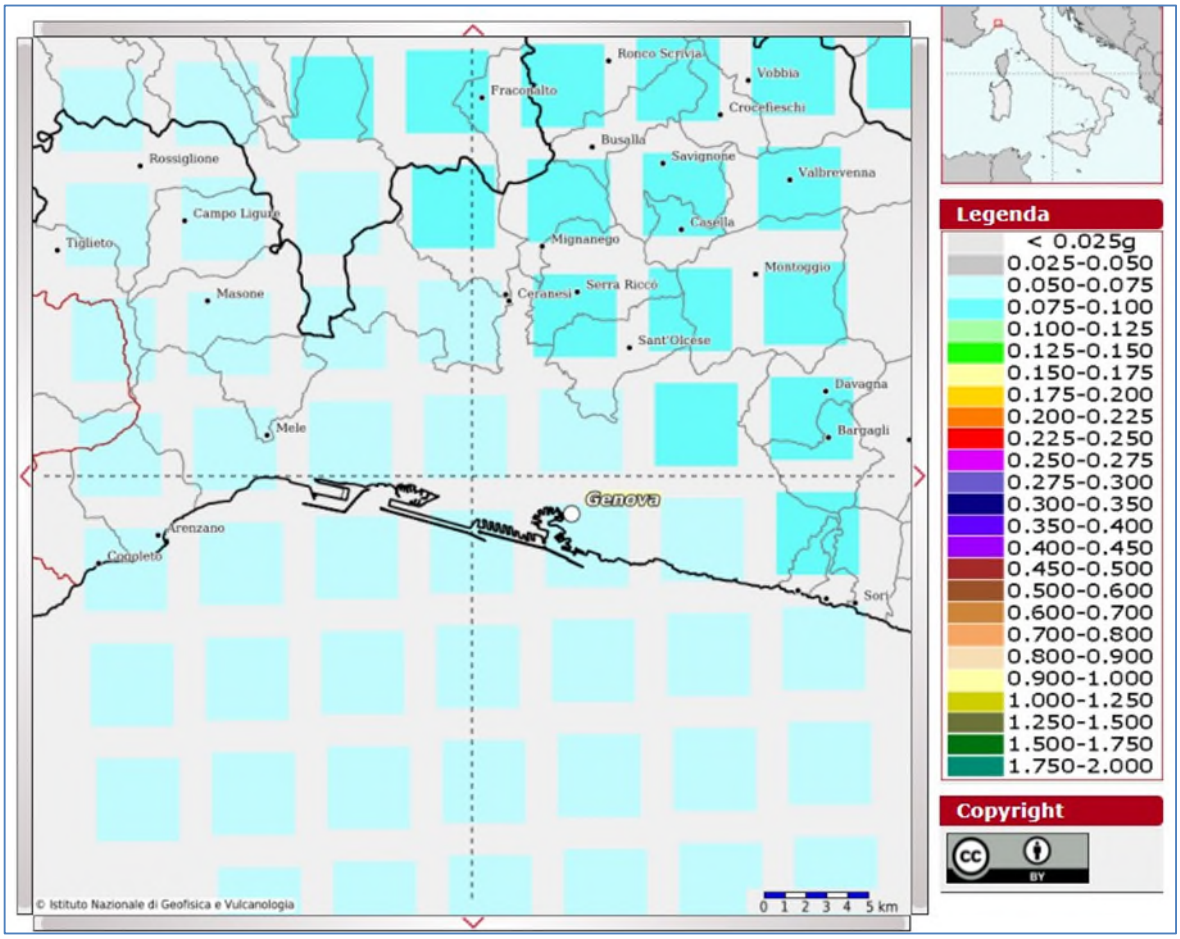



*Figura 9.3. Valori di pericolosità sismica (OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Vs30>800 m/s, suolo di categoria A).*

Secondo l'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018), ed in coerenza con le precedenti NTC 2008, le azioni sismiche debbono essere determinate in relazione al periodo di riferimento VR, che si ricava moltiplicando la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU, rispettivamente come da tabella 2.4.I e 2.4.II delle N.TC.

**VR = VN* CU**

In particolare, la vita nominale di una costruzione VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo alla quale è destinata. La vita nominale viene desunta dai contenuti della Tab. 2.4.1 di cui all'Allegato A delle NTC 2018 (riportata in Tabella 9.2) e deve essere precisata nei documenti di progetto.

**Tab. 2.4.I** – *Valori minimi della Vita nominale $V_N$ di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

| | TIPI DI COSTRUZIONI | Valori minimi di $V_N$ (anni) |
|---|---|---|
| 1 | Costruzioni temporanee e provvisorie | 10 |
| 2 | Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari | 50 |
| 3 | Costruzioni con livelli di prestazioni elevati | 100 |

*Tabella 9.2 Vita nominale Tab 2.4.I NTC 2018*

Il coefficiente d'uso Cu, i cui valori sono riportati in Tabella 9.3, 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:

**Tab. 2.4.II** – *Valori del coefficiente d'uso $C_U$*

| CLASSE D'USO | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| COEFFICIENTE $C_U$ | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

*Tabella 9.3 Coefficiente d'uso Tab 2.4.II NTC 2008*

- 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 ed in conformità con il PFTE e con la progettazione di altre gallerie idrauliche e opere di derivazione effettuate dal medesimo progettista sul territorio di Genova (Bisagno, Fereggiano, Rio Chiappeto) si è considerata un'opera ordinaria con funzioni pubbliche o strategiche importanti da cui deriva:

**VR = VN x CU = 50 x 2,0 = 100 anni**

## 9.1 Pericolosità sismica

La pericolosità sismica è descritta dalla probabilità che, in un fissato arco di tempo, si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. L'intervallo di tempo, espresso in anni, è il Periodo di Riferimento (VR, e la probabilità è denominata Probabilità di superamento nel periodo di riferimento - PVR).

Le probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR variano al variare dello stato limite

considerato (SLO-SLD-SLV-SLC) come riepilogato in figura 9.4 (tabella 3.2.I delle NTC 2018)

| 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% |

*Figura 9.4 . 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:

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

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

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

I valori dei parametri di cui sopra sono allegati in calce alle NTC per diversi periodi di ritorno (TR), e distinti in base ad un codice di identificazione (ID) nonché delle relative coordinate geografiche (latitudine e longitudine). Possono pertanto essere determinati sulla base del Comune in cui ricadono i lavori o in base alle esatte coordinate geografiche delle singole opere. Nel caso specifico sono stati dedotti mediante il programma "Parametri sismici" di Geostru sulla base delle coordinate dell'opera di presa, posta nel limite Nord Est dell'intervento e come tale più prossima alle aree a sismicità maggiore:

Long.8,900576°" E – Lat.44,43263°N

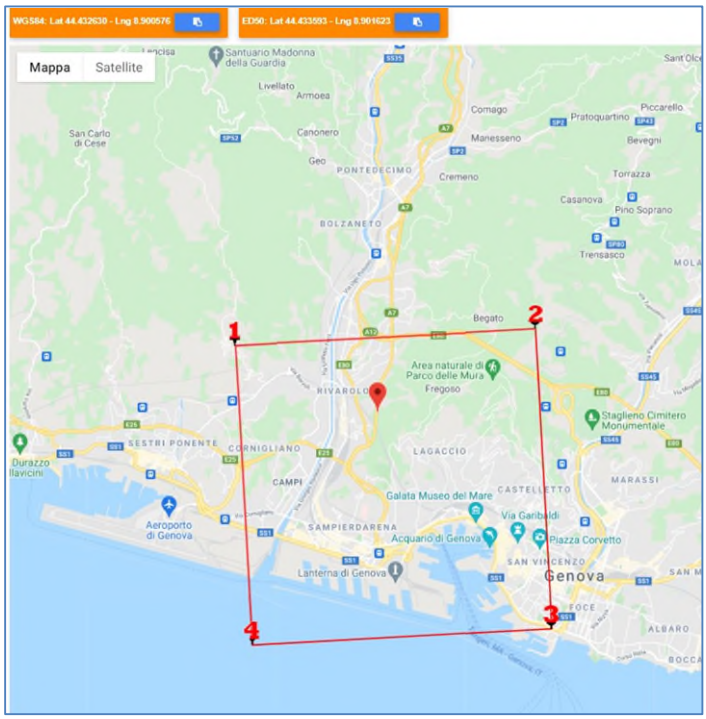



*Figura 9.5. Identificazione del sito all'interno della maglia di appartenenza nel reticolo di riferimento (programma: Parametri sismici - Geostru)*

Per l'areale di progetto i parametri spettrali e lo spettro di risposta sono i seguenti:

## Stati limite

Classe Edificio

IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti...

Vita Nominale 50

Interpolazione Media ponderata

**CU = 2**

| Stato Limite | Tr [anni] | $a_g$ [g] | Fo | $Tc^*$ [s] |
|---|---|---|---|---|
| Operatività (SLO) | 60 | 0.032 | 2.533 | 0.214 |
| Danno (SLD) | 101 | 0.039 | 2.555 | 0.244 |
| Salvaguardia vita (SLV) | 949 | 0.088 | 2.529 | 0.296 |
| Prevenzione collasso (SLC) | 1950 | 0.112 | 2.520 | 0.302 |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 100 | | | |

*Figura 9.6 Parametri spettrali di riferimento*

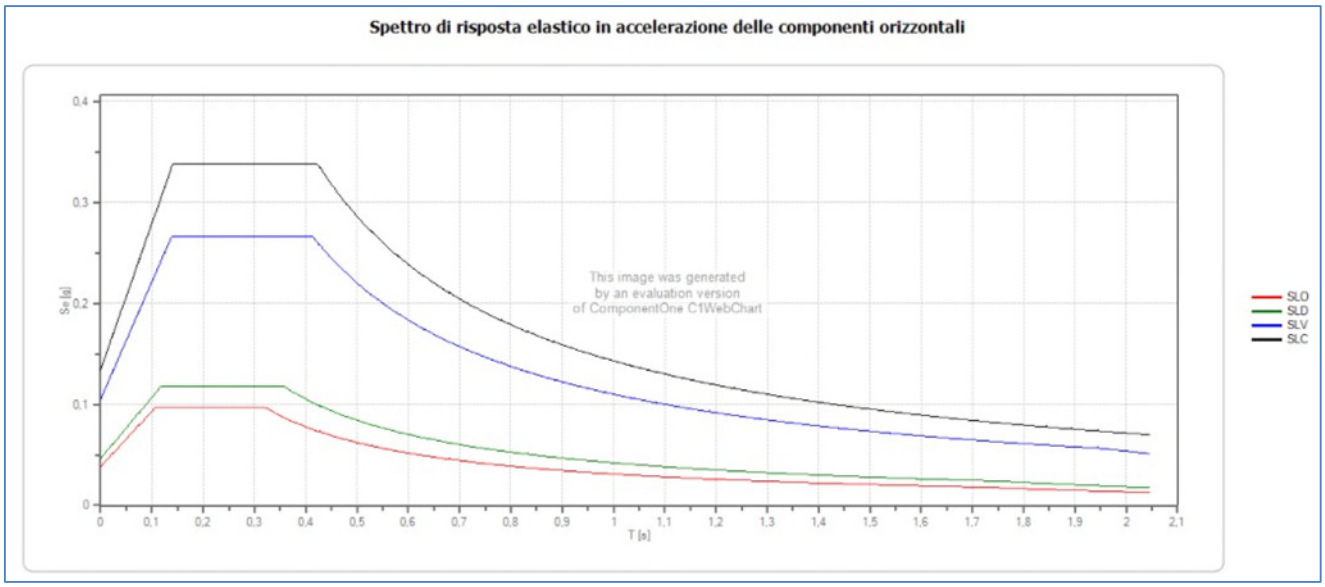



*Figura 9.7 Spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali*

In base alla zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale la sismicità in Italia viene distinta in 36 zone (vedi figura), a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo espressa in termini di magnitudo momento Mw. In quest'ambito l'area di intervento ricade nelle vicinanze (5-6 Km) della zona sismogenetica 911 "Tortona – Bobbio" alla quale è associato un valore di magnitudo massima attesa di Mw = 6,14.

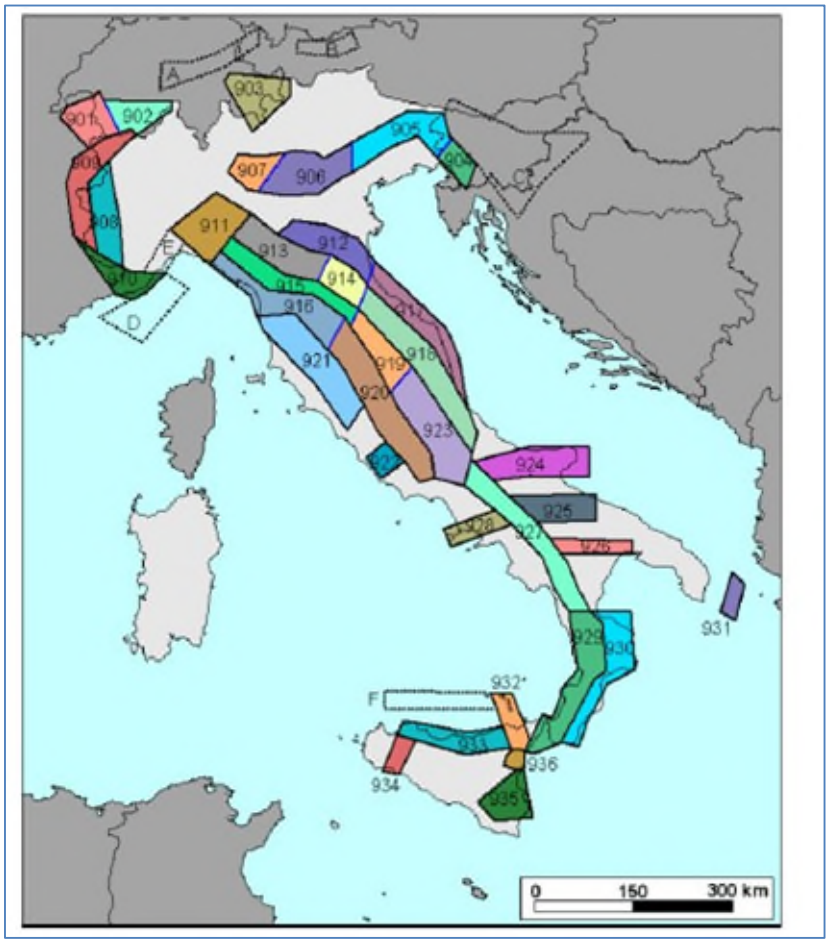



*Figura 9.8 Zone sismiche ZS9*

## 9.2 Risposta sismica locale

Un ulteriore elemento di valutazione è rappresentato dall'effetto locale prodotto dal contesto geologico-geomorfologico che caratterizza l'area in studio. Ciò significa valutare le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche e morfologiche attraverso procedure il cui insieme costituisce la "risposta sismica locale". L'esame della distribuzione dei danni prodotti da un terremoto nello stesso territorio dimostra infatti che le azioni sismiche possono assumere, anche a distanze di poche decine di metri, caratteristiche differenti in funzione delle modifiche all'onda sismica apportate dalle condizioni sito specifiche.

Si denomina quindi come risposta sismica locale l'azione sismica emergente "in superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido e riconducibili principalmente a:

- effetti stratigrafici legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati;
- effetti topografici legati alla configurazione topografica del piano campagna alla quale in alcuni casi (prossimità della cresta dei rilievi), va attribuita la focalizzazione delle onde sismiche a seguito dei

fenomeni di riflessione delle onde sismiche; i fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza.

L'effetto della risposta sismica locale correlabile con l'effetto stratigrafico viene valutato attraverso specifiche analisi da eseguire con le modalità indicate al capitolo 7.11.3 delle NTC 2018. In alternativa qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite dalla tabella 3.2.III delle NTC 2018, riportata in figura 9.9, è possibile fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.

La classificazione del sottosuolo di cui alla tabella 3.2.II si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio Vs eq come definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

(3.2.1 delle NTC 2018)

Con:

hi = spessore strato i-esimo;

Vs,i = velocità onde di taglio strato i-esimo;

N = numero strati;

H = profondità bedrock caratterizzato da Vs non inferiore a 800 m/s

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs30 ottenuto ponendo H = 30.

**Tab. 3.2.II** – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|---|---|
| A | *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti 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*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s. |
| C | *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. |
| D | *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| E | *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m. |

*Figura 9.9 Categorie di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018*

Nell'ambito del progetto i valori di Vs sono stati dedotti da n° 4 prove tipo Masw ed altrettante Remi specificamente eseguite nell'ambito della campagna d'indagine ed ubicate in corrispondenza delle opere principali. Per effetto della presenza di un substrato argillitico a profondità modesta o relativamente tale i valori di Vs equivalente sono mediamente nell'ordine di 380 m/s individuando con ciò una categoria di suolo di fondazione tipo B, cui corrisponde un fattore di amplificazione stratigrafica Ss = 1,20. In tutti i casi le velocità sono crescenti verso il basso. In metà delle prove non viene individuato un substrato sismico (Vs> 800 m/s) entro i primi 30 m da p.c., e nell'altra metà esso si pone a profondità variabili fra 24 e 28 m da p.c.

Per quanto attiene gli effetti topografici è possibile fare riferimento alla tabella 3.2.IV delle NTC 2018 riprodotta in figura 9.10.

Categorie topografiche

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

*Figura 9.10 Categorie topografiche*

Per gli interventi in zona d'alveo e per il manufatto di collegamento fra galleria e Torrente Torbella il contesto è pianeggiante con inclinazione media non >15°, compatibilmente con una categoria topografica tipo T1 cui corrisponde un Coefficiente di amplificazione topografica (ST) pari a ST = 1,00 come da figura 9.11. Per gli interventi in zona opera di presa e sullo sbocco della galleria si considera una categoria topografica T2 per la presenza di un pendio con inclinazione media >15°, come da carta delle microzone omogenee in chiave sismica del PUC, con ST=1,20.

Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica* $S_T$

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento | $S_T$ |
|---|---|---|
| T1 | - | 1,0 |
| T2 | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2 |
| T3 | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30° | 1,2 |
| T4 | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30° | 1,4 |

*Figura 9.11 Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica*

## 9.3 Liquefazione

La presenza di terreni granulari richiede alcuni commenti circa la possibilità o meno di sviluppo di fenomeni di liquefazione durante eventuali attività sismiche. La liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo, durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

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

L'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/02/2018, indica al punto 7.11.3.4.2 che le verifiche alla liquefazione per le opere possono essere omesse quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero inferiori a 0.1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e per strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30, dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata attraverso le prove SPT, normalizzata ad una tensione efficace di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna all'ambito dei fusi forniti nella fig. 7.11.1 delle NTC 2018.

Nel caso in argomento, in linea peraltro con la modesta pericolosità sismica dell'area, è possibile escludere il rischio di liquefazione in quanto le accelerazioni massime attese a piano campagna sono inferiori, in condizioni di campo libero e in assenza di amplificazione stratigrafica e topografica, a 0.1 g, i terreni del substrato e/o copertura hanno composizione lapidea e/o mostrano una percentuale di materiale fine significativa, ed i depositi alluvionali sono francamente granulari e grossolani.

## 9.4 Sorgenti sismogenetiche e capaci

Il database DISS contiene l'elenco delle sorgenti sismogenetiche individuali e composite ritenute in grado di generare grandi terremoti. Dall'esame di questo database le sorgenti sismogenetiche più vicine al

territorio di Genova sono la sorgente "Imperia Promontory (ITCS022)" con Mw massima 6,6, e la sorgente "Lunigiana (ITCS026)" con Mw massima 6,0 le quali, rimanendo ad est ed a significativa distanza dal territorio cittadino, confermano la modesta pericolosità sismica del genovese.

Attraverso la consultazione del database ITHACA è stata esclusa a livello di area vasta la presenza di faglie capaci, ovvero in grado di creare deformazioni in superficie e produrre fenomeni distruttivi per l'attività antropica.

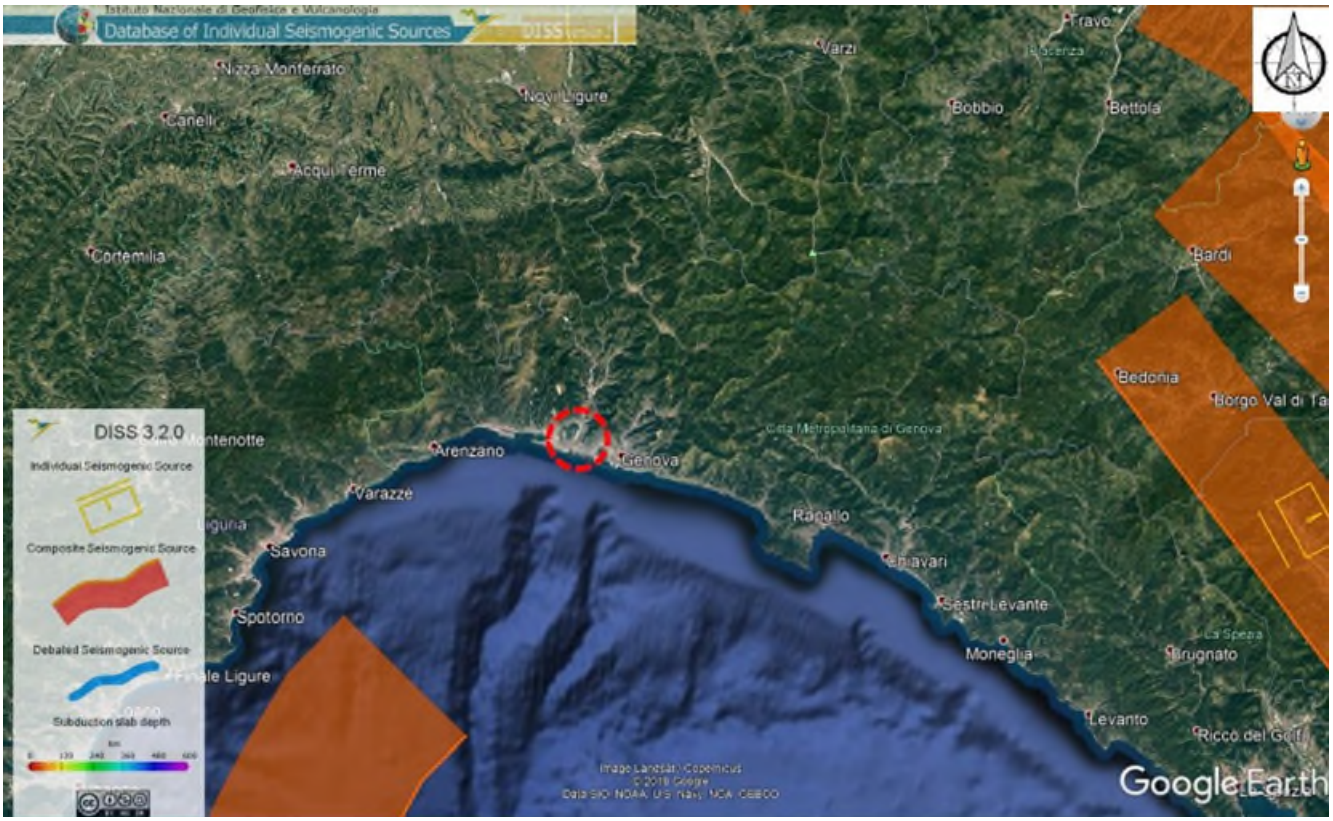



*Figura 9.12 Schermata del database DISS centrata su Genova*

# 10. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per lo sviluppo della progettazione e per la redazione della relazione geologica in una prima fase si è fatto riferimento agli esiti di indagini pregresse disponibili ubicate nelle immediate vicinanze dell'area d'intervento e ricadenti nei medesimi terreni. Sulla base del quadro disponibile, e della tipologia di opere previste, in prospettiva dello sviluppo della progettazione definitiva si è pianificata una specifica campagna geognostica e geotecnica di approfondimento la quale, ottenute le autorizzazioni per l'accesso alle proprietà private, è stata eseguita a cavallo dei mesi di febbraio - marzo 2022.

I capitoli e paragrafi seguenti riepilogano caratteristiche e risultati delle indagini in parola.

La planimetria ubicazione indagini allegata al progetto riporta sia le indagini pregresse sia quelle eseguite in fase di progettazione nel corso dei primi mesi del 2022.

## 10.1 Indagini pregresse

Per le indagini pregresse si è fatto riferimento alle seguenti fonti:

- Progetto esecutivo di 1° livello del Viadotto Polcevera, comprensivo della relazione geologica redatta da W. Rivola nel febbraio 2019;
- Progetto definitivo di adeguamento del sistema A7 - A10 - A12 del nodo autostradale di Genova, comprensivo della Relazione geomeccanica delle gallerie naturali ad est del Torrente Polcevera;
- Carta delle indagini geognostiche consultabile attraverso il Geoportale Regionale;
- Piano di caratterizzazione e messa in sicurezza del sito di Via Piombelli.

### 10.1.1 Progetto esecutivo del Viadotto Polcevera

Il nuovo viadotto autostradale sul Fiume Polcevera si trova circa 1.000 m a valle rispetto all'immissione del Torrente Torbella nel Torrente Polcevera, ed interessa un contesto geologico sostanzialmente analogo. Nei sondaggi geognostici eseguiti in fase di progettazione esecutiva del viadotto è stata spesso intercettata la Formazione di Montanesi in facies di argilliti compatte e litoidi variamente fratturate. Le fratture sono a luoghi ricementate con calcite o con riempimento limoso argilloso. Sono presenti livelli cataclasitici di spessore da decimetrico a metrico ed una coltre di alterazione, in prossimità della superficie, dello spessore medio di 4 m. Le fratture sono da chiuse a moderatamente aperte, con forma piana o ondulata, a riempimento limoso o assente. I valori di RQD sono nel range 25-50% nella parte alterata fino a 60-70% in profondità, ma pur sempre con fasce a maggiore fratturazione di spessore metrico (valore di riferimento 4 m) che si attestano attorno ad un RQD= 25%.

Prove di permeabilità tipo Lugeon nella Formazione di Montanesi convergono verso valori medi di k= $10^{-8}$ m/s. Per contro nell'unità di Ronco la permeabilità è stata misurata tramite prove Lefranc, a testimonianza di un minore comportamento lapideo, risulta più elevata, attorno a $10^{-6}$ m/s.

Le alluvioni del Polcevera, a valle dell'immissione del Torrente Torbella, sono composte da ghiaie poligeniche da sub angolose ad arrotondate in matrice sabbioso limosa o sabbioso argillosa per spessori nell'ordine di 30-40 m; verso il basso sono presenti intercalazioni di materiali fini. Nelle rilevazioni effettuate

fra gennaio e febbraio 2019 la falda staziona attorno alla profondità di 4-5 m da p.c.. La permeabilità da prove Lefranc varia nel campo K= $10^{-3}$ – $10^{-5}$ m/s.

### 10.1.2 Progetto definitivo del nodo autostradale di Genova

Le indagini geologiche e geomeccaniche eseguite per la *Gronda di Ponente – Riqualificazione A10 e potenziamento A7 e A12 - Progetto Definitivo delle gallerie naturali ed opere in sotterraneo ad est del Polcevera*, (relazione geomeccanica del febbraio 2011) entrano maggiormente nel dettaglio della caratterizzazione e classificazione degli ammassi rocciosi. Tali indagini sono rappresentate da rilievi geomeccanici di campo in corrispondenza delle diverse unità litologiche, sondaggi a carotaggio continuo di profondità variabile fra 25m e 300m con prove dilatometriche e Lugeon in foro, prelievo di campioni per esecuzione di prove di compressione monoassiale e triassiale in laboratorio.

I risultati delle indagini eseguite nelle Argilliti di Montanesi sono qui di seguito brevemente riepilogati:

- Peso di volume $\gamma$ = 26,5 kN/mc;
- Contenuto di CaCO3 ottenuto da calcimetrie = 15%-55%
- Resistenza a compressione semplice $\sigma c$ = 19,5 Mpa e più in generale compresa nel range 16-23 Mpa;
- Esiste una buona correlazione fra i contenuti di CaCO3 e la resistenza a compressione delle diverse unità litologiche;
- Indice di Hoeck mi = 6;
- Geological Strenght Index GSI = 25 e più in genere compreso fra 20 – 30;
- Modulo di deformabilità ottenuto da prove dilatometriche in foro E = 1.900 Mpa, relativo ad un range variabile fra 1.200 e 2.700 Mpa circa.




*Figura 10.1 Canale di gronda. Sondaggio M17 nella Argilliti di Montanesi*

Per le zone di faglia vengono forniti i seguenti valori:

- Peso di volume $\gamma$ = 22,0 kN/mc;
- Resistenza a compressione semplice $\sigma c$ = 5 Mpa e più in generale compresa nel range 3,4-6,6 Mpa;
- Indice di Hoeck mi = 5;
- Geological Strenght Index GSI = 20 e più in genere compreso fra 16 – 24;

Le prove hanno evidenziato una diminuzione della resistenza della roccia all'aumentare del tempo di impregnazione in acqua. Tale comportamento conferma la potenziale alterabilità dell'argillite.

Numerose prove dilatometriche in foro hanno permesso di ottimizzare l'attribuzione del modulo di deformabilità evidenziando un incremento dei valori con il livello di carico, indice di un ammasso allentato che si irrigidisce quando viene caricato. In questi casi si trascura il risultato della prova al primo ciclo di carico ed il valore del modulo elastico è quello massimo ottenibile, spesso prossimo a quello misurabile su un campione di roccia intatta, ed è ben rappresentato dal risultato ottenuto al secondo ciclo di carico. I valori medi, minimo e massimo sono quelli elencati in precedenza.

La permeabilità delle argilliti di Montanesi viene ascritta a valori nell'ordine o inferiori a K = $10^{-8}$ m/s, mentre alla Formazione di Ronco viene attribuito un range fra $10^{-6}$ – $10^{-8}$ m/s.

Le rocce appartenenti alle unità geologiche flyschioidi, e con esse le argilliti della Formazione di Montanesi, sono attribuibili alla categoria dei terreni strutturalmente complessi. Sono materiali che già alla scala del campione impiegato per le prove di laboratorio palesano eterogeneità e discontinuità diverse per forma e caratteristiche. Queste macrostrutture influenzano in modo determinante il comportamento meccanico dei materiali rendendo più difficile definirne le caratteristiche attraverso parametri di valore oggettivo. Pertanto, i terreni strutturalmente complessi costituiscono una categoria particolare di materiali naturali con una specifica collocazione geotecnica (Esu 1977). Le principali cause di questa complessità possono essere individuate nella natura eterogenea e discontinua dei depositi sia alla scala del campione che dei comuni problemi di ingegneria. Geologicamente alle formazioni strutturalmente complesse possono ascriversi proprio le unità torbiditiche che caratterizzano l'area in studio, intendendo con tale termine sedimenti di mare profondo trasportati ed accumulati per correnti di torbida al piede della scarpata continentale dove formano ampi conoidi e canyon incisi. Le loro caratteristiche possono variare in funzione della forma e dimensione del bacino, durata delle condizioni di bacino subsidente, velocità di subsidenza, natura e tipologia dell'apporto terrigeno. Le caratteristiche comuni sono la stratificazione gradata, la presenza di alternanze di materiali fini e grossolani, intercalazioni a struttura caotica per frane e slump sottomarini, e spesso una struttura e una giacitura profondamente modificate per effetto delle deformazioni tettoniche successive, tanto da risultare in alcuni casi irriconoscibile.

La classificazione delle formazioni torbiditiche presentata dall'AGI al IV congresso Internazionale di meccanica delle Rocce nel 1979 distingueva tre gruppi:

- Formazioni arenaceo pelitiche;
- Formazioni calcareo pelitiche;
- Formazioni pelitiche, come nel caso dell'unità di Montanesi oggetto di studio.

Il componente pelitico può comportarsi a seconda della forza dei legami diagenetici come un'argilla più o meno diageneizzata o come un vero e proprio argilloscisto oppure, a causa del suo disorientamento, può conferire un comportamento fortemente anisotropo all'ammasso. Gli stress tettonici subiti possono infatti aver modificato la struttura originaria creando strutture secondarie (fratturazione, taglio ecc) sovrapposte a quelle originarie. In alcuni casi le deformazioni possono essere state tanto intense da dare luogo a zone di taglio e disturbo tettonico che appaiono come masse argillose inglobanti frammenti e blocchi litoidi.

La documentazione a corredo del progetto delle gallerie ad est del Polcevera fa anche ampio riferimento agli studi ed alle esperienze maturate nell'ambito dei lavori di costruzione delle gallerie realizzate in passato per unire la pianura padana e il porto di Genova, sulle quali si manifestarono significativi problemi realizzativi e importanti deformazioni degli scavi. Deformazioni che, stando a quanto evidenziato nella relazione geomeccanica del progetto definitivo delle gallerie di Gronda, in seno alle unità argillitiche e per scavi aventi dimensioni compatibili con gallerie stradali e ferroviarie, possono registrarsi in presenza di coperture superiori a 100-150 m, che scendono a coperture superiori a 50 m considerando, nella peggiore delle ipotesi, i valori caratteristici inferiori degli ammassi rocciosi. Condizioni queste che nella galleria idraulica del Rio Maltempo si ritiene non sussistano sia per le dimensioni del cavo significativamente più ridotte, sia per le coperture (valore massimo 75 m, che scendono a 25m nell'ambito dei valori caratteristici inferiori). In corso d'opera si è inoltre constatato come la conoscenza di queste possibili deformazioni acquisita dalle sperienze passate, e un approccio costruttivo con il metodo ADECO-RS mediante interventi di preconsolidamento al fronte, abbia permesso lo scavo di gallerie ferroviarie con sezioni da oltre 140 mq, a piena sezione ed in assenza di deformazioni significative, pur in formazioni argillitiche strutturalmente complesse.

### 10.1.3 Geoportale Regionale

Attraverso il Geoportale Regionale è possibile consultare la documentazione geognostica relativa a indagini pregresse (prevalentemente sondaggi) le quali costituiscono un ottimo data base informativo di partenza. Nel caso delle aree in studio in tabella 10.1 e nella planimetria ubicazione indagini di progetto sono elencate le verticali geognostiche più significative per le quali si dispone della stratigrafia dei terreni attraversati.

Le ubicazioni dei sondaggi reperiti nel geoportale sono rappresentate anche in figura 10.2.

Le stratigrafie dei sondaggi di tabella 10.1 sono allegate alla documentazione contenente i risultati delle indagini geognostiche.



*Figura 10.2 Stralcio Carta indagini geognostiche della Liguria (fonte: geoportale regionale) con ubicazione dei sondaggi disponibili. La linea tratteggiata rossa rappresenta il tracciato della galleria idraulica*

| Banca dati ambiente Liguria | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Sondaggio | Profondità (m) | Ubicazione | Prove in sito | Litologia | Falda (m da p.c.) |
| 10317 | 15 | Alta sponda destra Rio Maltempo | SPT | 0-5m Colluvioni. Da 5-7m argilloscisti alterati. Da 7 a 15 m argilloscisti fratturati con intercalazioni arenacee | 9,6 |
| 12492 | 2,5 | Via Piombelli | No | Da 0-0,4 m manufatto. Da 0,4 a 2,5 m argilliti | - |
| 11005 | 12 | Via Piombelli | No | Da 0-1,3 riporto. Da 1,3 a 2 argilliti alterate. Da 2 a 12 m argillisti scistose tettonizzate, consistenti, a giacitura inclinata | - |
| 8841 | 4 | Sponda sinistra Polcevera | No | Alluvioni ghiaioso sabbiose | - |
| 9685 | 25 | Sponda sinistra Polcevera | SPT | Alluvioni ghiaioso sabbiose passanti a 18,7 m da p.c. a sabbie limose | 1,6 |
| 11580 | 20 | Torbella sinistra idrografica | No | Da 0-17,5 ghiaie sabbiose. Da 17,5 a 20 m argille | - |
| 11006 | 15 | Torbella destra idrografica | No | Da 0-5,5 riporto. Da 5,5 a 9,1 ghiaie sabbiose. Da 9,1 a 15 m limi sabbiosi | - |
| 11007 | 25,5 | Destra Torbella | No | da 0-6,2 limi sabbiosi. Da 6,2 a 21,5 ghiaie sabbiose. Da 21,5 a 25,5 argilliti scistose nere a giiacitura inclinata | - |

*Tabella 10.1 Riepilogo sondaggi significativi estratti dal geoportale regionale*

Sul Torrente Torbella i sondaggi disponibili evidenziano la presenza di depositi alluvionali per spessori da plurimetrici sino a decametrici (oltre 20-25 m da p.c.) con i valori massimi attesi in prossimità del Polcevera; la granulometria è prevalentemente ghiaioso sabbiosa anche se non mancano locali orizzonti sabbioso

limosi o limoso sabbiosi oltre le profondità di 10-20 m da p.c. Il substrato, rilevato solo nelle indagini più decentrate rispetto all'alveo stesso, è rappresentato da argilliti scistose a giacitura inclinata della Formazione di Montanesi, fratturate, con una coltre di alterazione dello spessore di 1-2 m. Un'unica rilevazione di falda in sinistra del Torbella alla confluenza con il Polcevera rileva una soggiacenza di 1,6 m nel mese di febbraio; un valore che può essere correlato con una condizione invernale intermedia fra massimo e minimo.

Lungo via Piombelli i sondaggi, probabilmente decentrati rispetto all'originaria posizione dell'alveo del Rio Maltempo (qui tombato) riscontrano le argilliti già entro il primo metro di profondità, compatibilmente con alcuni piccoli affioramenti visibili a monte della stessa strada. La roccia ha una struttura descritta come scistosa e tettonizzata; la giacitura è inclinata.

In zona collinare si dispone del solo sondaggio 10317 che ricade a margine dell'autostrada ed a monte del tracciato della galleria idraulica. Riporta uno spessore di alcuni metri di materiale interpretabile come una coltre colluviale, o come la porzione superficiale maggiormente alterata del substrato, in appoggio su argilliti (qui descritte come argilloscisti) alterate, friabili e sfaldabili. Da 7 m da p.c. sono argilliti fratturate facilmente sfaldabili con intercalazioni arenacee (Formazione di Montanesi). Viene rilevata una falda a 9,7 m da p.c. Si conferma la modesta soggiacenza del substrato roccioso e la natura argillitica della roccia caratterizzata, come rilevabile anche in affioramento, da una struttura sfaldabile a scaglie minute, pur se a consistenza lapidea, una giacitura inclinata (come osservabile in affioramento e in altri sondaggi) ed un buon grado di fratturazione e/o deformazione.

Altre indagini pur rappresentate nella planimetria del geoportale non forniscono alcuna utile informazione stratigrafica.

### 10.1.4 Piano di caratterizzazione e messa in sicurezza del sito di Via Piombelli

In prossimità di una ben circoscritta area privata di circa 5.500 mq posta immediatamente a valle del viadotto autostradale e dell'opera di presa è stato riscontrato, negli anni '90, un deposito incontrollato di rifiuti solidi urbani e pericolosi, fra cui anche centinaia di fusti contenenti morchie di vernici. Il tutto in assenza di dispositivi e/o presidi di isolamento nei confronti della percolazione e dilavamento delle acque superficiali.

A seguito delle inottemperanze dei proprietari a procedere con la rimozione il Comune di Genova ha incaricato AMIU di intervenire. Nell'ambito del piano di caratterizzazione ambientale e per la definizione degli interventi di messa in sicurezza di emergenza sono state eseguite, prevalentemente fra gli anni 2000 e 2005, dettagliate indagini geognostiche ed ambientali consistenti in:

- Rilievi topografici;
- Indagini geofisiche con stese elettromagnetiche, prospezioni geoelettriche e sismiche a rifrazione;
- Sondaggi a carotaggio continuo, alcuni dei quali attrezzati con piezometro o inclinometro;
- Analisi chimiche su campioni di suolo e prelevati dai sondaggi.

Per quanto risulta dalla nutrita documentazione messa a disposizione dalla Direzione Ambiente – Ufficio Bonifiche – del Comune di Genova, il sito risulta essere un'area ricavata artificialmente, all'epoca di

costruzione dell'autostrada, mediante il riempimento con materiale di risulta dell'incisione del Rio Maltempo, la cui interferenza è stata risolta mediante una tombinatura.

Già i sopralluoghi e le operazioni di sgombero avevano riscontrato una contaminazione degli strati superficiali e subsuperficiali, oltre alla presenza di rifiuti ingombranti quali legno e ferro, numerosi fusti abbandonati in superficie ed altri probabilmente interrati. Non potendo reperire i proprietari le indagini e la messa in sicurezza dell'area sono state oggetto di un apposito finanziamento ottenuto dalla Regione Liguria. Nell'ambito degli interventi eseguiti è stata realizzata una rete di intercettazione ed allontanamento delle acque superficiali, è stata canalizzata e deviata una modesta emergenza idrica presente in superficie, sono state predisposte aree impermeabilizzate per lo stoccaggio temporaneo dei rifiuti successivamente allontanati, è stata condotta un'operazione di sfalcio e pulizia generale, ed è stata predisposta una viabilità di cantiere.

Il rilievo topografico ha restituito lo stato dei luoghi a scala 1:500, su cui sono state ubicate le indagini previste ed eseguite.

Le stese elettromagnetiche e le prospezioni geoelettriche (3 longitudinali e 5 trasversali) hanno evidenziato anomalie conduttive compatibili con conduttori associabili a fusti metallici interrati, o volumi impregnati da fluidi conduttivi. Da quanto si è potuto appurare tali rifiuti interrati non sono stati allontanati.

Le traverse sismiche a rifrazione, tarate su 3 stendimenti per complessivi 227 m (2 trasversali ed uno longitudinale) hanno rilevato un orizzonte superficiale di materiale poco addensato con velocità delle onde sismiche fra 200-600 m potente mediamente 4-7 m, cui segue un secondo rifrattore più addensato con velocità 1000-1400 m/s, ed infine il substrato roccioso con velocità delle onde sismiche variabile da 1600 a oltre 3000 m/s a profondità variabili fra 9-15 m da p.c. Il primo orizzonte è attribuito a materiale di riporto assai poco addensato e/o rimaneggiato, il secondo a materiale di riporto ben addensato, o ad una coltre colluviale, o ancora ad una coltre di alterazione del sottostante substrato roccioso. Quest'ultimo alterna zone relativamente poco fratturate con velocità delle onde sismiche anche elevate (3.000 – 3.500 m/s) ad altre evidentemente più fratturate ed alterate dove le velocità delle onde sismiche scendono a 1.600 m/s.

In figura 10.3 l'ubicazione delle traverse sismiche; in alto nella figura è rappresentato il viadotto autostradale.

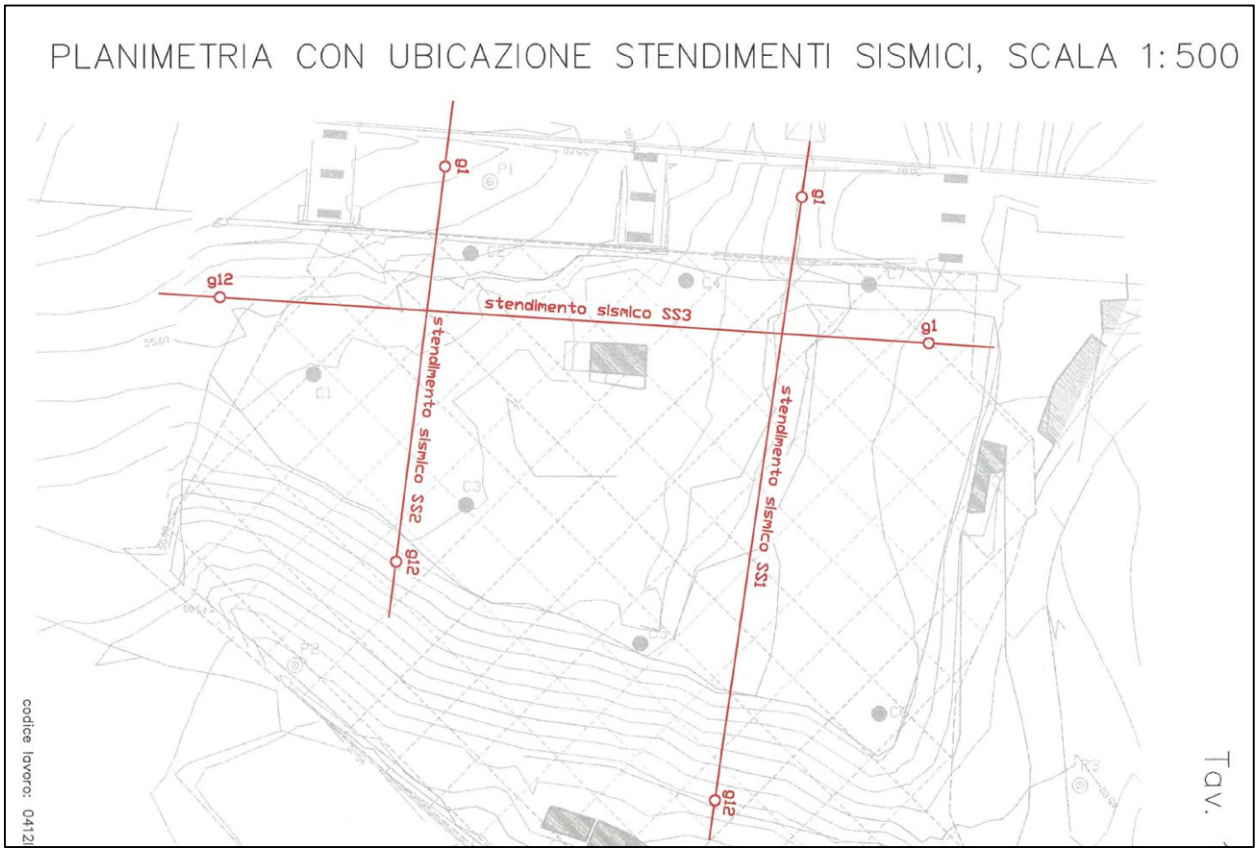



*Figura 10.3 Ubicazione delle traverse sismiche (Piano di caratterizzazione Via Piombelli)*

I sondaggi sono stati eseguiti in più fasi e in numero non inferiore a 10. Le profondità raggiunte variano fra 10-13,5 m da p.c.; le perforazioni sono state interrotte una volta raggiunto il substrato roccioso. Dalle stratigrafie risulta la presenza di un materiale di riporto sabbioso ghiaioso con blocchi di calcare avente spessore variabile fra 8-12 m e, nella zona nord, quella che è stata interpretata come una coltre colluviale senza però escludere che anch'essa possa essere composta, tutta o in parte, da materiale rimaneggiato e/o riportato. Il tetto del substrato roccioso si trova fra le profondità di 9-13 m da p.c., il che corrisponde ad una quota variabile fra 38 m slm e 43 m slm. Nei piezometri installati non è stata rilevata una falda confermando la sostanziale impermeabilità e l'assenza di una significativa circolazione idrica all'interno del substrato argillitico (riferimento :Relazione di sintesi delle indagini ambientali del febbraio 2006). I valori di permeabilità desunti dalle prove Lefranc eseguite sono bassi e compresi fra $10^{-6}$ e $10^{-8}$ m/s (è disponibile una sintesi dei valori di permeabilità, ma non sono indicati terreni e profondità di esecuzione di queste prove, che per la tipologia possiamo ipotizzare siano state eseguite nei terreni di copertura). Risulta siano stati installati anche due inclinometri, le cui misure disponibili non sono protratte per tempi sufficienti a fornire una valutazione sull'effettiva deformazione subita dagli strumenti. Non sono state reperite prove di laboratorio geotecnico sui terreni.

In figura 10.4 si riporta l'ubicazione dei sondaggi con la ricostruzione della quota del tetto del substrato roccioso così come risulta dalla documentazione consultata.

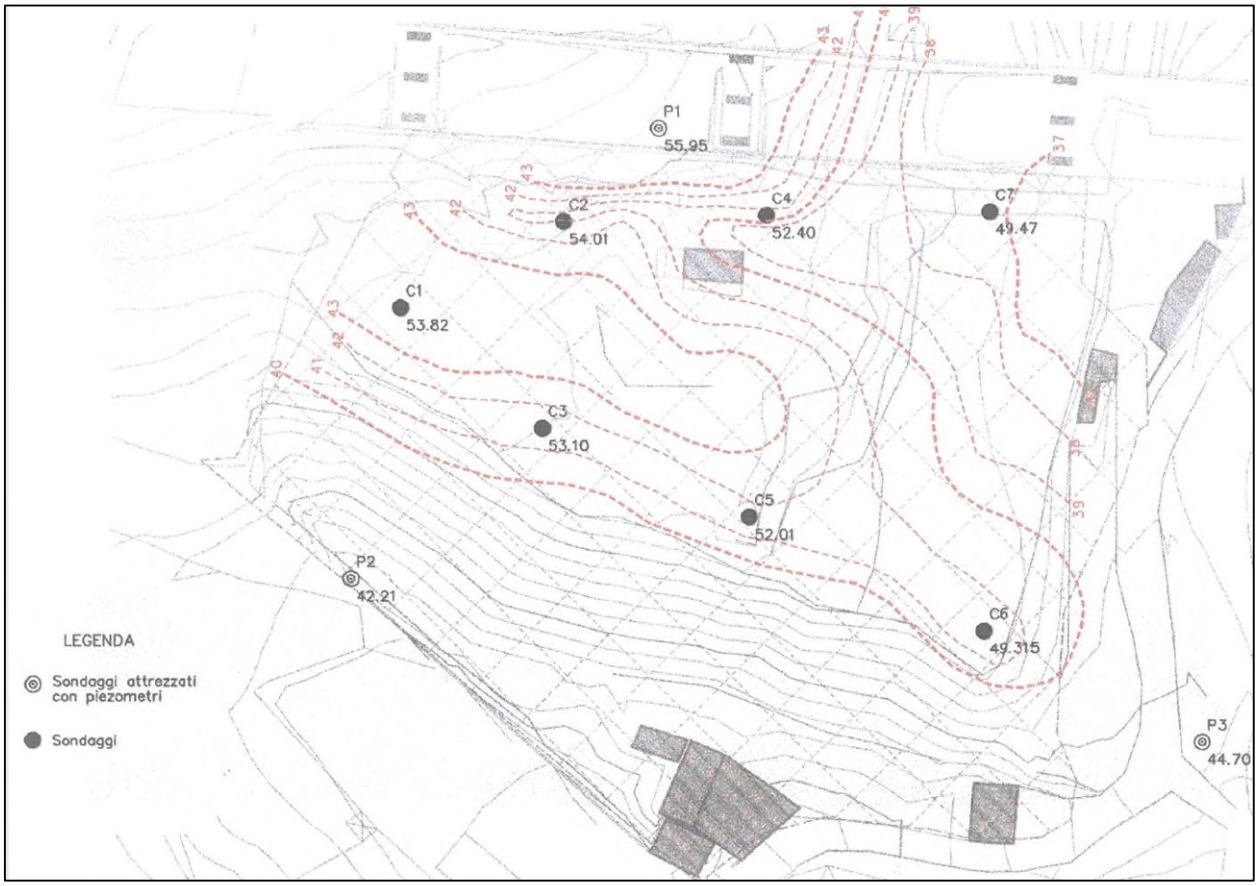



*Figura 10.4 Ubicazione sondaggi e ricostruzione del tetto del substrato (Piano di caratterizzazione Via Piombelli)*

Le analisi chimiche sui terreni hanno evidenziato superamenti di colonna A dei metalli (specie Cadmio, Piombo, Zinco, Rame) in quasi tutti i campioni, e il superamento di colonna B in un numero di campioni assai più contenuto. Tenuto conto dei valori di concentrazione limite accettabile per terreni a destinazione residenziale il volume di terreno contaminato è stimato in 44.000 mc, che scendono a 15.000 mc con riferimento ad una destinazione d'uso commerciale - industriale.

Non è stata rilevata una contaminazione delle acque superficiali, e vengono esclusi fenomeni di inquinamento del Rio Maltempo derivanti dal sito di Via Piombelli. Le analisi sugli eluati rilevano una scarsa tendenza alla mobilità delle specie presenti, avvalorando l'ipotesi di un inquinamento di vecchia data in assenza di falda (riferimento: Relazione di sintesi delle indagini ambientali).

I riscontri delle indagini descritte in questo paragrafo sono ben in linea con gli esiti dei rilievi di campagna effettuati dallo scrivente progettista, durante i quali si è constatata la presenza di materiale di riporto che occlude l'alveo in massima parte poggiato direttamente sul substrato roccioso, con una possibile e locale interposizione di una coltre colluviale.

All'altezza dell'opera di presa, dove il fondo alveo del Rio Maltempo si attesta circa fra le quote 37-41 m slm, il substrato roccioso è osservabile in affioramento in più punti. La galleria idraulica interferisce planimetricamente per un breve tratto con l'area di discarica non autorizzata (vedi carta geomorfologica e carta ubicazione indagini di progetto), ma altimetricamente si mantiene ad una quota inferiore a 25,00 m

slm rimanendo quindi nel substrato roccioso a ridotta permeabilità, e garantendo una copertura minima di oltre 10 m di roccia sui materiali sciolti coinvolti dall'attività di discarica incontrollata.

Il perimetro della discarica incontrollata è indicato nella carta ubicazione indagini e nella carta geomorfologica di progetto. I risultati delle traverse sismiche di figura 10.3 e le stratigrafie dei sondaggi di figura 10.4 sono allegate alla documentazione sulle indagini geognostiche. Si è ritenuto superfluo inserire in questo documento anche i risultati delle prospezioni elettromagnetiche e geoelettriche in quanto più finalizzate ad una caratterizzazione ambientale e meno significative, al di la delle informazioni riepilogate in questo testo, per gli aspetti geologici e tecnici.

## 10.2 Indagini geognostiche di progetto

Le indagini geognostiche per lo sviluppo della progettazione sono descritte nei paragrafi seguenti e comprendono:

- Rilievi geologici di campo;
- Sondaggi a carotaggio continuo con prove in sito e prelievo di campioni;
- Prove di laboratorio su campioni;
- Indagini geofisiche;
- Pozzetti esplorativi in alveo e in corrispondenza dei manufatti di attraversamento.

I sondaggi con annesse prove in sito e di laboratorio, le indagini geofisiche ed i pozzetti esplorativi sono stati eseguiti dalla ditta TecnoIn di Milano nel periodo compreso fra febbraio e marzo 2022 con la direzione tecnica del gruppo di progettazione.

### 10.2.1 Rilievi geologici di campagna

Preliminarmente all'avvio dei sondaggi sono stati condotti, direttamente dallo scrivente, rilievi geologici e geomeccanici di campagna volti a verificare la cartografia geologica, geomorfologica ed idrogeologica disponibile, e più in generale ad approfondire la conoscenza del modello geologico di riferimento. Con l'occasione si è anche verificata l'accessibilità delle aree ai mezzi d'indagine.

I rilievi di campo hanno riscontrato diffuse condizioni di subaffioramento del substrato roccioso in facies di argilliti appartenenti alla Formazione di Montanesi, in buona coerenza con la carta geomorfologica del PUC che indica pressochè generalizzate coperture aventi spessore 0,5 – 3 m. E' stato inoltre possibile riscontrare diversi piccoli affioramenti, spesso non cartografabili, lungo ed attorno alla galleria idraulica (specie nel settore più prossimo al Torbella) in corrispondenza delle incisioni torrentizie, di scavi e sbancamenti antropici o a margine della viabilità. La roccia affiora spesso anche sul fondovalle del Rio Maltempo in corrispondenza ed a monte dell'opera di presa, e lungo ambo i fianchi vallivi al di sotto di una copertura di sfasciume della roccia in posto mista a materiale terroso di spessore decimetrico o pluridecimetrico. Affiora anche in prossimità dello sbocco della galleria idraulica a monte di Via Fasciotti.

La roccia è costituita da argilliti emipelagiche e argilliti siltose da grigio scuro a nere in strati da centimetrici a pluri-decimetrici spesso poco evidenti, con subordinate intercalazioni di arenarie siltose fini laminate grigie, di spessore da centimetrico a pluri-centimetrico, e locali vene di quarzo di spessore centimetrico. Frequentemente la struttura appare fortemente deformata per effetto delle sollecitazioni tettoniche subite in ambiente prevalentemente duttile; a causa di ciò la stratificazione risulta sovente poco riconoscibile a discapito di una fitta laminazione pervasiva che caratterizza l'intero ammasso. Localmente si osserva una pseudo stratificazione indotta da pieghe isoclinali strizzate a piccolo raggio con interruzione della continuità degli strati arenacei. Dove la giacitura è visibile essa dirige verso Est o Sud Est con immersione di 40°-60°, in coerenza con la cartografia geologica da fonte bibliografica. Tendenzialmente nel corso dei rilievi di campo, e fermo restando l'estrema variabilità e complessità che caratterizza questa unità, si nota un incremento del grado di fratturazione procedendo dalla porzione inferiore dell'unità di Montanesi verso quella superiore (dallo sbocco della galleria verso l'opera di presa, per intendersi) anche questo in coerenza con la bibliografia geologica che pone una superficie di contatto tettonico al passaggio con la sovrastante Formazione di Ronco. La stessa bibliografia non segnala la presenza di faglie in seno a questa unità, ed alle altre unità torbiditiche in genere. Ciò non deve trarre in inganno perché queste rocce sono state coinvolte da fenomeni tettonici molto spinti e soggette a sovrascorrimenti interni tali per cui un loro elemento caratterizzante è proprio la presenza di zone e fasce di intensa deformazione, di fratturazione sino ad accavallamento tettonico, che similmente a quanto sopra descritto tendono ad aumentare verso il tetto dell'unità. A conferma di ciò nella zona del Rio Maltempo le giaciture, pur se difficilmente rilevabili in quanto esposte su affioramenti di ridotte dimensioni parzialmente occultati da vegetazione e sfasciume, sono maggiormente disperse ed inclinate con immersioni sino a 60-80°.

Le fratture sono spesso parallele ai piani di foliazione che evidentemente costituiscono zone di debolezza ma non mancano, anche se con frequenza decisamente minore, fratture ad essi perpendicolari. Sono inoltre lisce, lucide, ondulate o planari, chiuse o moderatamente aperte, prive di riempimento, con riempimento limoso o più raramente quarzoso, solo talvolta carbonatico.



*Figura 10.5 A sinistra argilliti con struttura fissile e noduli di quarzo affioranti in asse galleria. A destra argilliti lungo la sponda destra del Rio Maltempo in zona opera di presa*

L'ammasso è caratterizzato da una foliazione di aspetto scaglioso con marcata fissilità che di fatto separa la roccia in lastrine lucenti e tenaci. Il volume roccioso unitario atteso è quindi sempre modesto. Sul terreno le superfici di laminazione evidenziano una ossidazione con sviluppo di patine limoso argillose. La

pedogenesi determina una coltre di alterazione che si spinge sino a 4-6 m di profondità; in tale ambito l'ammasso si presenta fortemente degradato, a tratti argillificato inglobante nuclei lapidei, con consistenza progressivamente crescente verso il basso. Il passaggio fra la porzione alterata e quella sana è solitamente abbastanza netto.

Da via Fasciotti verso valle le opere interessano i depositi alluvionali a composizione granulare del Torrente Torbella. Trattasi di ciottoli anche grossolani con ghiaie e sabbie in debole matrice limosa. Localmente al piede del versante possono inglobare coltri colluviali e/o accumuli di frana composti da argilliti fortemente alterate e quasi completamente argillificate con frammisti elementi e blocchi lapidei eterometrici.



*Figura 10.6 Alveo del Torrente Torbella a valle dello sbocco della galleria idraulica*

La cartografia geologico tecnico di bacino individua una media suscettività al dissesto ma non evidenzia la presenza di frane, se non a monte dell'opera di presa ed esternamente alle aree di stretta competenza progettuale. Trattasi di frane superficiali tipo soil slip o di scivolamento che coinvolgono le coltri di copertura, spingendosi talvolta fino al tetto (porzione alterata) del substrato argillitico alterato, in appoggio sul sottostante substrato litoide. Le cause predisponenti tali instabilità sono da imputarsi alla natura dei terreni, alle elevate pendenze naturali, ad una locale minore vegetazione erbacea ed arborea. La causa scatenante è quasi sempre individuabile in fenomeni meteorici molto intensi e prolungati; una volta che il dissesto si è innescato la vegetazione inizia un lento processo di ricolonizzazione il quale, in assenza di ulteriori evoluzioni negative, col tempo può portare ad una progressiva stabilizzazione.

Una frana tipo soil slip è rilevabile a margine di Via Fasciotti, circa 70-80 m a nord rispetto allo sbocco della galleria. Trattasi di uno smottamento di materiale detritico colluviale poggiante sul substrato roccioso, che ha probabilmente coinvolto anche la porzione alterata dello stesso substrato. È stato messo in sicurezza attraverso una copertura in geosintetico per proteggerlo dalle acque meteoriche, integrata da un sistema di chiodi e reticolo di funi (vedi foto). Pur non interferendo e non condizionando i lavori la sua presenza sta a sottolineare la cautela necessaria nell'apertura e gestione di scavi a lungo termine non adeguatamente

e preventivamente sostenuti. Tale cautela vale chiaramente per le coltri di copertura ma, per effetto del ridotto volume unitario e dell'alterabilità nel tempo, va estesa anche alla formazione argillitica.



*Figura 10.7 Dissesto con intervento di messa in sicurezza in Via Fasciotti a nord dello sbocco della galleria idraulica*

Una seconda frana tipo soil slip, che interessa materiale colluviale in appoggio sul substrato argillitico esposto lungo un versante molto ripido, è visibile a valle dell'opera di presa in sinistra idraulica del Rio Maltempo (vedi foto). Il suo innesco si ritiene sia dovuto ad un evento meteorico intenso e ad una non corretta gestione delle acque ruscellanti lungo la viabilità a monte. L'asportazione della vegetazione espone l'area ad una possibile evoluzione areale del dissesto, il quale può essere messo in sicurezza allontanando le acque di scorrimento, provvedendo ad una rivegetazione meglio se con l'impiego di specie a radicazione profonda, un rivestimento antierosione tipo tenax Multimat o similare, ed una rete con chiodi e reticolo di funi. Questa perimetrazione in ogni caso non interferisce in alcun modo con le opere in progetto (che rimangono a monte) ma potrebbe scaricare materiale sul sottostante alveo del Rio Maltempo.



*Figura 10.8 Dissesto in sinistra Rio Maltempo a valle dell'opera di presa*

### 10.2.2 Sondaggi a carotaggio continuo

La realizzazione ed ubicazione dei sondaggi è stata condizionata dalle scarsa accessibilità dei luoghi, dalla presenza di una viabilità stretta e con sottopassi che limitavano il transito della sonda, dalla morfologia spesso aspra e dalle numerose proprietà private. Lungo il Rio Maltempo per raggiungere i sondaggi S1-S2-S3, in particolare, a causa della ridotta sagoma dei ponti ferroviari che attraversano la viabilità locale è stato necessario scaricare la sonda già all'altezza di Via Canepari per proseguire direttamente con essa percorrendo via Piombelli. Per lo scopo ci si è dotati di una macchina con cingoli di gomma. Per eseguire il sondaggio nell'alveo del Torrente Torbella (S5) la sonda è stata calata impiegando una gru e sfruttando una rampa posta a monte (est) di Via Rossini.

Per una verifica e approfondimento del modello geologico dedotto dai rilievi in sito e dalle indagini pregresse sono stati eseguiti n° 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prelievo di campioni geotecnici indisturbati e rimaneggiati, campioni ambientali, prove in sito tipo SPT, Lefranc e/o Lugeon,. Le caratteristiche principali dei sondaggi sono riepilogate in tabella seguente.

| Sondaggi 2022 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sondaggio | Quota (mslm) | Profondità (m) | Strumentazione | Spessore depositi di copertura (m) | Tipo depositi di copertura | Substrato argillitico (RQD medio) | Campioni rimaneggiati | Campioni litoidi | Campioni indisturbati | Campioni ambientali | SPT | Lefranc | Lugeon | Falda (m da pc) | Falda (mslm) |
| S01 | 46.34 | 40 | Piezometro | 18.5 | Riporto | 30-70% | 2 | 5 | | | 0 | | 2 | 17.95 | 28.39 |
| S02 | 40.7 | 25 | Piezometro | 8 | Colluvioni | 30-60% | 2 | 4 | | 1 | 2 | | 2 | 6.5 | 34.2 |
| S03 | 52.7 | 45 | Sigillato | 8 | Colluvioni | 0-50% | 2 | 6 | | | 0 | | 2 | | |
| S04 | 23.99 | 18 | Piezometro | 18 | Colluvioni | | 6 | | 1 | 3 | 4 | 2 | 0 | 5.95 | 18.04 |
| S05 | 17.5 | 20 | Piezometro | 9 | Alluvioni | 20-50% | 2 | 4 | | 1 | 3 | 1 | 1 | 2.42 | 15.08 |

*Tabella 10.2 Sondaggi a carotaggio continuo anno 2022*

Le profondità raggiunte sono variabili fra 40 m e 18 m spingendosi, nei tratti in galleria, al di sotto delle minime quote di scavo. Ad eccezione del sondaggio S03 le perforazioni sono attrezzate con piezometro a tubo aperto per il monitoraggio dei livelli di falda nel tempo. Per una prima indicazione generale la tabella distingue lo spessore e la tipologia di deposito di copertura in appoggio sul substrato roccioso. Nelle argilliti i valori di RQD misurati sono molto variabili; in linea generale al di sotto di una coltre di alterazione di spessore variabile fra 1 m e oltre 3 m si alternano, spesso in modo casuale e non determinabile a priori, tratte con valori di RQD variabili nel campo 50-70% a tratti con RQD 20-50%, ma vi sono anche fasce di materiale completamente fratturato ad RQD 0%. L'RQD è stato misurato poco dopo l'estrazione delle carote; già a distanza di alcune settimane le stesse carote, pur conservate nelle cassette, tendevano a disarticolarsi dimostrando una alterabilità anche all'aria. Nei piezometri si sono rilevati i livelli idrici indicati in tabella in termini sia di soggiacenza che di quota; la falda staziona nei depositi di copertura al di sopra del substrato roccioso scarsamente permeabile. Nello specifico:

- Il sondaggio S1 è stato eseguito sul rilevato che sbarra il Rio Maltempo a valle dell'opera di presa e del viadotto autostradale. Attraversa 18,5 m di materiale di riporto prima di intercettare il substrato roccioso. Profondo 40 m è attrezzato con piezometro a tubo aperto.
- Il sondaggio S2 ricade in una lieve depressione morfologica (affluente in destra del Rio Maltempo) a margine della galleria idraulica. Profondo 25 m, attrezzato con piezometro, ha attraversato una coltre colluviale potente 8 m prima di raggiungere il substrato roccioso.
- Il sondaggio S3 si trova, compatibilmente con l'accessibilità delle aree, in posizione circa centrale e di maggiore copertura della galleria. Profondo 45 m riscontra una coltre colluviale di spessore 8 m, o nella peggiore delle ipotesi 14,90 m, prima di raggiungere un substrato roccioso che palesa un grado di fratturazione maggiormente elevato rispetto a quanto riscontrato nelle altre perforazioni. Diversi sono i tratti con roccia estremamente fratturata e/o ridotta in scaglie. In figura la cassetta rappresentativa della perforazione fra 40-45 m da p.c. a quota compatibile con la galleria idraulica;




*Figura 10.9 Sondaggio S03. Argilliti a quota galleria*

- Il sondaggio S4 è stato eseguito poco oltre lo sbocco della galleria, in corrispondenza dello scatolare di raccordo con il Torbella. Fra quelli eseguiti è l'unico che non raggiunge il substrato roccioso. In quest'ambito i depositi di copertura carotati sono interpretabili come materiale di riporto seguito da argilliti, marne e argille riconducibili ad un deposito colluviale o, più probabilmente, ad un antico corpo di frana. Profondo 18 m, attrezzato con piezometro, rileva una falda a circa 6 m da p.c.;
- Il sondaggio S5 è stato eseguito lungo l'alveo del Torrente Torbella in un punto accessibile alla sonda. Profondo 20 m dopo aver attraversato alluvioni grossolane raggiunge il substrato roccioso alla profondità di 9 m da p.c. (vedi figura) Tale modesta soggiacenza della roccia in posto può essere interpretata come una locale culminazione legata alla prossimità del rilievo montuoso. E' attrezzato con piezometro; la falda a marzo 2003 si attesta a 2,42 m da p.c., un valore da intendersi come intermedio fra il massimo ed il minimo impinguamento.




*Figura 10.10 Sondaggio S05. Substrato argillitico fra 10-15 m da p.c.*

### 10.2.3 Prove in sito e di laboratorio

Come riepilogato in tabella 10.3 nei depositi di copertura si sono prelevati 14 campioni rimaneggiati; per effetto della natura dei terreni e della frequente presenza di pezzame lapideo è stato possibile prelevare un unico campioni indisturbato. Sono stati prelevati altresì ulteriori 4 campioni ambientali rappresentativi dei terreni presenti in corrispondenza dello scatolare interposto fra la galleria idraulica ed il Torrente Torbella, e di quelli in alveo lungo lo stesso Torbella. Nel substrato roccioso si sono prelevati 19 campioni lapidei, oltre ad un campione ambientale rappresentativo dei terreni in galleria.

I risultati delle prove ambientali sono commentati nella relazione gestione materie.

I risultati delle prove di laboratorio geotecnico sono riepilogati in tabella 10.3. Rimandando alla relazione geotecnica per una più dettagliata disamina delle prove di caratterizzazione e dei relativi risultati, risulta che il materiale di riporto con cui è realizzato il rilevato che sbarra il corso del Rio Maltempo è composto da ghiaie sabbiose debolmente limose. Analogamente la coltre colluviale è composta da ghiaie sabbioso limose, o più raramente da sabbie ghiaioso limose o limi argillosi. Le alluvioni sono ghiaie grossolane e medie con sabbia e frazione fine assai subordinata (1-5%); sono presenti anche ciottoli che per le loro dimensioni non sono stati campionati nel corso dei sondaggi.

| Sondaggio | Campione | Unità | Prof (m) | γ (kN/mc) | W % | Porosità (%) | e | Sr (%) | Ciottoli (%) | Ghiaia (%) | Sabbia (%) | Limo % | Argilla (%) | Wl % | Wp % | Ip | Φ (°) | c' (kPa) | ELL (Mpa) | σc (Mpa) | Trazione (MP | Point Load Is50 (Mpa) | σc da Is50 (Mpa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S01 | CR01 | Riporto | 6.5 | | | | | | | 61.5 | 23.5 | 13 | 2 | 22 | 15 | 7 | | | | | | | |
| | CR01 | Riporto | 15.5 | | | | | | | 63 | 20 | 11 | 6 | 23.2 | 17.8 | 5.4 | | | | | | | |
| | CL01 | Argilliti | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.16 | 18.56 |
| | CL02 | Argilliti | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.07 | 17.12 |
| | CL03 | Argilliti | 27.5 | 25.3 | | | | | | | | | | | | | | | | 4.4 | | | |
| | CL04 | Argilliti | 32 | 27.13 | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.59 | | |
| | CL05 | Argilliti | 38 | 25.74 | | | | | | | | | | | | | | | | 7.1 | | | |
| S02 | CR01 | Colluvioni | 2 | | | | | | | 41.5 | 32.5 | 18.5 | 7.5 | | | | | | | | | | |
| | CR02 | Colluvioni | 3 | | | | | | | 45 | 23 | 21 | 11 | | | | | | | | | | |
| | CR03 | Colluvioni | | | | | | | | 53 | 29.5 | 14.5 | 3 | ND | ND | ND | | | | | | | |
| | CL01 | Argilliti | 12 | 27.38 | | | | | | | | | | | | | | | | 11.19 | | | |
| | CL02 | Argilliti | 17.5 | 25.98 | | | | | | | | | | | | | | | | 3.8 | | | |
| | CL03 | Argilliti | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.46 | 7.36 |
| | CL04 | Argilliti | 23.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.76 | 12.16 |
| S03 | CR01 | Colluvioni | 7 | | | | | | | 42 | 37 | 17 | 4 | 22.9 | 16.35 | 6.55 | | | | | | | |
| | CR02 | Colluvioni | 13 | | | | | | | 13 | 45 | 30 | 12 | 37 | 29.5 | 7.5 | | | | | | | |
| | CL01 | Argilliti | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.74 | 27.84 |
| | CL02 | Argilliti | 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.72 | 27.52 |
| | CL03 | Argilliti | 34.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.94 | 15.04 |
| | CL04 | Argilliti | 38 | 28.85 | | | | | | | | | | | | | | | | 17.59 | | | |
| | CL05 | Argilliti | 40 | 27.53 | | | | | | | | | | | | | | | | 8.7 | | | |
| | CL06 | Argilliti | 42.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.78 | 12.48 |
| S04 | CR01 | Colluvioni | 3.5 | 18.5 | 23.2 | | | | | 24.5 | 40.5 | 15 | 20 | 53.2 | 35.93 | 17.3 | 31.22 | 21.7 | | | | | |
| | CR02 | Colluvioni | 5.5 | 19 | 24.98 | | | | | 20.5 | 45.5 | 14 | 20 | 44.8 | 26.67 | 18.1 | 32.05 | 19.5 | | | | | |
| | CR03 | Colluvioni | 8.5 | 19.48 | 20.93 | | | | | 29 | 23 | 34 | 14 | 41 | 25.6 | 15.4 | 33.39 | 17.3 | | | | | |
| | CR04 | Colluvioni | 11.5 | | | | | | | 38 | 27.5 | 23 | 11.5 | | | | | | | | | | |
| | CR05 | Colluvioni | 14.5 | | | | | | | 27 | 40 | 22.5 | 10.5 | 33.4 | 21.94 | 11.5 | | | | | | | |
| | CR06 | Colluvioni | 17.5 | | | | | | | 0 | 40 | 23.5 | 4.5 | | | | | | | | | | |
| | CI01 | Colluvioni | 17 | 21.15 | 18.63 | 34.29 | 0.52 | 96.81 | | 36 | 28.5 | 22 | 13.5 | 36.2 | 20.15 | 16.1 | | | 0.163 | | | | |
| S05 | CR01 | Alluvioni | 1.5 | | | | | | | 59.5 | 28.5 | 11 | 1 | ND | ND | ND | | | | | | | |
| | CR02 | Alluvioni | 5.5 | | | | | | | 57.5 | 24.5 | 12.5 | 5.5 | ND | ND | ND | | | | | | | |
| | CL01 | Argilliti | 12 | 25.88 | | | | | | | | | | | | | | | | 7.3 | | | |
| | CL02 | Argilliti | 13.5 | 24.33 | | | | | | | | | | | | | | | | 6.9 | | | |
| | CL03 | Argilliti | 14.4 | 25.14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CL04 | Argilliti | 16 | 27.47 | | | | | | | | | | | | | | | | 4.1 | | | |
| | CL05 | Argilliti | 18.5 | 25.65 | | | | | | | | | | | | | | | | 22.9 | | | |

*Tabella 10.3 Risultati prove di laboratorio sui sondaggi*

Come anticipato la natura dei materiali, spesso grossolani e/o con elementi lapidei, non ha permesso il prelievo di campioni indisturbati. Un unico campione indisturbato è stato prelevato nei depositi di coltre colluviale (o accumulo di frana) del sondaggio S4, da cui risulta un peso di volume 18,5-19,5 kN/mc, una composizione granulometrica mista di sabbia, argilla, limo e ghiaia, con angolo d'attrito variabile fra 31-33° e coesione fra 17-21,7 kPa.

Il substrato roccioso ha peso di volume medio di 25 kN/mc con punte fino a 28 kN/m ed una resistenza a compressione semplice variabile fra 4 – 11 MPa, con un valore sino a 22 MPa. Dalle prove Point Load si estrapolano valori di resistenza a compressione più elevati e compresi fra 7-27 Mpa. Tali valori possono variare in funzione del fattore di correlazione K; in tabella si è adottato K = 16 come suggerito da Palstrom per rocce con resistenza fra 3,6-6 Mpa. La resistenza a trazione è 0,59 Mpa. In ogni caso sono valori compatibili con quelli desunti dalle indagini pregresse sul nodo autostradale di Genova – Gronda di Ponente.

Nel corso dei sondaggi sono state eseguite prove di permeabilità tipo Lefranc nei terreni di copertura e Lugeon nel substrato roccioso, i cui valori sono riepilogati rispettivamente in tabella 10.5 e tabella 10.6.

| Sondaggio | Profondità prova (m) | Litologia | Unità | K (m/s) |
|---|---|---|---|---|
| S04 | 5.5-6.0 | Limo argilloso sabbioso | Colluvioni | 1.4 E-5 |
| S04 | 14.5-16.0 | Limo argilloso sabbioso | Colluvioni | 1.3 E-5 |
| S05 | 8.5-9.0 | Ghiaia in matrice sabbioso limosa | Alluvioni | 7.4 E-6 |

*Tabella 10.4 Risultati prove Lefranc*

| Sondaggio | Profondità prova (m) | Litologia | Unità | K (m/s) |
|---|---|---|---|---|
| S1_LG01 | 26.0-30.2 | Argillite fratturata | Argilliti di Montanesi | 5.64E-07 |
| S1_LG2 | 36.7-40 | Argillite fratturata | Argilliti di Montanesi | 7.65E-07 |
| S2_LG1 | 13.0-17.0 | Argillite fratturata | Argilliti di Montanesi | 1.364E-06 |
| S2_LG2 | 18.0-21.0 | Argillite fratturata | Argilliti di Montanesi | 7.13E-07 |
| S3_LG1 | 23.0-27.0 | Argillite fratturata | Argilliti di Montanesi | 6.15E-07 |
| S3_LG2 | 39.0-43.0 | Argillite fratturata | Argilliti di Montanesi | 6.42E-07 |
| S5_LG1 | 14.0-17.0 | Argillite fratturata | Argilliti di Montanesi | 9.59E-07 |

*Tabella 10.5 Risultati prove Lugeon*

Rispetto alle indagini pregresse la permeabilità delle alluvioni risulta inferiore e si ritiene poco rappresentativa del materiale attraversato. E' possibile che la prova sia stata condizionata e falsata dal fatto che è stata eseguita in corrispondenza del tetto del substrato argillitico. La permeabilità delle argilliti con un valore intorno a $10^{-7}$ m/s è invece superiore rispetto alle indagini pregresse le quali, con buona congruenza fra loro, forniscono valori medi di $10^{-8}$ m/s. Tale differenza potrebbe essere imputabile ad un maggior grado di fratturazione locale o alla modalità di esecuzione della prova.

I risultati delle prove SPT sono riepilogati in tabella 10.6 insieme all'interpretazione della prova in termini di densità relativa mediante la correlazione di Skempton. I valori sia nelle colluvioni che nelle alluvioni sono indicativi di un grado di addensamento relativamente variabile rispettivamente attorno al 30% e al 40%, con punte fino al 60%.

| Sondaggio | Profondità (m) | Unità | NSPT (N2+N3) | N1(60) | DR% (Skempton 1986) |
|---|---|---|---|---|---|
| S02 | 3.00 | Colluvio | 7 | 7 | 32.6 |
| | 6.00 | Colluvio | 9 | 6 | 30.7 |
| S04 | 3.00 | Colluvio | 7 | 7 | 32.6 |
| | 6.00 | Colluvio | 10 | 7 | 32.3 |
| | 10.00 | Colluvio | 14 | 8 | 32.2 |
| | 15.00 | Colluvio | 14 | 6 | 27.5 |
| S05 | 3.00 | Alluvionale | 11 | 11 | 40.9 |
| | 6.00 | Alluvionale | 16 | 11 | 40.9 |
| | 9.00 | Alluvionale | 49 | 28 | 62.5 |

*Tabella 10.6 Riepilogo prove SPT*

### 10.2.4 Geofisica

I sondaggi sono coadiuvati da indagini geofisiche rappresentate da n° 3 stendimenti di sismica a rifrazione

in onde P ed S, rispettivamente:

- Traversa R1 da 46 m lungo il rilevato di sbarramento del Rio Maltempo a valle dell'autostrada e dell'opera di presa;
- Traversa R2 da 46 m lungo il sentiero in sponda sinistra del Rio Maltempo all'altezza dell'opera di presa;
- Traversa R3 da 115 m fra lo sbocco della galleria idraulica e la confluenza nel Torrente Torbella.

I risultati sono riepilogati in tabella.

| Traversa sismica | Ubicazione | Risultato |
|---|---|---|
| R1 | Rio Maltempo terrapieno | Da pc a 13 m Vp < 1200 m/s. Da 13 m a 18 m Vp fra 1200-1600 m/s. Picco in zona centrale (scatolare?) |
| R2 | Rio Maltempo strada in Sx | Da pc a 2 m Vp 1000-1600 m/s. Da 2 m a 11 m Vp fra 1800 m/s e oltre 3000 m/s. Strato con velocità pari o inferiori a 1000 m/s non superiore a 1 m |
| R3 | Scatolare sbocco | Da pc a 12 m materiali molto eterogenei con variazioni laterali di velocità che si mantengono <1000 m/s .Da 12 m a 14 m Vp comprese fra 1000-1100 m/s |

*Tabella 10.7 Riepilogo traverse sismiche*

La traversa R1 è impostata sul terrapieno che sbarra l'alveo e rileva un materiale discretamente addensato in appoggio a circa 13-18 m da p.c. sul substrato roccioso, in buona coerenza con il sondaggio S1 e con le indagini di caratterizzazione del sito di Via Piombelli. L'incremento di velocità nel tratto centrale può essere ricondotto alla presenza dello scatolare in cls.

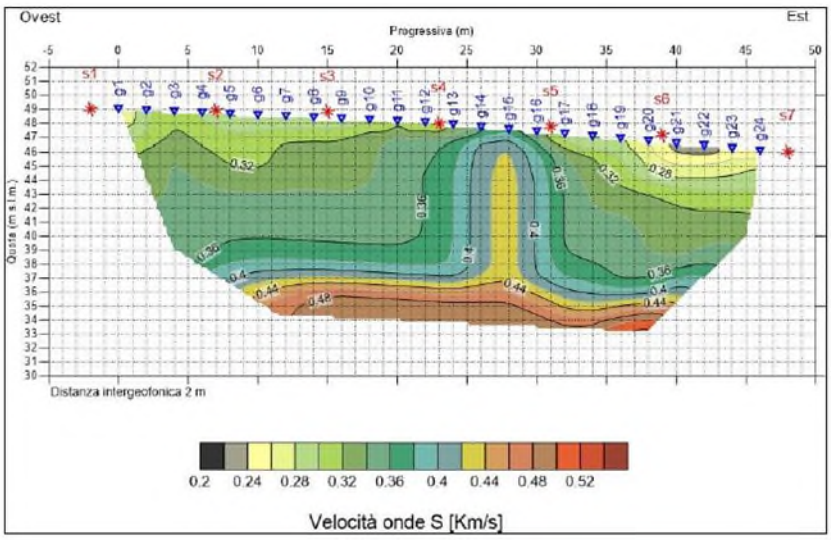



*Figura 10.11 Traversa sismica R1*

La traversa R2 restituisce un substrato roccioso affiorante o subaffiorante con una coltre di alterazione o di copertura di spessore nell'ordine di 1 m o inferiore. Le velocità delle onde sismiche sono in linea con quelle rilevate nelle indagini pregresse, e sono indicative di una roccia a tratti anche molto compatta. Nei rilievi di campagna la roccia affiora in più punti a margine del sentiero.

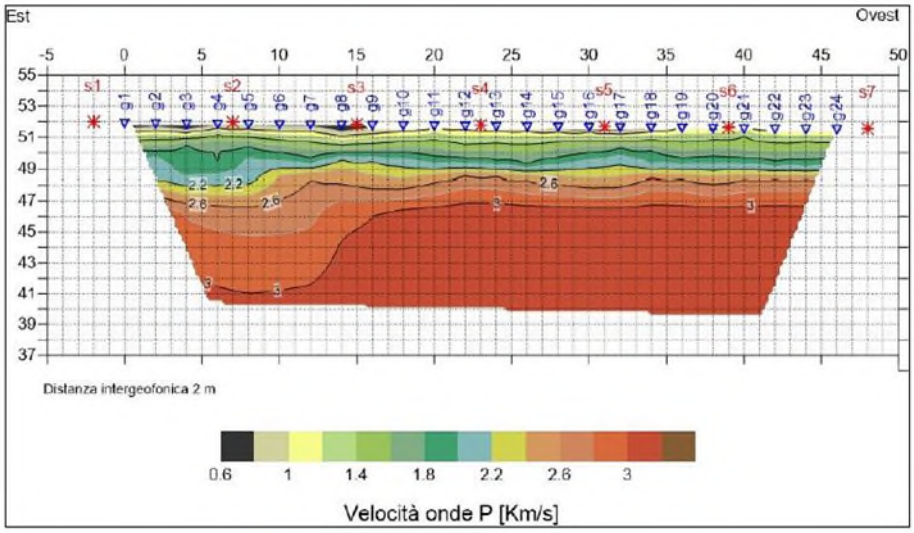



*Figura 10.12 Traversa sismica R2*

La traversa R3 in congruenza con il sondaggio S4 conferma la presenza di materiali eterogenei, assimilabili ad un deposito sciolto, per buona parte della profondità indagata e comunque per tutto lo spessore coinvolto dai lavori. Le velocità delle onde di compressione sono tendenzialmente basse ed inferiori a 1.000 m/s per profondità superiori nell'ordine di 20 m da p.c.

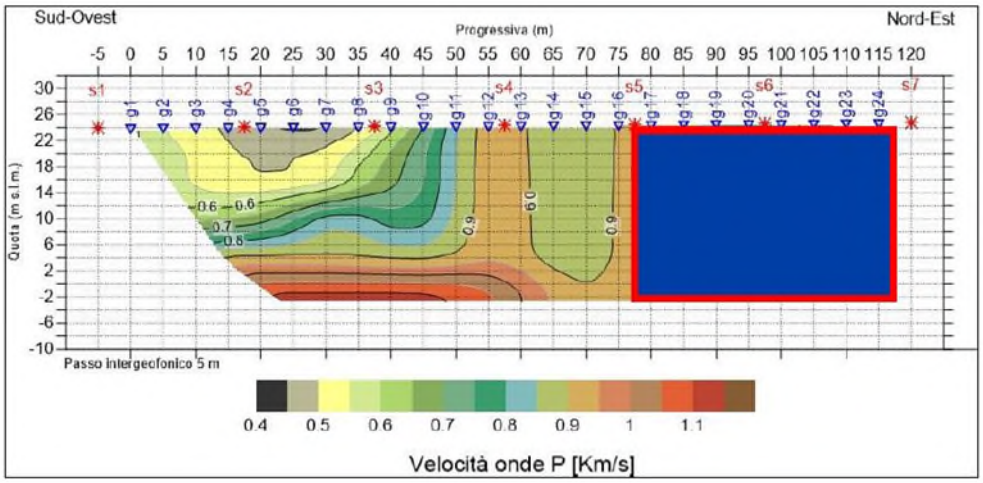



*Figura 10.13*

Sono state eseguite anche n° 4 coppie composte da n° 1 Masw e n° 1 Remi per la determinazione della categoria di suolo di fondazione ai sensi delle NTC 2018, e per tentare l'estrapolazione di ulteriori informazioni stratigrafiche. Queste indagini sono ubicate rispettivamente:

- Sul terrapieno che sbarra il Rio Maltempo;
- Sul sentiero in sinistra idrografica del Rio Maltempo;
- Sullo scatolare di sbocco;
- Lungo l'alveo del Torrente Torbella all'altezza del ponte stradale.

I risultati delle prove sono riepilogati in tabella.

| Numero | Ubicazione | Vseq | Profondità (m da pc) | Range | Substrato sismico (m da p.c.) | Coerenza Masw-ReMi | Categoria suolo fondazione |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Masw1 | Terrapieno Rio Maltempo | 380 | 30 | 270-480 | No | | B |
| Masw2 | Rio Maltempo strada in Sx | 381 | 30 | 270-480 | No | | B |
| Masw3 | Scatolare sbocco | 381 | 30 | 212-809 | 23.7 | | B |
| Masw4 | Rio Torbella | 381 | 30 | 221-818 | 25 | | B |
| Remi1 | Terrapieno Rio Maltempo | 384 | 90 | 261-641 | No | Ottima | B |
| Remi2 | Rio Maltempo strada in Sx | 413 | 90 | 381-516 | No | Buona | B |
| Remi3 | Scatolare sbocco | 476 | 90 | 354-1514 | 28.2 | Mediocre | B |
| Remi4 | Rio Torbella | 425 | 90 | 290-860 | 27 | Buona | B |

*Tabella 10.8 Risultati prove Masw e Remi*

In tutti i casi le velocità delle onde sismiche sono regolarmente crescenti verso il basso con una categoria di suolo di fondazione tipo B. Salvo la Masw/Remi 3 è buona o ottima la correlazione fra Masw e Remi.

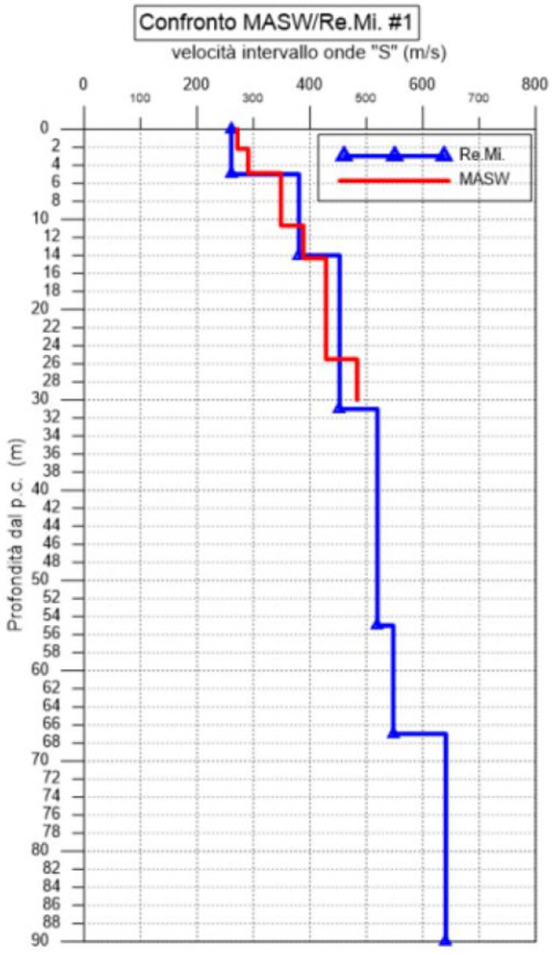



*Figura 10.14 Confronto Masw-Remi n° 1*

Le argilliti si dimostrano un materiale caratterizzato da velocità delle onde di taglio non particolarmente elevate e tale da non poter essere sempre considerato un substrato sismico (Vs < 800 m/s). Questo avviene per esempio lungo il Rio Maltempo dove, pur avendo riscontrato in affioramento e nei sondaggi la roccia, le più elevate velocità delle onde di taglio si attestano attorno a circa 500 m/s sino alle massime profondità indagate (circa 70 m da p.c.). Sullo scatolare di sbocco il substrato roccioso può essere individuato fra 24-

28 m da p.c. quindi a profondità ampiamente superiore a quella interessata dai lavori. Sul Torrente Torbella all'altezza del ponte stradale il substrato roccioso si attesta fra 25-27 m da p.c., anche se non può escludersi a priori che una porzione alterata possa trovarsi già a circa 15 m da p.c.

### 10.2.5 Pozzetti esplorativi

Lungo il Torrente Torbella nel tratto compreso fra lo sbocco della galleria scolmatrice fino alla confluenza nel Torrente Polcevera sono presenti muri di contenimento laterali e diversi ponti che attraversano l'alveo, prevalentemente ferroviari e in un caso stradale, ad una o due campate. In particolare da monte verso valle si riconosce:

1. Una passerella carrabile su via Fasciotti di accesso ad una serie di unità residenziali. Non ha fondazioni in alveo.
2. Un ponte ferroviario in muratura ad arco a due campate con una pila in alveo;
3. Un ponte ferroviario in cls ad una campata;
4. Un ponte ferroviario in muratura ad arco ad una campata;
5. Un ponte stradale in cls a due campate con una pila in alveo;
6. Un ponte ferroviario in muratura ad arco a 3 campate con una pila in alveo,
7. Una piccola passerella pedonale in cls con una pila in alveo;

Lungo il Torrente Torbella sono presenti muri che delimitano in sinistra Via Passo Torbella, ma anche edifici, proprietà private, un parcheggio ed altre pertinenze in destra e sinistra. Nella parte più a monte di Via Passo Torbella a margine dell'alveo è visibile un "tombotto" in cls che protegge una tubazione della fognatura; la stessa tubazione si osserva a tratti più a monte in sinistra idrografica, ed è probabilmente la stessa che emerge dall'alveo in destra idrografica poco prima dell'immissione nel Polcevera.

Nell'ambito della campagna d'indagine impiegando un piccolo escavatore sono stati eseguiti alcuni pozzetti esplorativi per mettere in luce la fondazione delle opere le cui caratteristiche e/o ubicazione potrebbero interferire con i lavori di riprofilatura dell'alveo. In tabella seguente sono riepilogati i risultati dei saggi sui pozzetti ed in figura la relativa ubicazione con la numerazione dei ponti richiamata in questo documento.

| Pozzetto | Quota (mslm) | Profondità (m) | Litologia | Campioni rimaneggiati | Campioni ambientali | Opera | Profondità fondazione ( m) | Note |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 16.6 | 1 | Ghiaia con sabbia | 1 | | Ciottoli 11.5%, ghiaie 72.5%, sabbie 10.5%, limi e argille 5.5% | | |
| PE1 | 16.61 | 2 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Tombotto Sx | 0.8 | |
| PE2 | 17.35 | 2.7 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Spalla ponte FFSS (n 4) | >2.7 | |
| PE3 | 16.85 | 1.2 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Condominio DX | 1 | |
| PE4 | 17.43 | 2.8 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Muro via Torbella | >2.8 | |
| PE5 | 17.2 | 1.1 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Ponte stradale pila (n 5) | >1.1 | Presenza di gabbioni |
| PE6 | 16.83 | 0.8 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Ponte stradale spalla (n 5) | >0.8 | |
| PE7 | 16.33 | 1.4 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Muro via Torbella | 1.4 | |
| PE8 | 16.28 | 2.8 | Ghiaia con sabbia e limo | | 2 | Muro campo sportivo dx | 0.2 | |
| PE9 | 15.72 | 2.5 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Pila ponte FFSS (n. 6) | 2.5 | |
| PE10 | 15.74 | 1.4 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Spalla ponte FFSS (n. 6) | 0.9 | Blocchi in fondazione |
| PE10bis | 15.28 | 0.7 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Spalla ponte FFSS (n. 6) | 0.5 | Blocchi in fondazione |
| PE11 | 18.05 | 1.5 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Spalla ponte FFSS (n. 3) | 1.1 | Interferenza con tubo |
| PE12 | 18.62 | 2.1 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Pila ponte FFSS (n. 2) | >3 | Interferenza con tubo |
| PE12bis | 18.55 | 3 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Pila ponte FFSS (n. 2) | >3 | Interferenza con tubo |
| PE13 | 18.82 | 0.5 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Spalla ponte FFSS (n. 2) | >0.5 | Interferenza con tubo |
| PE13bis | 18.85 | 2.5 | Ghiaia con sabbia e limo | | | Spalla ponte FFSS (n. 2) | >2.5 | |

*Tabella 10.9 Riepilogo pozzetti esplorativi*

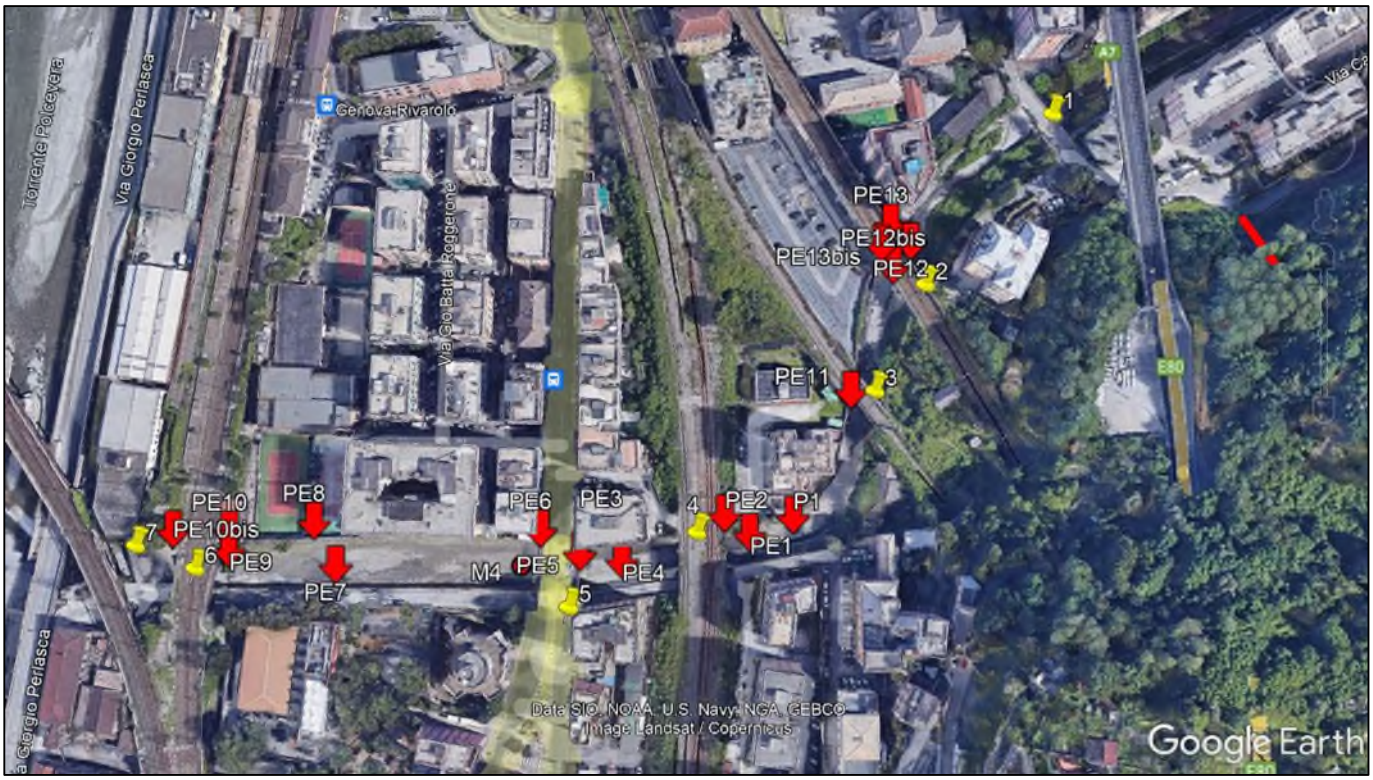



*Figura 10.15 Ubicazione pozzetti e numerazione dei ponti elencati in questo documento*

Il pozzetto P1 è stato eseguito con lo scopo di prelevare un campione di terreno di grande volume da sottoporre ad analisi granulometrica. La prova, maggiormente rappresentativa rispetto al prelievo effettuato in sondaggio, rileva una composizione ghiaioso ciottoloso sabbiosa con scarsa frazione fine. Sul pozzetto PE8 si sono prelevati due campioni ambientali che integrano quelli provenienti dai sondaggi.

Tutti i pozzetti, che si sono spinti sino a profondità variabili fra un minimo di 0,5 m ed un massimo di 3,0 m da p.c., riscontrano un deposito alluvionale grossolano ghiaioso ciottoloso sabbioso in scarsa matrice fine

composto da diversi tipi litologici, con una prevalenza di termini argilitici e manosi e subordinati calcari. In quasi tutti gli scavi è stata rilevata una presenza, seppur sporadica, di plastica, frammenti di vetro e laterizi. In nessun caso è stata intercettata la falda idrica che evidentemente, all'atto delle prove (marzo 20022), si attesta a profondità superiori. Ogni colonna stratigrafica redatta si accompagna con uno schizzo che evidenzia, per quanto è stato possibile accertare, i rapporti fra terreni presenti ed opere in fondazione. Rimandando alle schede prodotte per maggiori dettagli, i saggi hanno evidenziato come le fondazioni delle opere d'arte (sia ponti che muri) siano di tipo diretto in appoggio sui depositi alluvionali con interposizione, in alcuni casi (ponte ferroviario identificato con il numero 6) di grossi blocchi lapidei. Talvolta addossate alle pile si sono rinvenute tubazioni riconducibili a sottoservizi idrici o fognari. Come già esposto una condotta ora interrata ora più superficiale e protetta da un tombotto in cls, si sviluppa lungo l'alveo del Torrente Torbella ponendosi spesso in sinistra, ma nerso valle passa anche in destra idrografica.

# 11. CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO. BIENIAWSKY E GSI

Sulla base dei dati acquisiti da indagini pregresse, dai rilievi di campo e dalle indagini specificamente eseguite un primo approccio alla caratterizzazione della roccia è stato ottenuto mediante la determinazione dell'indice RMR della classificazione di Bieniawsky (1989) basata quest'ultima, come noto, sul rilievo di sei indici che sono funzione:

- R1 della resistenza a compressione uniassiale;
- R2 dell'RQD;
- R3 della spaziatura delle discontinuità;
- R4 delle condizioni delle discontinuità;
- R5 delle condizioni idrauliche;
- R6 dell'orientamento delle discontinuità rispetto alle opere.

In tabella 11.1 lo schema generale per l'attribuzione dei parametri in funzione delle caratteristiche della roccia, delle condizioni idrauliche attese, dell'intersezione fra le discontinuità e la direzione di avanzamento degli scavi.

L'autore classifica gli ammassi rocciosi in base all'indice RMR, ottenuto dalla somma degli indici parziali R1+R2+R3+R4+R5+R6, individuando cinque categorie di ammasso roccioso dalla I, la migliore, alla V la peggiore come da tabella 11.2. Per ciascuna di esse fornisce valutazioni sui tempi di autosostentamento in galleria, tipologia di scavo, necessità di chiodatura e tipologia di prerivestimento.

**The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)***

**A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS**

| Parameter | | | Ranges of Values | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Strength of intact rock material | Point-load strength index (MPa) | >10 | 4–10 | 2–4 | 1–2 | For this low range, uniaxial compressive test is preferred | | |
| | | Uniaxial compressive strength (MPa) | >250 | 100–250 | 50–100 | 25–50 | 5–25 | 1–5 | <1 |
| | Rating | | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| 2 | Drill core quality RQD (%) | | 90–100 | 75–90 | 50–75 | 25–50 | <25 | | |
| | Rating | | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | |
| 3 | Spacing of discontinuities | | >2 m | 0.6–2 m | 200–600 mm | 60–200 mm | <60 mm | | |
| | Rating | | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | |
| 4 | Condition of discontinuities | | Very rough surfaces<br>Not continuous<br>No separation<br>Unweathered wall rock | Slightly rough surfaces<br>Separation < 1 mm<br>Slightly weathered walls | Slightly rough surfaces<br>Separation < 1 mm<br>Highly weathered wall | Slickensided surfaces<br>or<br>Gouge < 5 mm thick<br>or<br>Separation 1–5 mm<br>Continuous | Soft gouge > 5 mm thick<br>or<br>Separation > 5 mm<br>Continuous | | |
| | Rating | | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 | | |
| 5 | Groundwater | Inflow per 10 m tunnel length (L/min) | None | <10 | 10–25 | 25–125 | >125 | | |
| | | Ratio Joint water pressure / Major principal stress | 0 | <0.1 | 0.1–0.2 | 0.2–0.5 | >0.5 | | |
| | | General conditions | Completely dry | Damp | Wet | Dripping | Flowing | | |
| | Rating | | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | | |

**B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS**

| Strike and Dip Orientations of Discontinuities | | Very Favorable | Favorable | Fair | Unfavorable | Very Unfavorable |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ratings | Tunnels and mines | 0 | −2 | −5 | −10 | −12 |
| | Foundations | 0 | −2 | −7 | −15 | −25 |
| | Slopes | 0 | −5 | −25 | −50 | −60 |

**C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS**

| Rating | 100 ← 81 | 80 ← 61 | 60 ← 41 | 40 ← 21 | <20 |
|---|---|---|---|---|---|
| Class no. | I | II | III | IV | V |
| Description | Very good rock | Good rock | Fair rock | Poor rock | Very poor rock |

**D. MEANING OF ROCK MASS CLASSES**

| Class no. | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|
| Average stand-up time | 20 yr for 15-m span | 1 yr for 10-m span | 1 wk for 5-m span | 10 h for 2.5-m span | 30 min for 1-m span |
| Cohesion of the rock mass (kPa) | >400 | 300–400 | 200–300 | 100–200 | <100 |
| Friction angle of the rock mass (deg) | >45 | 35–45 | 25–35 | 15–25 | <15 |

*After Bieniawski (1979).

*Tabella 11.1 Schema per il calcolo dell'RMR (Bieniawsky)*

| Rock Mass Class | Excavation | Support: Rock Bolts (20-mm Dia, Fully Grouted) | Support: Shotcrete | Support: Steel Sets |
|---|---|---|---|---|
| Very good rock<br>I<br>RMR:81–100 | Full face<br>3-m advance | Generally, no support required except for occasional spot bolting | | |
| Good rock<br>II<br>RMR:61–80 | Full face<br>1.0–1.5-m advance<br>Complete support 20 m from face | Locally, bolts in crown 3 m long, spaced 2.5 m, with occasional wire mesh | 50 mm in crown where required | None |
| Fair rock<br>III<br>RMR: 41–60 | Top heading and bench<br>1.5–3-m advance in top heading<br>Commence support after each blast<br>Complete support 10 m from face | Systematic bolts 4 m long, spaced 1.5–2 m in crown and walls with wire mesh in crown | 50–100 mm in crown and 30 mm in sides | None |
| Poor rock<br>IV<br>RMR: 21–40 | Top heading and bench<br>1.0–1.5-m advance in top heading. Install support concurrently with excavation 10 m from face | Systematic bolts 4–5 m long, spaced 1–1.5 m in crown and wall with wire mesh | 100+150 mm in crown and 100 mm in sides | Light to medium ribs spaced 1.5 m where required |
| Very poor rock<br>V<br>RMR: <20 | Multiple drifts<br>0.5–1.5-m advance in top heading. Install support concurrently with excavation. Shotcrete as soon as possible | Systematic bolts 5–6 m long, spaced 1–1.5 m in crown and walls with wire mesh. Bolt invert | 150–200 mm in crown, 150 mm in sides, and 50 mm on face | Medium to heavy ribs spaced 0.75 m with steel lagging and fore-poling if required. Close invert |

*Figura 11.1 Classificazione dell'ammasso secondo Bieniawsky*

Oltre all'indice RMR si adotta anche l'RMR89 (o RMR base) ottenuto dalla somma dei primi 5 parametri escludendo la correzione per l'orientazione dei giunti, e l'RMR'89 calcolato come sopra ma imponendo una condizione idraulica asciutta (R5 = 15). In pratica:

$$RMR\ (Bieniawsky) = R1+R2+R3+R4+R5+R6$$

$$RMR89 = R1+R2+R3+R4+R5$$

$$RMR'89 = R1+R2+R3+R4+15$$

Con l'RMR si entra nella classificazione formulata dall'autore di cui alla figura 11.1.

Con l'RMR89 possono essere dedotti alcuni parametri della roccia secondo correlazioni fornite dall'autore stesso ma che, nel caso in studio, risultano poco appropriate in quanto tarate su ammassi rocciosi di discreta/buona qualità.

Infine con RMR'89 è possibile dedurre il valore del GSI (Geological Strenght Index) tramite la correlazione

$$GSI = RMR'89 - 5$$

Sulla base delle caratteristiche medie della roccia dedotte dalle prove di laboratorio disponibili e dai rilievi di campagna, alla formazione delle Argilliti di Montanesi ricadente nell'area in studio sono stati attribuiti i parametri di RMR, RMR89, RMR'89 e GSI riepilogati nelle tabelle seguenti. Per l'indice R6 si è considerata una direzione di scavo dal Torbella verso il Maltempo, il che significa condizioni di sostanziale reggipoggio rispetto alle principali discontinuità stratigrafiche e strutturali.

Per la resistenza a compressione della roccia si è considerato un valore rientrante nel campo 5-25 MPa, ridotto a 1-5 MPa per le zone alterate e/o maggiormente fratturate e disarticolate. Il valore di RQD per le

zone di maggiore fratturazione è compreso nel range 0-25%; per l'ammasso roccioso si ritiene prudentemente adottare un range 25-50%, rappresentativo dei valori minori rilevati nel corso dei sondaggi per le porzioni relativamente meno fratturate, e ciò per tener conto della elevata fissilità dell'ammasso e della sua potenziale alterabilità nel tempo. Le altre condizioni assunte sono riportate nelle tabelle e tengono conto di una spaziatura fra le discontinuità ravvicinata, giunti lisci ed un ammasso che allo scavo potrebbe presentarsi umido, fino a bagnato nelle zone maggiormente alterate a ridotta copertura.

| RMR e GSI porzione alterata e/o molto fratturata | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Descrizione** | **Parametro** | | **Valore** | **Rating** |
| Argilliti di Montanesi (Opere all'aperto-porzione alterata e/o molto fratturata) | R1 | Resistenza roccia intatta (Mpa) | 1-5 | 1 |
| | R2 | RQD (%) | <25 | 3 |
| | R3 | Spaziatura discontinuità | <50mm | 5 |
| | R4 | Condizioni giunti | Lisci con possibile riempimento | 3 |
| | R5 | Condizione idraulica | Bagnato | 7 |
| | R6 | Orientazione discontinuità | Favorevole | -3 |
| | **RMR (R1+R2+R3+R4+R5+R6)** | | | **16** |
| | **RMR89 (base) (R1+R2+R3+R4+R5)** | | | **19** |
| | **RMR'89 (R1+R2+R3+R4+15)** | | | **27** |
| | **GSI** | | | **22** |

*Tabella 11.2 Caratterizzazione geomeccanica in termini di RMR e GSI per le Argilliti di Montanesi in facies alterata e/o molto fratturata*

| RMR e GSI porzione fratturata | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Descrizione** | **Parametro** | | **Valore** | **Rating** |
| Argilliti di Montanesi (Opere all'aperto-porzione alterata e/o molto fratturata) | R1 | Resistenza roccia intatta (Mpa) | 5-25 | 2 |
| | R2 | RQD (%) | 25-50 | 8 |
| | R3 | Spaziatura discontinuità | <50mm | 5 |
| | R4 | Condizioni giunti | Lisci privi di riempimento | 5 |
| | R5 | Condizione idraulica | Umido | 10 |
| | R6 | Orientazione discontinuità | Favorevole | -3 |
| | **RMR (R1+R2+R3+R4+R5+R6)** | | | **27** |
| | **RMR89 (base) (R1+R2+R3+R4+R5)** | | | **30** |
| | **RMR'89 (R1+R2+R3+R4+15)** | | | **35** |
| | **GSI** | | | **30** |

*Tabella 11.3 Caratterizzazione geomeccanica in termini di RMR e GSI per le Argilliti di Montanesi in facies fratturata*

Se ne deduce un RMR che può ritenersi indicativamente variabile fra 15 e 30, attribuibile nelle porzioni fratturate ad una classe IV scadente e nelle porzioni maggiormente alterate e molto fratturate ad una classe V molto scadente.

Per la porzione di roccia alterata da pedogenesi e/o molto fratturata si ottiene un GSI variabile nel campo 20-22. Per la porzione fratturata della roccia il GSI è da ritenersi variabile fra 25-30. In tutti i casi sono valori compatibili con quelli descritti nella relazione geomeccanica del canale di gronda e reperibili in altra documentazione bibliografica relativamente alla medesima unità geologica.

Per quanto sopra nell'ambito delle Argilliti di Montanesi si è considerato, sulla base dell'insieme delle informazioni disponibili, che i valori più bassi dei parametri RMR e GSI siano da prevedere in

corrispondenza delle opere all'aperto, in zona d'imbocco, opera di presa e in galleria nell'attraversamento delle zone di maggiore disturbo tettonico, che dai rilievi di campo sembrano coincidere con le depressioni morfologiche e incisioni vallive; ma ciò non è sempre vero in quanto permane sempre una estrema variabilità laterale e verticale del grado di fratturazione, come dimostra il fatto che fra tutti i sondaggi eseguiti è stato l'S3, ubicato nella zona centrale a maggiore copertura, a rilevare la presenza del più elevato grado di fratturazione generale, con spessori metrici aventi RQD pari o prossimi a zero. Un'altra caratteristica delle Argilliti di Montanesi è l'imprevedibilità geologica di questa variabilità, che deve ritenersi una caratteristica intrinseca della roccia stessa.

# 12. INTERAZIONI OPERE TERRENI

Per una più chiara rappresentazione dei rapporti intercorrenti fra opere e terreni sono stati redatti gli elaborati grafici relativi a carta geologica, carta geomorfologica, carta idrogeologica, profili e sezioni geologiche, cui si rimanda per maggiori approfondimenti.

L'area in studio si caratterizza per la presenza di un substrato roccioso argillitico riconducibile alla Formazione di Montanesi che interessa lo sviluppo della galleria idraulica e l'opera di presa.

Coperture colluviali sono presenti lungo i versanti per spessori generalmente modesti e che nella documentazione bibliografica risultano compresi fra 0,5-3 m circa, ma che localmente possono risultare maggiori come evidenziato dalle indagini pregresse e da quelle specificamente eseguite.

All'altezza del viadotto autostradale il Rio Maltempo è sbarrato da un accumulo di materiale di riporto che, da quanto risulta, è stato messo in opera all'epoca di costruzione dell'autostrada. Per quanto si evince dalle indagini disponibili il suo spessore raggiunge punte di oltre 12-15 m e poggia direttamente sul substrato roccioso, solo talvolta con interposizione di una coltre colluviale.

Depositi alluvionali grossolani si riscontrano lungo l'alveo del Torrente Torbella fino alla confluenza con il Torrente Polcevera.

La deviazione del Rio Maltempo verso il Torbella avviene mediante una galleria idraulica del diametro di scavo di circa 4 m e lunghezza 538 m, che sbocca a margine di Via Fasciotti. Una struttura scatolare coperta posta nel piazzale a margine di alcuni condomini e della stessa via garantisce il collegamento con il Torbella.

Nel tratto compreso fra l'immissione della galleria di derivazione e il torrente Polcevera la sezione idraulica del Torrente Torbella, dovendo ricevere un incremento di portata, dovrà essere riprofilata conferendo una sezione trapezia. L'entità dello scavo è variabile da un massimo di 2 m a valle a 0,5 m nel tratto di monte. In tale contesto per evitare possibili ripercussioni sulle opere esistenti nei tratti dove lo scavo è maggiore la riprofilatura viene limitata alla porzione centrale dell'alveo, lasciando immutato il profilo esistente in prossimità delle sponde per una larghezza di almeno 3-4 m. I terreni coinvolti saranno depositi alluvionali granulari prevalentemente grossolani ed eteropici con una prevalenza di componenti argillitiche e manose, solo subordinatamente calcaree e quarzose. Per evitare possibili fenomeni erosivi è stato previsto un diffuso rivestimento dell'alveo in pietrame. Opportune opere di protezione saranno previste per le fondazioni dei ponti che ricadono nelle aree oggetto degli interventi di riprofilatura. La realizzazione di questi interventi impone la demolizione e ricostruzione della passerella pedonale esistente in prossimità della confluenza con il Polcevera (opera 7 in questo documento come da tabella 10.9 e figura 10.15).

Nell'ambito del Torrente Torbella il progetto ha previsto il rifacimento del ponte stradale di Via Rossini il quale, per la ridotta altezza e per la presenza di una pila in alveo, costituisce un ostacolo al regolare deflusso idrico in condizioni di piena. La nuova struttura sarà a campata unica con fondazioni indirette su pali o micropali. In quest'ambito non è stato possibile eseguire un sondaggio in corrispondenza dell'opera

in quanto la sonda aveva un ingombro tale che, una volta calata in alveo utilizzando una rampa posta più a monte, non era in grado di passare al di sotto del ponte ad arco ferroviario (ponte 4 in questo documento). In prossimità del ponte stradale esistente ed a margine di Via Rossini il sondaggio pregresso 11006, profondo 15 m, si sviluppa nei depositi alluvionali senza rilevare a presenza del substrato roccioso. Anche i sondaggi pregressi 9685 e 11580 posti più a valle egualmente si sviluppano in alluvioni senza intercettare la roccia sino alle massime profondità indagate (20-25 m). Il sondaggio S5, eseguito nel 2022 in alveo ma circa 100 m più a monte, intercetta la roccia a 9 m da p.c; tale evidenza può però essere attribuita ad un innalzamento locale del tetto delle argilliti dovuto alla prossimità del versante. Per un ulteriore dettaglio in alveo accanto al ponte esistente di Via Rossini è stata eseguita la coppia Masw-Remi 4, stando alle quali la roccia in facies alterata potrebbe attestarsi a 12 -15 m da p.c. (poco sotto la massima profondità raggiunta dal sondaggio 11006, che si trova ad una quota più alta di circa 4 m rispetto all'alveo) laddove la velocità delle onde di taglio passa da meno di 300 m/s ad oltre 500 m/s. Con maggiore probabilità la roccia si trova comunque alla profondità di 25-27 m, dove la velocità delle onde di taglio supera i 750-800 m/s. In un approccio cautelativo si consideri in questa fase il tetto del substrato roccioso a 26 m dal fondo alveo locale.

Gli interventi di riprofilatura dell'alveo, demolizione della passerella e adeguamento del ponte di Via Rossini sono già previsti nel piano degli interventi di mitigazione del rischio allegato al Piano di Bacino Stralcio del Torrente Polcevera.

La galleria di derivazione come risulta dalla carta geologica e dal profilo geologico si sviluppa interamente nelle argilliti di Montanesi, una formazione strutturalmente complessa caratterizzata da valori di resistenza relativamente modesti, una marcata fissilità e scagliosità, elevata variabilità laterale e verticale del grado di fratturazione, alterabile nel tempo con decadimento delle resistenze in caso di contatto prolungato con l'acqua ma anche con l'aria. Nelle zone di maggior fratturazione così come in quelle alterate a minore copertura l'RQD, già di per se mai elevato e compreso fra 30-60%, decade significativamente portandosi fra zero e 20%; in tali ambiti non si può escludere la presenza di fasce, di spessore metrico, alterate e argillificate con caratteristiche e comportamento più simili ad una terra che ad una roccia. La giacitura è immergente verso E o SE, il che considerando una direzione di scavo da valle verso monte significa a reggipoggio rispetto al versante. Tale condizione è favorevole solo all'apparenza poiché la fissilità di cui sopra, e una struttura fortemente deformata, potranno determinare nel corso dello scavo le più svariate intersezioni fra discontinuità stratigrafico-strutturali e superfici di scavo. L'ammasso attraversato è tendenzialmente lapideo con un comportamento elastico perfettamente plastico e cioè, raggiunta la resistenza massima, manifesta deformazioni continue senza variazione dello stato tensionale e di volume (angolo di dilatanza nullo). Dalla cartografia geologica non risulta la presenza di faglie evidenti lungo l'opera, ma ciò è solo da attribuirsi alla particolare struttura di questa unità che ha un comportamento fragile/duttile ed è composta da accavallamenti tettonici interni non riconoscibili in campo, ma certamente presenti e testimoniati da una struttura fortemente deformata accompagnata da fasce diversamente fratturate. Durante lo scavo si ritiene quindi assai probabile l'attraversamento di zone da fratturate fino a brecciate, più frequenti probabilmente nella parte alta della formazione e quindi verso l'opera di presa avvicinandosi al limite tettonico con l'unità di Ronco. Il valore di GSI atteso è tendenzialmente basso, influenzato dalla fissilità della roccia, da una complessa storia geologica e dalle numerose discontinuità, variando fra 20 e 30 con punte minime nelle zone di alterazione per pedogenesi (bassa copertura) e di

maggiore fratturazione.

Il sostegno degli scavi in sotterraneo sarà favorito dalle ridotte dimensioni della sezione. Per contro le ridotte dimensioni condizionano le possibilità di abbattimento al fronte, il caricamento ed allontanamento dello smarino. In ciò viene in aiuto la relativamente modesta resistenza della roccia, che potrà essere scavata con l'ausilio di un martello demolitore; potrà essere valutata dall'appaltatore anche l'adozione di una fresa ad attacco puntuale. Lo smarino potrà essere risolto con un sistema di caricamento frontale collegato alle spalle ad un nastro trasportatore; in alternativa potranno prevedersi mezzi a doppia cabina del tipo usato in miniera.

L'avanzamento degli scavi in sotterraneo in ragione delle caratteristiche della roccia e delle coperture privilegia l'adozione di centine e spritz beton; più limitatamente di una sezione dotata di spritz beton fibrorinforzato e chiodi radiali al contorno. Interventi di preconsolidamento al fronte potranno essere previsti a titolo cautelativo in zona d'imbocco e per far fronte ad eventuali zone di particolare disturbo tettonico che potranno incontrarsi lungo lo scavo, nonché nei tratti in allargamento. All'aperto lo scavo potrà avvenire prevalentemente con martello demolitore o benna.

Le ridotte dimensioni della sezione, i metodi di avanzamento previsti, le caratteristiche della roccia e le coperture in calotta sono tali da far ritenere che non vi saranno ripercussioni dovute alle vibrazioni prodotte dallo scavo e/o a deformazioni sulla verticale della galleria. Si consideri inoltre che la galleria stessa è stata collocata lungo una porzione di territorio non o assai poco antropizzato.

La variabilità delle caratteristiche della roccia impone una periodica e competente verifica del fronte di scavo in fase di avanzamento, in modo da adattare i prerivestimenti alle caratteristiche e comportamento dell'ammasso. Fondamentale risulterà il monitoraggio in sotterraneo in termini di sollecitazioni e convergenze sui prerivestimenti, allo scopo di verificare l'effettiva interazione fra l'opera e la roccia incassante.

Per un breve tratto la galleria di derivazione sottopassa l'impronta di un'area, immediatamente a valle del viadotto autostradale, dove sono stoccati rifiuti non autorizzati. L'interferenza è solo planimetrica ed apparente in quanto lo stoccaggio di rifiuti si limita a profondità modeste ed ai terreni di riporto, mentre la galleria si sviluppa in argilliti scarsamente permeabili mantenendo un setto di roccia, rispetto al letto del riporto, non inferiore a 10 m.

L'opera di presa è collocata sul fondovalle del Rio Maltempo. In quest'area non sono state eseguite indagini geognostiche per la difficile accessibilità, per la diffusa presenza del substrato roccioso osservata durante i rilievi di campagna, e per la presenza di acqua di scorrimento durante l'arco di tempo in cui sono state svolte le indagini (febbraio – marzo 2022). Sono comunque disponibili numerose indagini pregresse poco a valle in corrispondenza di un'area dove è stata rilevata un'attività di discarica non autorizzata, e ulteriori indagini (sondaggi, Masw, Remi e traverse sismiche a rifrazione) sono state condotte in fase di progettazione lungo il versante ed in corrispondenza del rilevato di sbarramento dell'alveo. Dato che la giacitura della stratificazione è immergente verso SE si hanno condizioni di reggipoggio in sinistra idrografica e franapoggio in destra. Ne consegue che la roccia affiora estesamente sul fondovalle. Lungo le sponde è ricoperta e/o occultata da una coltre colluviale e dalla fitta vegetazione per spessori pellicolari

(da centimetrici a decimetrici) in sinistra, ma che in destra possono dare origine a sacche localmente maggiori anche se tendenzialmente non superiori a 1-2 m. L'elevata fratturazione e l'alterabilità della roccia consigliano, per la realizzazione degli scavi dell'opera di presa le cui altezze possono raggiungere punte di 7-8 m, un approccio prudenziale evitando di lasciare aperti fronti di estensione eccessiva.

Lo scavo del pozzo di caduta sarà eseguito con tecnologia raise borer. Per fare ciò bisognerà attendere il completamento della sottostante galleria idraulica, il cui scavo è diretto da valle verso monte. La realizzazione avverrà operando dal fondovalle del Rio Maltempo tramite un foro pilota verticale diretto verso la galleria, entro la quale sulla parte terminale di una batteria di aste sarà montata una fresa del diametro voluto. La perforazione avverrà quindi dal basso verso l'alto smarinando attraverso la galleria stessa. Lo scavo è previsto interamente nelle argilliti. La medesima tecnologia sarà adottata per il pozzo di aereazione intermedio, ed è stata già impiegata con successo nello scavo di altre opere idrauliche a Genova, fra cui la galleria scolmatrice del Rio Fereggiano. In questo caso si tenga conto che la perforazione attraverserà, dall'alto verso il basso, spessori metrici di coltre colluviale e di substrato (molto) alterato prima di intercettare le argilliti fratturate.

Fra galleria scolmatrice e alveo del Torrente Torbella si colloca una struttura scatolare di collegamento. Il sondaggio S4 ha qui rilevato la presenza, per l'intera profondità di scavo, di un deposito argillitico marnoso attribuibile ad una coltre colluviale o di antica frana. I bassi valori degli SPT e di velocità delle onde sismiche avvalorano l'ipotesi che possa trattarsi di un terreno colluviale assimilabile a materiale sciolto. Esso verosimilmente lungo lo sviluppo dello scatolare passa lateralmente a depositi alluvionali. La presenza di materiali sciolti, di una viabilità locale, di fabbricati e di un viadotto autostradale impone il ricorso ad un contenimento degli scavi mediante paratie di pali o micropali.

Il materiale proveniente dagli scavi in sotterraneo della galleria idraulica per la sua natura lapidea ed argillitica non si presta per particolari utilizzi ma, sulla base di altre esperienze di cantiere, si ritiene possa trovare impiego (entro e fuori dall'ambito progettuale) e nella misura stimata almeno del 70-80%, per la realizzazione di rilevati stradali e/o riempimenti. Analoghe caratteristiche avrà il materiale granulare proveniente dagli scavi in alveo e composto in buona parte da clasti di argilliti ed argilloscisti.

Dalla carta geomorfologica non risultano condizioni di particolare vincolo in corrispondenza e immediato intorno delle opere, fatta eccezione per le elevate pendenze medie dei versanti. A monte dell'opera di presa, anche per effetto dell'affioramento della più "tenera" ed alterabile formazione di Ronco, sono cartografate alcune frane superficiali che interessano le coltri di copertura e/o, al massimo, la porzione corticale della coltre di alterazione, oltre a fenomeni di erosione superficiale. Erosione in alveo è cartografata in diverse tratte per effetto delle elevate pendenze longitudinali e della natura erodibile dei materiali. Questi elementi non interferiscono direttamente con le opere, se non per il fatto che in occasione di fenomeni meteorici particolarmente intensi potrebbero determinare un maggiore trasporto solido verso l'opera di presa.

Una frana di piccole dimensioni messa in sicurezza con una copertura in geostintetico, rete, chiodi e reticolo

di funi è stata individuata a margine di Via Fasciotti a nord dello sbocco della galleria. La distanza e le condizioni di stabilità attuali sono tali da non creare pregiudizi o condizionamenti alle opere. Una seconda frana di piccole dimensioni è riscontrabile lungo via Pontetti, a valle dell'opera di presa in sinistra idraulica del Rio Maltempo. Anche in questo caso la posizione non crea pregiudizio ai lavori in progetto, ma una sua riattivazione e/o estensione potrebbe scaricare materiale nell'alveo del Torbella in un punto dove questi è piuttosto ristretto. Il presente progetto in conformità con l'offerta tecnica presentata in sede di gara prevede un intervento di messa in sicurezza attraverso la regimazione delle acque di scorrimento superficiali lungo la strada a monte, la posa di una rete di contenimento con chiodi e reticoli di funi, ed un rivestimento antierosione tipo tenax multimat o similare. Una idrosemina, meglio se impiegando specie pioniere a radicazione profonda, permetterà una rinaturalizzazione dell'area proteggendo i terreni sottostanti dall'azione della pioggia battente ("splash erosion) e dall'erosione diffusa.

Dal punto di vista idrogeologico la formazione delle argilliti di Montanesi, entro cui si sviluppa la galleria, è sostanzialmente impermeabile. Non sono censite sorgenti entro e nell'intorno dei lavori, anche se la documentazione consultata inerente lo stoccaggio incontrollato di rifiuti a valle dell'autostrada riporta la presenza di una piccola emergenza idrica che, probabilmente perché captata e allontanata nell'ambito della messa in sicurezza del sito, non è stata riscontrata in sede di sopralluogo. Durante lo scavo in sotterraneo la roccia si presenterà da asciutta a umida, ma non mancheranno tratte con condizioni di stillicidio più o meno intenso specie in corrispondenza di fasce maggiormente fratturate e/o dell'intercettazione di intercalazioni arenacee. Le quantità d'acqua drenate nel cavo non saranno tali da condizionare direttamente le operazioni di scavo, anche tenuto conto che la pendenza della galleria diretta verso valle ne favorisce lo smaltimento. Si dovrà però sempre fare in modo di allontanare tali acque evitando accumuli in sotterraneo che potrebbero compromettere la stabilità della sezione e dei rivestimenti a causa della comprovata alterabilità e degradabilità della roccia proprio a contatto con l'acqua.

Nell'alveo del Torrente Torbella la falda è attesa per almeno 6-8 mesi a profondità nell'ordine di 3-4 m da p.c. o superiori, ma a seguito di eventi meteorici particolarmente intensi può innalzarsi sino ad affiorare. Ciò avviene in particolare fra i mesi di settembre e gennaio/febbraio quando lungo l'alveo si può rinvenire, in funzione del regime pluviometrico annuale, una portata liquida più o meno estesa e diffusa. Normalmente da aprile ad agosto la falda dovrebbe raggiungere la massima soggiacenza favorendo i lavori di movimento terra. La vulnerabilità idrogeologica di quest'ambito è elevata, e di ciò si dovrà tener conto nell'esecuzione dei lavori in alveo. Alcuni pozzi ad uso idropotabile sono censiti in prossimità della confluenza fra il Torbella ed il Polcevera; le attività in progetto non dovrebbero determinare ripercussione a loro carico ma in un approccio prudenziale, sentito il parere dell'ente gestore e tenuto conto della vulnerabilità potenziale, si potrà valutare l'opportunità di incrementare i controlli e/o limitare i prelievi duranti i lavori in alveo.

Della limitata e condizionata accessibilità dei luoghi si dovrà tener conto, specie per quanto attiene i lavori lungo il Rio Maltempo in corrispondenza dell'opera di presa.

Le indagini eseguite e quelle pregresse reperite hanno fornito un inquadramento geologico e geotecnico

adeguato al livello progettuale. Le indagini eseguite hanno altresì evidenziato locali dubbi interpretativi che potranno essere affrontati e risolti, in conformità con la normativa sui lavori pubblici, in sede di progettazione esecutiva tramite nuove integrazioni geognostiche puntuali. In particolare può essere opportuno eseguire un sondaggio in corrispondenza del ponte di Via Rossini per verificare l'effettiva profondità del substrato roccioso. In tale ambito il presente progetto è stato sviluppato mantenendo un approccio particolarmente cautelativo. Un ulteriore sondaggio potrà essere ubicato lungo lo sviluppo dello scatolare di collegamento fra galleria e Torrente Torbella. Altre eventuali indagini di verifica o approfondimento saranno da valutare a discrezione del progettista.

Le opere sono state opportunamente ubicate in modo da limitare al massimo l'interferenza con il tessuto urbanizzato esistente. Ciononostante viste anche le caratteristiche dei materiali l'adozione di un monitoraggio in galleria e sulle opere esistenti permetterà di verificare le ipotesi progettuali e l'effettiva interazione con i terreni.

# 13. CONCLUSIONI

La redazione del presente documento si è avvalsa dei risultati di indagini pregresse reperite da diverse fonti, integrate da rilievi geologici di campagna eseguiti direttamente dallo scrivente e da una campagna di indagini geognostiche condotta durante i primi mesi del 2022, ed articolata attraverso sondaggi a carotaggio continuo con prove in sito e di laboratorio su campioni, prospezioni geofisiche e pozzetti esplorativi. Ubicazioni e tipologie d'indagine sono stati condizionati dalla difficile accessibilità dei luoghi e dalle caratteristiche dei materiali. I dati ottenuti nel corso delle diverse indagini, sia reperite che eseguite, sono fra loro ben congruenti.

Per una più chiara rappresentazione dei rapporti intercorrenti fra opere e terreni sono stati redatti gli elaborati grafici relativi a carta geologica, carta geomorfologica, carta idrogeologica, profili e sezioni geologiche, che accompagnano il presente testo ed a cui si rimanda per maggiori approfondimenti.

L'area in studio si caratterizza per la presenza di un substrato roccioso argillitico riconducibile alla Formazione di Montanesi, un'unità strutturalmente complessa caratterizzata da valori di resistenza modesti, marcata fissilità, variabilità laterale e verticale del grado di fratturazione, alterabile nel tempo ed a contatto con aria ed acqua. I valori di RQD sono tendenzialmente bassi così come gli indici RMR e GSI. La giacitura degli strati, ove visibile e non occultata dallo stato fessurativo o complicata da pieghe derivanti dal comportamento duttile/fragile dell'ammasso, è immergente verso E o SE. Dalla cartografia geologica non risulta la presenza di faglie evidenti lungo l'opera, ma ciò è solo da attribuirsi alla particolare struttura di questa unità che ha un comportamento fragile/duttile ed è composta da accavallamenti tettonici interni non riconoscibili in campo, ma certamente presenti e testimoniati da una struttura fortemente deformata accompagnata da fasce diversamente fratturate.

Coperture colluviali sono presenti lungo i versanti per spessori generalmente modesti e che nella documentazione bibliografica risultano compresi fra 0,5-3 m circa, ma che localmente possono risultare maggiori come evidenziato dalle indagini pregresse e da quelle specificamente eseguite.

All'altezza del viadotto autostradale il Rio Maltempo è sbarrato da un accumulo di materiale di riporto che, da quanto risulta, è stato messo in opera all'epoca di costruzione dell'autostrada. Dalle indagini disponibili il suo spessore raggiunge punte superiori a 12-15 m e poggia direttamente sul substrato roccioso, solo talvolta con interposizione di una coltre colluviale.

Depositi alluvionali grossolani si riscontrano lungo l'alveo del Torrente Torbella fino alla confluenza con il Torrente Polcevera.

La galleria idraulica si sviluppa interamente nelle argilliti di Montanesi. Stesso dicasi per l'opera di presa, il cui scavo potrà intercettare uno spessore pellicolare di depositi colluviali con locali e limitate tasche più profonde in sponda idrografica destra.

L'opera di raccordo fra galleria idraulica e Torbella interessa depositi alluvionali e un deposito colluviale riconducibile, probabilmente, ad un antico corpo di frana.

I lavori di riprofilatura del Torrente Torbella interessano alluvioni grossolane con falda la cui soggiacenza varia fra 3-4 m e piano campagna in funzione del periodo stagionale e dell'intensità degli eventi meteorici.

Il modello geologico fornito è adeguato al livello progettuale. Le indagini ottenute, condizionate come sopra detto dalla limitata accessibilità dei luoghi, lasciano alcuni dubbi interpretativi in corrispondenza del ponte stradale di Via Rossini sul Torrente Torbella e lungo lo scatolare di raccordo fra galleria idraulica e Torrente Torbella. Si consiglia in sede di progettazione esecutiva la realizzazione di un sondaggio (attrezzato con piezometro) volto a confermare nel primo caso la locale ed effettiva profondità del tetto del substrato roccioso, e nel secondo il passaggio laterale fra colluvioni ed alluvioni. E' inoltre opportuno proseguire con il monitoraggio dei livelli idrici sui piezometri. Altre indagini di verifica o approfondimento potranno essere eseguite dove ritenuto opportuno dal progettista.

Nel complesso il quadro fornito a conclusione di questa fase progettuale è quello di una sostanziale fattibilità delle opere senza particolari condizionamenti, se non quelli derivanti da una corretta gestione delle acque superficiali, allontanamento delle acque in galleria, e una verifica periodica e competente dell'effettiva interazione opere terreni, anche con l'ausilio di un monitoraggio.