Regione Liguria

Città Metropolitana di Genova

COMUNE DI GENOVA

OPERE DI ADEGUAMENTO IDRAULICO DEL TRATTO TERMINALE DEL RIO ROSATA NEL COMUNE DI GENOVA

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

RTP:

MANDATARIA

EDes Earth Design

Dott. Ing. Bartolomeo VISCONTI
Dott. Ing. Luca GATTIGLIA
Dott. Ing. Chiara PALESE
Dott. Geol. Mauro CASTELLETTO

MANDANTI

ENARCH S.r.l.
Dott. Ing. Paolo RUGGIERI
Dott. Arch. Grazia PRASSA

Dott. Ing. Andrea MASCARO

Dott. Ing. Stefano VANDONI

Dott. Archeol. Fabrizio DEL PRETE

EDes Ingegneri Associati P.IVA 10759750010
Via Postumia 49, 10142 Torino
Tel. +39 011.0262900 Fax. +39 011.0262902
www.edesconsulting.eu edes@edesconsulting.eu

Elaborato		Codice	Revisione	Data
2		19038-DE42-0_GEO	0	MAR. 2020
Scala	-			

COMMITTENTE:	Comune di Genova
R.U.P.:	Dott. Arch. Roberto VALCALDA
	Via Garibaldi 9, Palazzo Tursi, 16124 Genova

REGIONE LIGURIA

CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA



COMUNE DI GENOVA

OPERE DI ADEGUAMENTO IDRAULICO DEL TRATTO TERMINALE DEL RIO ROSATA

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

INDICE

1. PREMESSA 1

2. UBICAZIONE DELL'AREA 1

3. OPERE IN PROGETTO 3

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO 4

4.1. UNITA' TETTONICA ANTOLA 7

4.2. DEPOSITI DI ETA' QUATERNARIA 9

5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE 9

5.1. GEOMORFOLOGIA DELLA VAL BISAGNO 10

6. ANALISI DEGLI STRUMENTI URBANISTICI E PERICOLOSITA' DEL SITO 11

6.1. PIANO DI BACINO 11

6.2. PIANO URBANISTICO COMUNALE (P.U.C.) 18
7. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO 23
7.1. GEOMORFOLOGIA 23
7.2. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE 24
7.2.1. Dati da sondaggi geognostici 25
7.3. IDROGEOLOGIA 27
7.4. PERICOLOSITA' SISMICA 28
7.5. SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE 32
8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO 33
8.1. PARAMETRI GEOTECNICI 33
8.1.1. Stima dell'angolo di resistenza al taglio 34

ALLEGATI

- **ALLEGATO 1: Stratigrafia e foto sondaggio geognostico S4 (gennaio 2020)**
- **ALLEGATO 2: Elaborati indagine sismica M_1 (Prova MASW, gennaio 2020)**
- **ALLEGATO 3: Planimetria con indicate le indagini eseguite (gennaio 2020) e quelle pregresse utilizzate**

R.T.P.:
Mandataria: Edes Ingegneri Associati
Mandanti: Enarch S.r.l.
Dott. Ing. Andrea Mascaro
Dott. Ing. Silvia Matarrese
Dott. Archeol. Fabrizio Del Prete

1. PREMESSA

Il presente documento viene redatto nell'ambito del progetto definitivo/esecutivo delle "Opere di adeguamento idraulico del tratto terminale del Rio Rosata", affluente di sinistra del Torrente Bisagno, in quanto il corso d'acqua presenta alcune criticità di carattere idraulico tra cui:

- una serie di ponticelli di attraversamento che possono costituire potenziale ostacolo al deflusso della piena;
- l'utilizzo di aree di chiara pertinenza fluviale quali orti o deposito di materiali, con evidente incremento della pericolosità in caso di eventi di piena, anche con bassi tempi di ritorno;
- la tombinatura al di sotto del parcheggio pubblico risulta insufficiente al transito della portata 200-ennale, per mancanza di franco rispetto al carico cinetico.

La presente relazione è stata redatta ai sensi del D.M. 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" e della Circolare C.S.LL.PP. n°7 del 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018", secondo cui le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese alle opere, dei caratteri geologici del sito, della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle condizioni ambientali.

Scopo della seguente indagine è quello di redigere uno studio rivolto alla caratterizzazione e alla modellazione geologica col fine di determinare le principali caratteristiche meccaniche dei terreni costituenti l'immediato sottosuolo e di verificare la compatibilità dell'intervento in funzione dell'equilibrio idrogeologico dell'area circostante.

Si è proceduto mediante:

- raccolta ed organizzazione dei dati geologici esistenti;
- indagini in sito al fine di verificare l'assetto litostratigrafico e le principali caratteristiche meccaniche del materiale costituente l'immediato sottosuolo del sito interessato dalle opere in progetto, mediante:
  - sopralluoghi in sito;
  - esecuzione di n°1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo con prove Standard Penetration Test (SPT) in foro;
  - esecuzione di n°1 indagine sismica del tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
  - esecuzione di n°2 campionamenti di terreno per analisi di laboratorio inerenti le terre e rocce da scavo.

2. UBICAZIONE DELL'AREA

L'area interessata dalle opere in progetto è ubicata nei pressi della Frazione Rosata Inferiore, in sponda sinistra del Torrente Bisagno. Il tronco d'alveo del Rio Rosata, oggetto di studio è quello terminale compreso tra il piccolo ponte stradale sulla Via Rosata di attraversamento del corso d'acqua (a monte) e la confluenza del Rio Rosata nel Bisagno dopo un tratto tombinato di circa 90 metri (a valle), per una lunghezza complessiva di corso d'acqua oggetto di intervento pari a circa 310 metri. L'area di indagine è situata a quote topografiche comprese tra 80 m slm e 105 m slm (Figura 1 e Figura 2).

R.T.P.:
Mandataria: Edes Ingegneri Associati
Mandanti: Enarch S.r.l.
Dott. Ing. Andrea Mascaro
Dott. Ing. Silvia Matarrese
Dott. Archeol. Fabrizio Del Prete



Figura 1*: foto aerea con localizzazione dell'area interessata dalle opere in progetto*

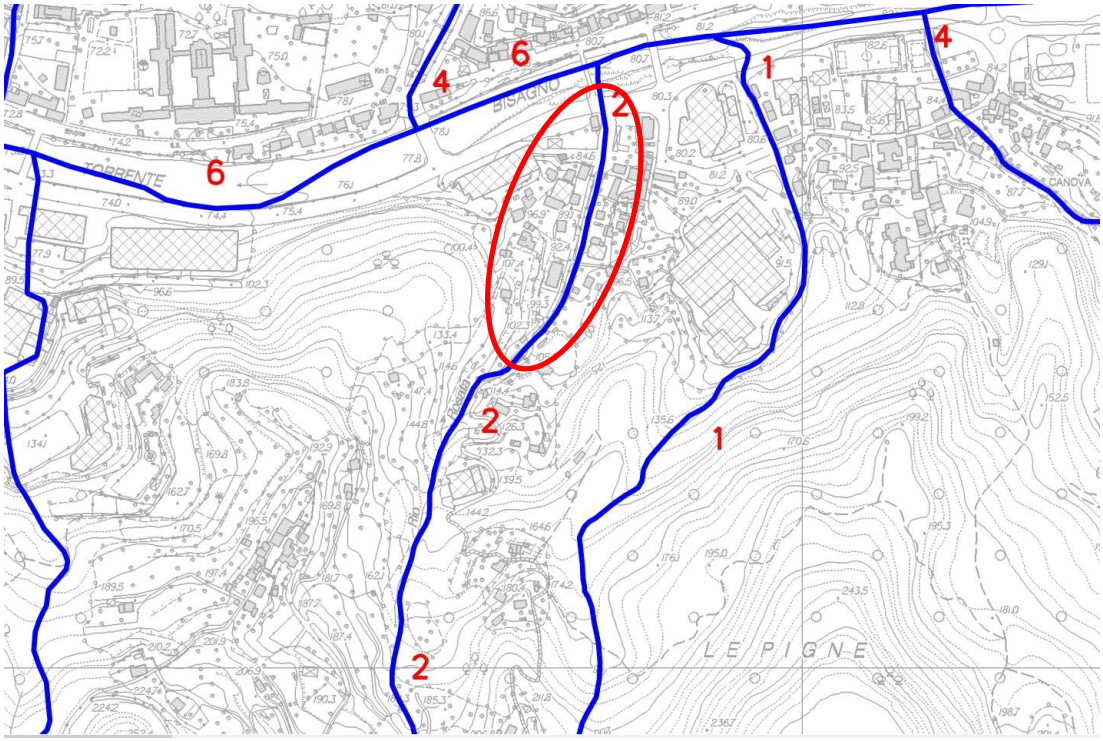


Figura 2: *stralcio Carta Tecnica Regione Liguria con indicazione dell'area interessata dalle opere in progetto*

Il tratto a cielo aperto dell'alveo del Rio Rosata, nell'area oggetto di indagine, risulta essere compreso tra il muro che sostiene la sede stradale di Via Rosata, che sale verso le abitazioni costeggiando l'alveo in sinistra orografica, e i muri delle proprietà presenti in destra orografica. Solo il tratto tombinato finale dell'alveo, prima della confluenza del Torrente Bisagno, risulta essere plateato con sezioni della tombinatura di forma regolare assimilabile a quella rettangolare con larghezze al fondo mediamente di circa 6.50 metri.

L'areale interessato dalle opere in progetto (tratto finale del Rio Rosata) risulta situato in parte all'interno delle aree sottoposte al vincolo idrogeologico ai sensi del R.D. n°3267 del 30/12/1923 (settore d'alveo a cielo aperto nella zona di monte) e in parte all'esterno di tali aree (tratto di valle tombinato), come evidenziato dallo stralcio planimetrico di Figura 3.

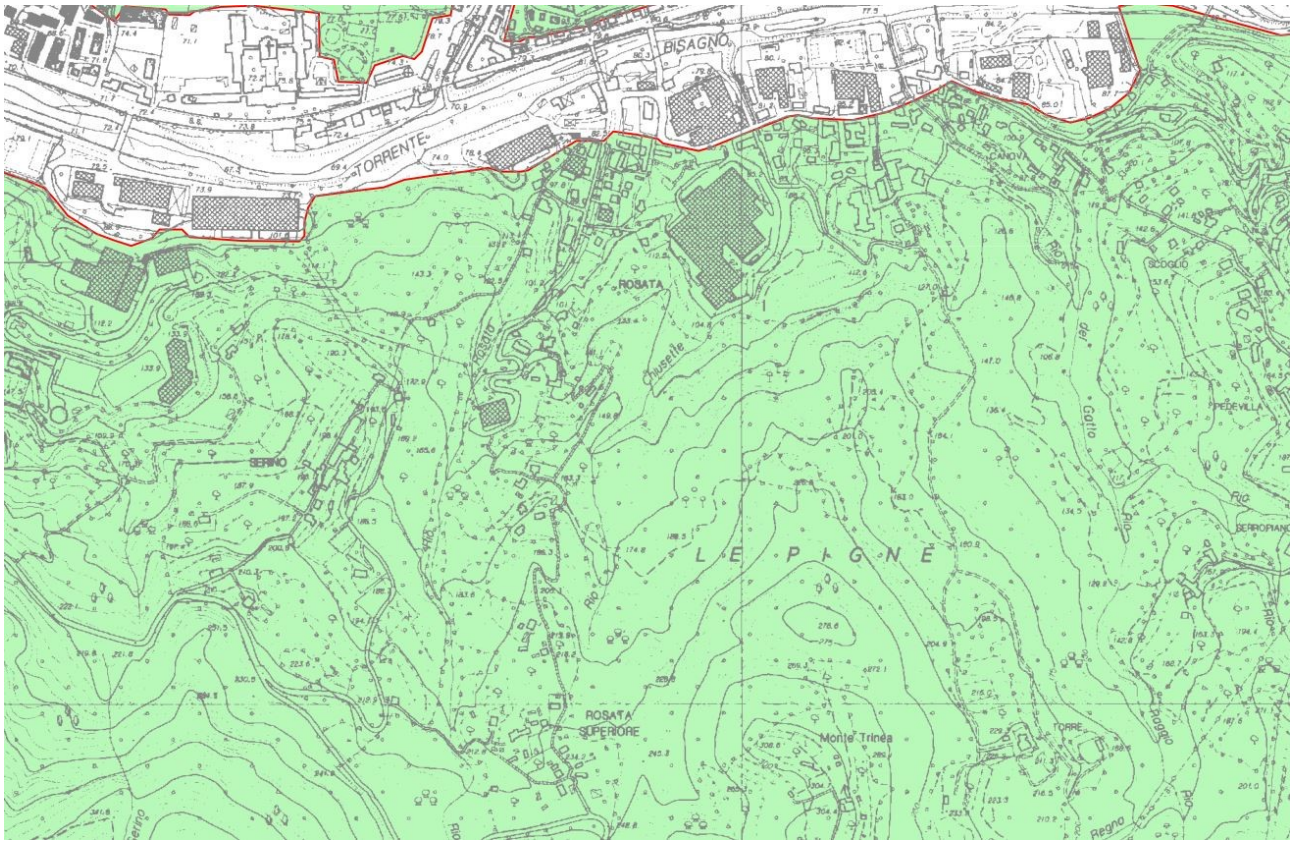


Figura 3: *stralcio cartografico con indicazione delle aree sottoposte a vincolo idrogeologico (in colore verde) ai sensi del R.D. n°3267 del 30/12/1923*

3. OPERE IN PROGETTO

Le opere in progetto consistono, come indicato negli elaborati progettuali, nei lavori di adeguamento idraulico del tratto terminale del Rio Rosata, affluente di sinistra del Torrente Bisagno, nell'ambito del progetto definitivo/esecutivo redatto dall'RTP "EDes Ingegneri Associati, Enarch srl, Ing. Andrea Mascaro, Ing. Silvia Matarrese".

Il progetto di adeguamento idraulico ed idrogeologico del Rio Rosata a Genova riguarda una serie di interventi finalizzati alla messa in sicurezza nei confronti delle portate di piena duecentennali così come definite e descritte nel Piano di Bacino del Torrente Bisagno. Gli interventi si estendono dalla foce del corso d'acqua

nel Torrente Bisagno per una estensione di circa 290 metri verso monte. L'intervento è stato suddiviso in 6 aree così come indicato negli elaborati di progetto.

In generale, il progetto prevede:

- la demolizione del tratto di monte dello scatolare in corrispondenza del piazzale adibito a parcheggio e il suo rifacimento;
- il "riordino" idraulico delle sezioni nel tratto di monte, con l'eliminazione di alcuni manufatti e terrapieni che riducono le sezioni d'alveo, e l'eliminazione di 4 passerelle pedonali, sostituite con la realizzazione di una sola nuova, a servizio delle proprietà interessate e adeguata sotto il profilo idraulico;
- la riprofilatura del fondo alveo con abbassamento del fondo nel tratto compreso tra l'imbocco dello scatolare e il ponte di sezione 340-350;
- la demolizione e ricostruzione del ponte di monte, presente in corrispondenza della sezione 490;
- la realizzazione di parapetto lungo tutta la sponda sinistra (via Rosata) per garantire il franco idraulico;
- gli interventi generalizzati di decespugliamento e riprofilatura del fondo e ripresa di alcune erosioni localizzate.

In generale quindi il progetto definitivo/esecutivo prevede interventi di "riordino" delle sezioni nel tratto di monte, con razionalizzazione degli attraversamenti, e interventi sulle sponde al fine di garantire la stabilità delle stesse in alcuni tratti in cui sono evidenti fenomeni di erosione localizzata di sponda e/o muri esistenti; sempre nel tratto di monte si prevede, in accordo con le previsioni di Progetto preliminare, la realizzazione di parapetti continui che garantiscono il franco idraulico lungo la via Rosata; a questo proposito si evidenzia come nel preliminare i parapetti fossero previsti in modo discontinuo, mentre nel progetto definitivo si è ritenuto di prevedere una soluzione che garantisca omogeneità alla soluzione lungo tutta la via Rosata, risolvendo contestualmente sia la problematica di carattere idraulico sia quella connessa con gli aspetti di sicurezza stradale, e fornendo comunque una soluzione nel complesso omogenea.

Il progetto prevede poi l'adeguamento della sezione dello scatolare nel tratto di valle, con allargamento in sponda orografica destra della sezione esistente; l'analisi della struttura esistente ha evidenziato comunque una situazione di criticità statica del tratto terminale dello scatolare (per altro già affrontata nel preliminare) e comunque l'impossibilità di utilizzare la spalla sinistra esistente, senza alcun intervento di rinforzo, per l'appoggio della nuova soletta dello scatolare; questa situazione ha comportato la previsione di un rinforzo della spalla stessa, che, come descritto nel seguito, consta nella realizzazione di un nuovo appoggio svincolato dalla struttura esistente (a tergo del muro esistente) e la realizzazione di un contromuro, evitando la demolizione del muro esistente (soluzione che riduce l'impatto esecutivo in termini di scavi, demolizioni e oneri di discarica).

Gli interventi proposti sono da qualificarsi come *interventi strutturali di sistemazione idraulica finalizzati alla messa in sicurezza o alla significativa mitigazione del rischio idraulico*.

Si tratta di interventi finalizzati a risolvere in modo complessivo le situazioni di criticità e rischio di tipo idraulico.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le più valide informazioni sull'assetto geologico locale sono state tratte dalle indagini eseguite per gli studi del "Piano di Bacino" del Torrente Bisagno (approvato con D.C.P. n°19 del 15/04/2009), del "Piano di Bacino" del Torrente Bisagno (approvato con D.C.P. n°40 del 11/12/2014), del P.U.C. (Piano Urbanistico Comunale)

del Comune di Genova (recepimento della pianificazione di bacino al 31/05/2017) e della Carta Geologica d'Italia – Foglio n°214 Bargagli alla scala 1:50.000.

Dal punto di vista geologico-strutturale il territorio dell'area genovese ha caratteristiche del tutto peculiari in quanto è stato da sempre considerato come area di transizione tra la catena Alpina e quella Appenninica, comprendendo unità delle Alpi Liguri che sono state dapprima coinvolte nell'evoluzione alpina a livelli più o meno profondi e successivamente sono state interessate da una tettonica attribuibile all'evoluzione appenninica (Figura 4).

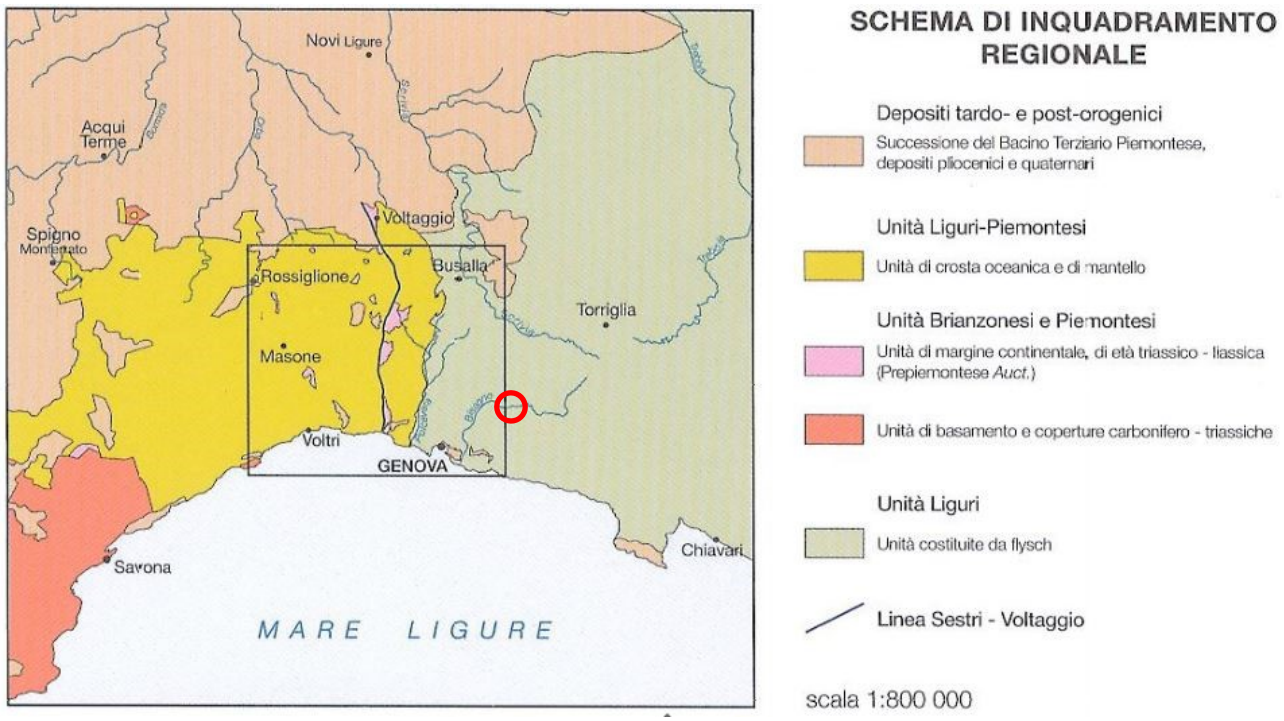


Figura 4: *schema di inquadramento geologico-geografico regionale*

Le Alpi Liguri costituiscono la terminazione meridionale delle Alpi Occidentali e sono costituite 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, impostatosi 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 sono quindi caratterizzate dalla sovrapposizione di unità di crosta oceanica e di mantello, rappresentate dall'Unità Figogna, Palmaro-Caffarella, Cravasco-Voltaggio e Voltri (diffuse soprattutto nel settore occidentale del Comune di Genova), caratterizzate da un diverso gradiente metamorfico. La similitudine nell'evoluzione tettono-metamorfica indica che a tali unità è stata precocemente associata l'Unità Gazzo–Isoverde, le cui caratteristiche litologiche suggeriscono una derivazione da margine continentale. Queste unità sono state esumate e accavallate le une sulle altre e sull'avampaese europeo.

Le unità costituite da flysch che affiorano nella parte orientale del territorio comunale di Genova (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 (Figura 5).

Queste unità sono a loro volta accavallate sulle unità di grado metamorfico più elevato (Figura 6).

Questo complesso impilamento di unità è ricoperto in discordanza dai depositi del Bacino Terziario Piemontese, una successione sedimentaria tardo eocenica-oligocenica che all'interno del territorio comunale affiora nell'immediato entroterra di Prà.

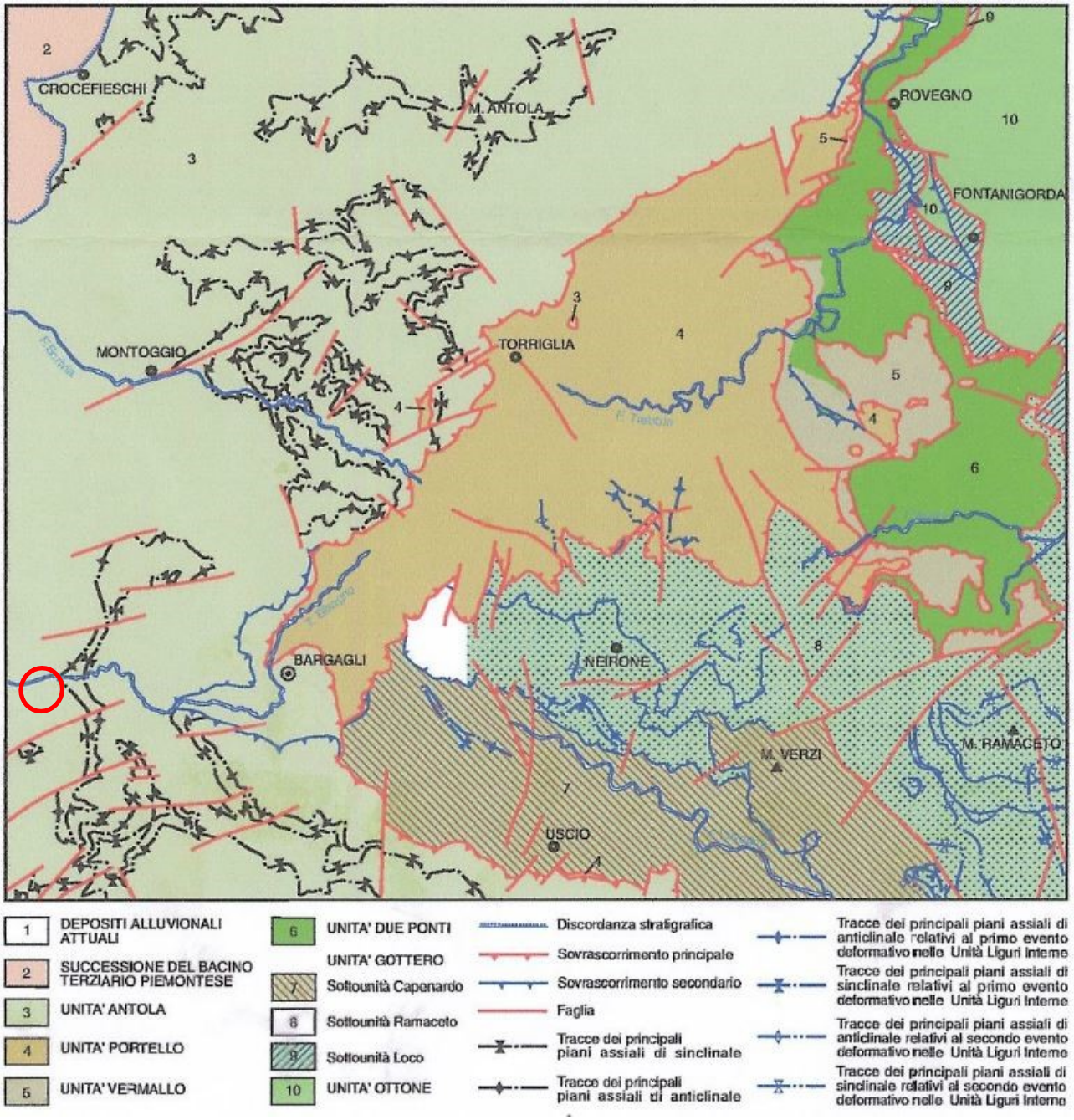


Figura 5: *schema tettonico e legenda dell'area oggetto di indagine*

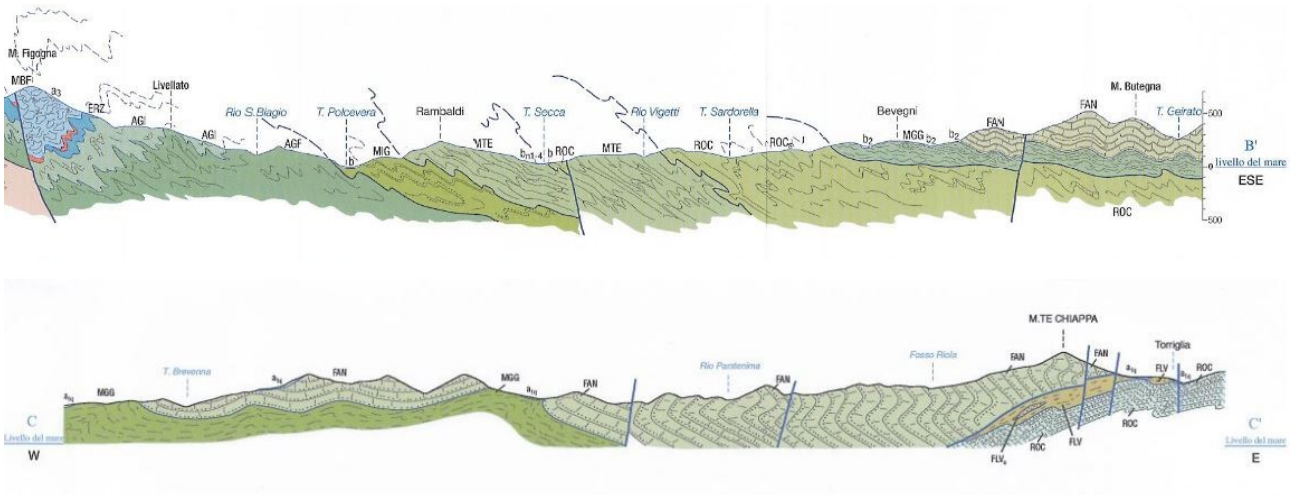


Figura 6: *porzioni di profilo geologico tratto da Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:50.000, Foglio n°213-230 Genova (sopra) e di profilo geologico tratto da Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:50.000, Foglio n°214 Bargagli (sotto), che evidenziano l'impilamento delle varie unità tettoniche*

4.1. UNITA' TETTONICA ANTOLA

Nell'area oggetto di indagine l'assetto geologico è caratterizzato in prevalenza da sequenze di natura flyschiode rappresentate dall'Unità tettonica Antola che è un'unità non metamorfica, costituita da flysch ad Helminthoidi Auctt. (formazione del Monte Antola) e dal relativo complesso di base (argilliti di Montoggio). L'età è attribuibile al Cretacico superiore. Essa affiora estesamente nella parte orientale e centrale del territorio comunale di Genova, come riportato nella Carta Geologica d'Italia – Foglio n°214 Bargagli alla scala 1:50.000 (Figura 7).

L'Unità tettonica Antola rappresenta l'unità tettonica geometricamente più elevata, fra l'Unità Ronco (Foglio Genova) o Unità tettonica Portello (Foglio Bargagli) alla base e la discordante successione del Bacino Terziario Piemontese al tetto, rappresentata dai conglomerati di Savignone. L'assetto tettonico dell'unità è caratterizzato dalla sovrapposizione di diversi eventi plicativi: sono quindi presenti sia settori dove prevalgono superfici di strato a giacitura normale sia settori dove occorrono giaciture a polarità rovesciata.

All'interno di questa unità, dal basso verso l'alto, si distinguono la formazione delle argilliti di Montoggio e la formazione del Monte Antola.

Le argilliti di Montoggio affiorano limitatamente al bacino del Torrente Bisagno in corpi poco potenti e in sottili orizzonti alla base dei calcari della formazione del Monte Antola. Sono costituite da argilliti emipelagiche di colore nero e verdastro, più o meno siltose, in strati da centimetrici a decimetrici, con rare intercalazioni di arenarie quarzose e di calcari arenacei e marnosi. Il tetto della formazione è caratterizzato da scisti policromi, spesso rosso-vinati. Nell'area oggetto di indagine queste rocce affiorano lungo l'alveo del Rio Rosata in modo particolare nei pressi del piccolo ponte che attraversa il corso d'acqua, circa 220 metri a monte del tratto tombinato.

L'ambiente deposizionale supposto corrisponde ad una piana di bacino sottoalimentata (Marini, 1998). La valutazione dello spessore è largamente ipotetica a causa delle deformazioni plicative e delle laminazioni tettoniche; uno spessore compreso tra i 40 e i 60 m della formazione è comunque ipotizzabile con una discreta approssimazione.

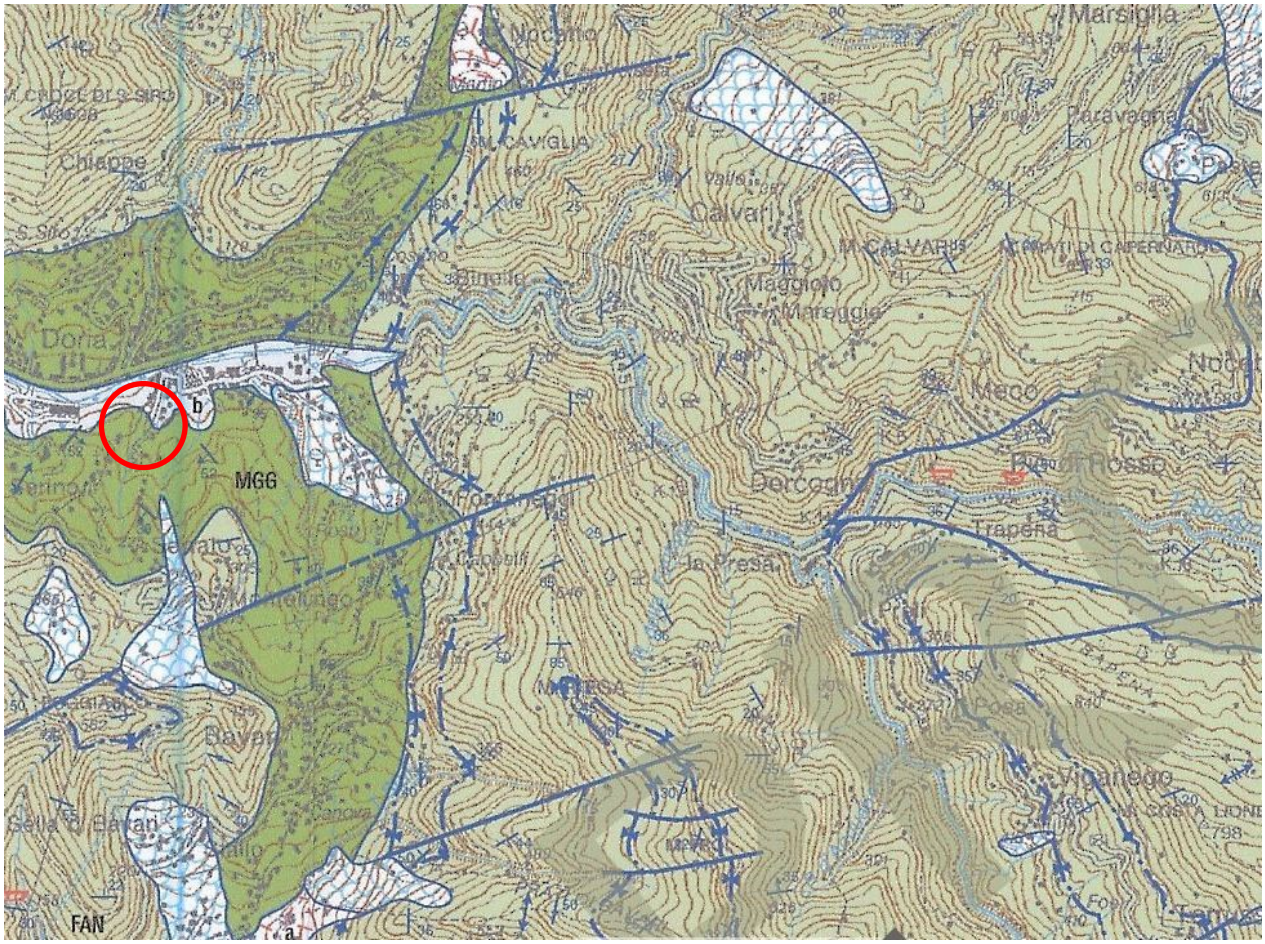


Figura 7: *stralcio Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:50.000, Foglio n°214 Bargagli*

Nei rari affioramenti in cui è visibile il passaggio stratigrafico ai soprastanti calcari della formazione del Monte Antola il contatto è quasi sempre riattivato tettonicamente da zone di taglio, probabilmente a causa della disarmonia di comportamento delle due formazioni durante la deformazione. L'età è attribuita al Campaniano sulla base del nannoplancton calcareo presente.

La Formazione del Monte Antola affiora in potenti successioni costituendo il substrato della parte orientale della città di Genova. Si tratta di torbiditi calcareo-marnose con strati di spessore fino a plurimetrico di calcareniti, marne e marne calcaree, alternate ad argilliti emipelagiche in strati centimetrici.

Anche per questa formazione lo spessore originale è difficilmente quantificabile a causa di più deformazioni plicative sovrapposte ma è ipotizzato come non superiore ai 1000 metri.

Nella porzione superiore degli strati più calcarei è comune osservare piste di nutrimento e di locomozione di limivori (Helminthoidea labyrinthica e Chondrites), tanto che queste rocce sono da sempre conosciute anche come flysch ad Helminthoidi. Si ipotizza una deposizione da correnti di torbidità a bassa densità, in un ambiente deposizionale di piana abissale.

Le analisi paleontologiche eseguite permettono di datare le torbiditi calcareo marnose della formazione affioranti nel territorio genovese al Campaniano.

Questa formazione affiora in aree esterne a quelle oggetto di indagine (es: zona di testata del bacino del Rio Rosata).

Dal punto di vista tettonico l'Unità Antola ha la posizione strutturale più elevata ed è sovrascorsa sulle Unità Liguridi Interne. Rispetto a quest'ultime, l'Unità Antola, presenta un grado minore di tettonizzazione nonostante siano presenti più fasi di piegamento (Marini, 1981). Le condizioni metamorfiche delle deformazioni sono confinate alla diagenesi. All'interno di questa unità è stata riconosciuta una storia plicativa polifasica caratterizzata da almeno due fasi deformative principali e due fasi secondarie.

4.2. DEPOSITI DI ETA' QUATERNARIA

Per quanto concerne i depositi di età quaternaria presenti nella zona oggetto di indagine si segnala la presenza di:

- depositi fluviali di origine alluvionale costituiti prevalentemente da materiale ghiaioso-sabbiosi con ciottoli, lungo gli alvei dei corsi d'acqua principali (Torrente Bisagno e Rio Rosata);
- depositi eluvio-colluviali che, in corrispondenza dei versanti, ricoprono le rocce del substrato di età cretacea (Unità tettonica Antola);
- depositi di frana, frequenti nei versanti laterali dei corsi d'acqua secondari;
- depositi detritici per fenomeni gravitativi e per l'apporto più o meno sensibile dei fenomeni di ruscellamento, anche questi diffusi in modo particolare nei versanti laterali dei corsi d'acqua secondari.

5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE

Il settore in esame durante il periodo Plio-Quaternario si inserisce in un unico schema evolutivo, in cui una tettonica disgiuntiva si sovraimpone alle strutture precedenti.

In particolare, gioca un ruolo fondamentale il sistema di faglie dirette, prevalentemente immergenti verso mare, attivo dal Miocene superiore a tutt'oggi. Oltre ai "graben" pliocenici importanti strutture distensive orientate circa E-O sono riscontrabili in Val Bisagno ed in Valle Sturla. L'azione geodinamica dovuta all'apertura del margine continentale condiziona il reticolo idrografico, favorendo l'impostarsi di nuovi bacini "costieri" e comportando un'azione di ringiovanimento del paesaggio.

L'adeguamento dei versanti al sollevamento del settore continentale si manifesta sotto forma di erosione regressiva, rimontante attualmente lungo le valli secondarie, oppure con movimenti gravitativi profondi in corrispondenza del contatto litologico tra materiali rigidi e duttili (es. calcari marnosi-argilliti), in cui strutture neotettoniche e deformazioni gravitative profonde si confondono.

Evidenze geomorfologiche, riferibili ad antichi livelli di base plio-quaternari, sono presenti invece lungo i versanti dei bacini principali sotto forma di superfici spianate in roccia. Di particolare significato ed interesse geomorfologico sono anche le superfici di abrasione marina, disposte su più quote, di cui si hanno numerosi esempi da Coronata a Nervi.

In Val Polcevera, dove prevalgono i litotipi argilloscistosi, è predominante la tipologia di frana di scorrimento, generalmente traslazionale, dovuta all'impregnazione e saturazione della coltre detritica superficiale; l'interfaccia tra la porzione alterata ed il substrato roccioso sano, reperibile solitamente a profondità variabili tra 1 e 2 metri, costituisce la superficie di scorrimento. Il comportamento geotecnico e geomeccanico degli argilloscisti e dei litotipi appartenenti alla Formazione di Ronco è pressoché omogeneo.

Nelle coltri di alterazione eluvio-colluviali si possono invece innescare frane di "prima generazione" di tipo traslazionale e di colata (debris flow e soil slip), soprattutto in corrispondenza di precipitazioni brevi e intense.

Nei calcari marnosi che sono presenti soprattutto in Val Bisagno e nei bacini minori (T. Sturla, T. Nervi) le tipologie di frana risultano condizionate dall'assetto giaciturale e strutturale della stratificazione e dei piani

di fratturazione: si osservano scorrimenti traslazionali in roccia in condizioni a "franapoggio" e ribaltamenti e crolli in condizioni a "reggipoggio". Anche le coltri di copertura dei calcari marnosi sono soggette a tipologie di frana di prima generazione analoghe a quelle degli argilloscisti, mentre per coltri di grandi dimensioni la tipologia è di tipo più complesso. In quest'ultimo caso si tratta in genere di dissesti di ampia magnitudo che si innescano in prossimità del contatto litologico tra i calcari marnosi e le argilliti sottostanti. L'elevato contrasto di permeabilità fra le due formazioni, dà origine in prossimità del contatto a zone di saturazione ed impregnazione, provocando la colata degli argilloscisti impregnati ed il crollo o lo scorrimento dei calcari sovrastanti, soggetti anche ad espansione laterale.

Forme e processi fluviali predominano nei fondovalle, generalmente caratterizzati dalla presenza di depositi alluvionali grossolani.

Nell'insieme tutti i bacini presentano caratteristiche di torrenti montani, con forte acclività, breve distanza dallo spartiacque alla linea di riva e presenza di strette piane costiere, originatesi per progradazione delle foci torrentizie, intensamente urbanizzate ed esposte al rischio di esondazione.

5.1. GEOMORFOLOGIA DELLA VAL BISAGNO

L'asta principale della valle presenta un andamento a spezzata che si estende verso NNE-SSO lungo il centro cittadino e che descrive un'ampia deviazione in senso Est-Ovest in prossimità di Molassana fino al limite del confine comunale a Struppa per riprendere quindi la direttrice NNO-SSE.

Il reticolo idrografico è profondamente asimmetrico, con bacini secondari in sponda orografica destra più sviluppati in conseguenza sia del prevalente condizionamento neotettonico, sia dell'erosione differenziale tra calcari marnosi ed argilliti, queste ultime distribuite nelle depressioni.

Nell'area di pertinenza del territorio comunale della Città di Genova il substrato è rappresentato in prevalenza dall'Unità dell'Antola e solo nella zona di foce il bacino è delimitato in sponda destra dal terrazzo di Carignano, che rappresenta un ulteriore blocco in calcari marnosi ribassato della tettonica distensiva plio-quaternaria. La superficie di abrasione marina in questo caso modella, nella zona sommitale di Via Alessi e Mura di Santa Chiara, anche depositi pliocenici, presenti anche sotto le alluvioni quaternarie dalla Foce a Staglieno.

Nei settori di affioramento della Unità tettonica Antola la morfologia delle zone a substrato argillitico è più dolce, con vegetazione più lussureggiante a causa della presenza di acqua superficiale e di una maggiore evoluzione pedologica dei terreni, mentre i calcari favoriscono la presenza di pendenze elevate, sovente prossime alla verticalità. Tale differenza morfologica è dovuta alle caratteristiche geomeccaniche ed idrogeologiche molto diverse tra i calcari di Monte Antola e le argilliti di Montoggio, generalmente scadenti per queste ultime, che diventano pessime in concomitanza di condizioni geomorfologiche sfavorevoli.

La formazione calcarea ha una resistenza complessiva molto più elevata, sebbene le condizioni tettonico-strutturali possano localmente favorire movimenti franosi di grande importanza. In conseguenza di ciò le tipologie di frana nei calcari dipendono dalle condizioni giaciturali e possono dare origine a frane di crollo-ribaltamento oppure di scivolamento rispettivamente in condizioni a reggipoggio o a franapoggio e pseudofranapoggio.

Le diverse caratteristiche tra le due formazioni sono la causa della predisposizione al dissesto di numerosi settori della valle in cui le zone di contatto tra argilliti e calcari costituiscono spesso la superficie di scivolamento di frane di tipo complesso, anche di estese dimensioni, generalmente innescate in seguito ad erosione al piede dei versanti. Tali frane sono distribuite sia in prossimità degli attuali alvei torrentizi, sia sui medi versanti, rappresentando nel secondo caso paleofrane quiescenti, scollegate dall'attuale condizione dinamica e riattivabili solo in occasione di sbancamenti particolari.

Sulla base delle tipologie sopra descritte si riconoscono in sponda destra del Torrente Bisagno alcuni fenomeni franosi particolarmente significativi, tra cui occorre ricordare le frane complesse del Rio delle Casette, nel settore sommitale del Rio Torbido e quelle presenti in sponda sinistra nel bacino del Torrente Geirato, disposte sempre lungo il contatto calcari-argilliti, di cui alcune attive per cause naturali e altre che rappresentano la riattivazione di paleofrane e nel bacino del Rio Rosata soprattutto nel settore mediano e di monte assai attive soprattutto in prossimità dell'alveo del corso d'acqua in entrambe le sponde.

In sponda sinistra del Torrente Bisagno appare più problematica la situazione, dal punto di vista ambientale, per la presenza delle cave ed ex cave di calcare.

6. ANALISI DEGLI STRUMENTI URBANISTICI E PERICOLOSITA' DEL SITO

Le principali informazioni relative agli strumenti urbanistici vigenti e al grado di pericolosità del sito oggetto di indagine sono state desunte dallo studio per il "Piano di Bacino" del Torrente Bisagno della Regione Liguria e dal "Piano Urbanistico Comunale" (PUC) del Comune di Genova.

6.1. PIANO DI BACINO

Il Piano di Bacino del Torrente Bisagno e del territorio comunale della Città di Genova è costituito da numerosi documenti ed elaborati.

In particolare, il "Piano di Bacino sul bilancio idrico" (L.R. 18/99 art.91) della Città di Genova (Approvato con D.C.P. n°19 del 15/04/2009) è costituito dai seguenti documenti ed elaborati (consultabili dal sito web):

- Carta geolitologica (Tav. 01-BIS);
- Carta conduttività idraulica (Tav. 02-BIS);
- Carta uso del suolo (Tav. 03-BIS);
- Carta acquifero alluvionale (Tav. 04-BIS1);
- Carta acquifero alluvionale (Tav. 04-BIS2);
- Carta sorgenti captate e non captate (Tav. 10-BIS).

Il "Piano di Bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico" del Torrente Bisagno approvato con DCP n°40 del 11/12/2014, in parte revisionato con Decreto del Direttore Generale n°14 del 12/06/2017, è costituito dai seguenti documenti ed elaborati (consultabili dal sito web):

- Carta dell'acclività;
- Carta dell'esposizione dei versanti;
- Carta geolitologica;
- Carta idrogeologica;
- Carta dell'uso del suolo;
- Carta elementi a rischio;
- Carta dei principali vincoli territoriali;
- Carta della franosità reale;
- Carta geomorfologica;
- Carta delle aree inondabili e aree storicamente inondate;
- Carta del reticolo idrografico.

Il "Piano di Bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico" – Ambito 14 - del Torrente Bisagno approvato con D.G.R. n°97 del 08/02/2017 ed entrato in vigore il 28/06/2017 è costituito dai seguenti documenti ed elaborati (consultabili dal sito web):

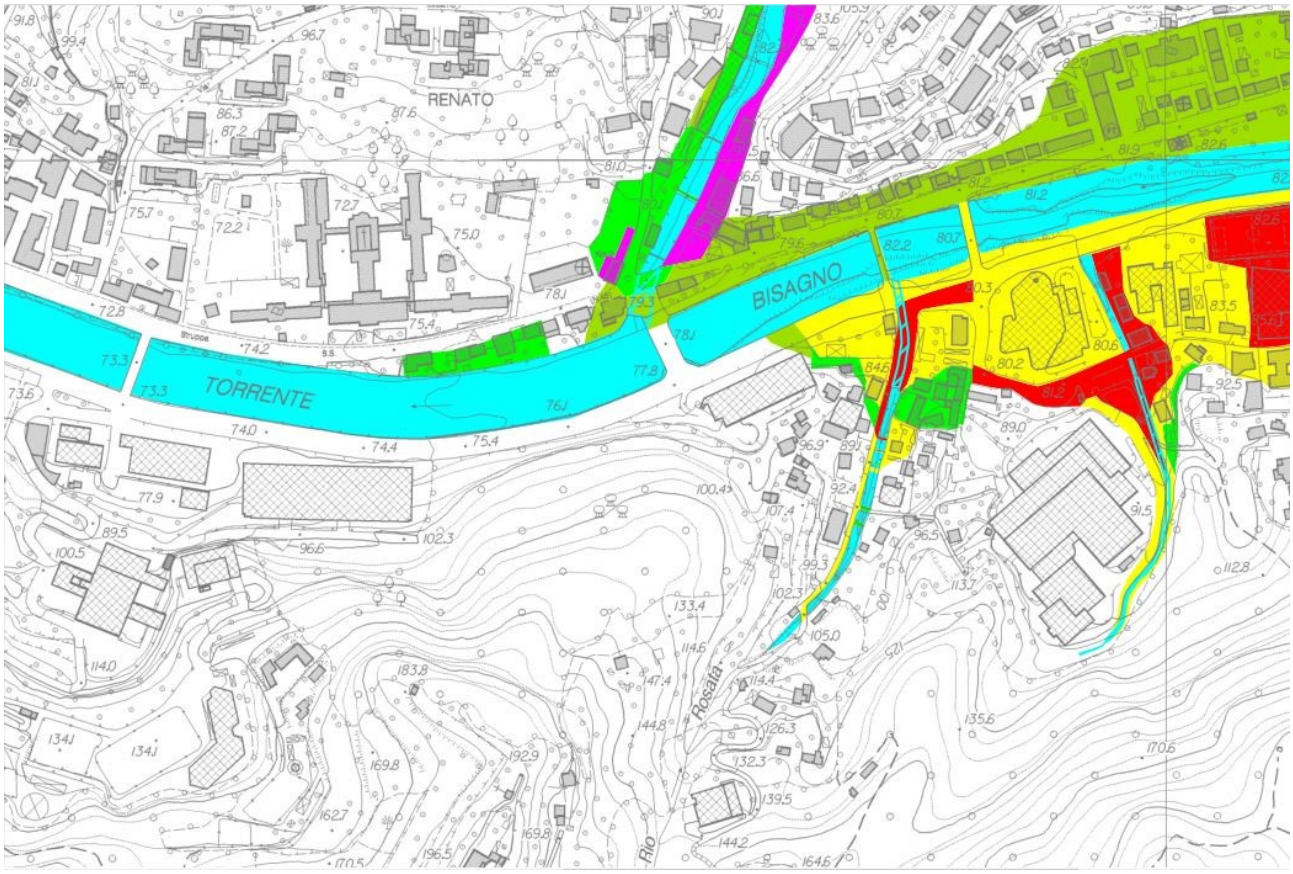
- Relazione Generale;
- Norme di attuazione;
- Catalogo dei principali movimenti franosi;
- Piano interventi di mitigazione del rischio;
- Sottobacini e parametri caratteristici;
- Carta delle fasce di inondabilità e degli ambiti normativi;
- Carta degli interventi;
- Carta del rischio geologico;
- Carta del rischio idraulico;
- Carta della suscettività al dissesto.

In riferimento alla cartografia approvata in data più recente ("Piano di Bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico" – Ambito 14 - del Torrente Bisagno approvato con D.G.R. n°97 del 08/02/2017) si evidenzia che il tratto di Rio Rosata interessato dalle opere in progetto ricade all'interno della Fascia A e della Fascia B delle fasce di inondabilità di cui alla lett. a), comma 2, dell'art. 12, delle N.T.A del Piano di Bacino del Torrente Bisagno, come evidenziato nella "Carta delle fasce di inondabilità e degli ambiti normativi" del Piano di Bacino, alla scala 1:5.000 (Figura 8). Le fasce di inondabilità sono normate dall'art. 15 delle N.T.A. del Piano di Bacino. La "Carta delle fasce di inondabilità e degli ambiti normativi" del Piano di Bacino concorda con quanto indicato nella "Carta aree inondabili e delle aree storicamente inondate" (ultima revisione con Decreto del Direttore Generale n°14 del 12/06/2017) del Piano di Bacino (Figura 9), dove il tratto terminale del Rio Rosata ricade all'interno sia delle "Aree storicamente inondate DGR 594/01 – Regione Liguria.

L'esame della "Carta delle fasce di inondabilità e degli ambiti normativi" evidenzia che lungo il tratto di corso d'acqua in oggetto:

- il settore di valle tombinato (sotto il parcheggio) e quello a cielo aperto del Rio Rosata, prossimo alla tombinatura, ricadono in fascia A rossa (area a pericolosità idraulica molto elevata (Pi3) cioè aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=50 anni);
- il settore d'alveo a cielo aperto del Rio Rosata (parallelo alla stessa Via Rosata), fino al ponte a monte che attraversa l'alveo, ricade interamente in fascia B gialla (pericolosità idraulica media (Pi2) cioè aree perifluviali, esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=200 anni). In questo tratto i due attraversamenti pedonali più a monte risultano in fascia C verde (aree perifluviali, esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=500 anni, o aree storicamente inondate ove più ampie, laddove non si siano verificate modifiche definitive del territorio tali da escludere il ripetersi dell'evento), mentre gli ultimi 3 attraversamenti di cui uno carrabile e due pedonali risultano rispettivamente in fascia B gialla e fascia A rossa;
- una stretta fascia in sponda sinistra del Torrente Bisagno comprendente anche la S.S. n°45 (Via A. Pedullà) e un breve tratto del settore tombinato del Rio Rosata presso la foce nel T. Bisagno ricadono interamente in fascia B gialla (pericolosità idraulica media (Pi2) cioè aree perifluviali, esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=200 anni).

Le NTA del Piano di Bacino evidenziano che qualsiasi intervento realizzato nelle aree inondabili non deve pregiudicare la sistemazione idraulica definitiva del corso d'acqua, aumentare la pericolosità di inondazione ed il rischio connesso, sia localmente, sia a monte e a valle, costituire significativo ostacolo al deflusso delle acque di piena, ridurre significativamente la capacità di invaso delle aree stesse.



LEGENDA

FASCE FLUVIALI	NORME DI ATTUAZIONE
FASCIA A	Art. 15, c. 2
FASCIA A*	Art. 15, c. 4bis
FASCIA B	Art. 15, c. 3
AMBITO BB	Art. 15, c. 3bis
AMBITO BO	Art. 15, c. 3bis
FASCIA B* (Aree storicamente inondate in tratti non indagati o con indagini non sufficienti)	Art. 15, c. 4bis
FASCIA C	Art. 15, c. 4
FASCIA C (Aree storicamente inondate in tratti indagati)	Art. 15, c. 4
FASCIA C (Aree ex inondabili)	Art. 15, c. 4
ALVEO	Art. 13
ALVEO TOMBINATO	Art. 13
FASCIA DI RISPETTO DELLO SCOLMATORE	Art. 17 bis

CRITICITA' IDRAULICHE PUNTUALI
Manufatto o copertura non verificata per T=50 anni
Manufatto o copertura non verificata per T=200 anni
Manufatto o copertura non verificata per T=500 anni
Proiezione dei viadotti
Limite del bacino

Figura 8: *stralcio "Carta delle fasce di inondabilità e degli ambiti normativi" del Piano di Bacino del Torrente Bisagno (2017)*

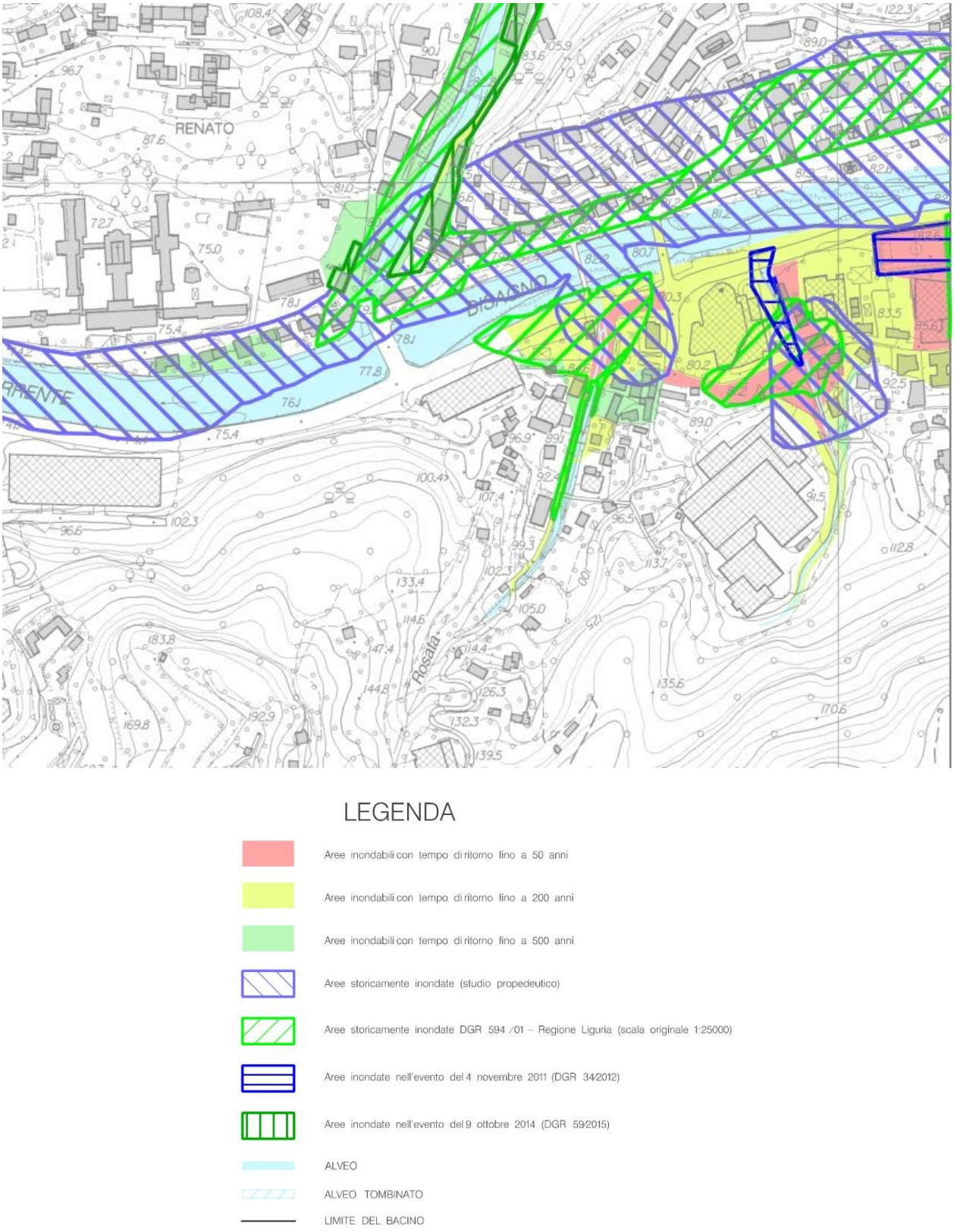


Figura 9: *stralcio "Carta aree inondabili e delle aree storicamente inondate" del Piano di Bacino del Torrente Bisagno (ultima revisione 2017)*

Sulla base delle perimetrazioni legate alle fasce di inondabilità nella "Carta del rischio idraulico" del Piano di Bacino, alla scala 1:5.000 (Figura 10), l'intero tratto del Rio Rosata a valle del ponte di Via Rosata che attraversa l'alveo del corso d'acqua, ricade in area a "Rischio molto elevato R4", mentre ristrette zone laterali all'alveo sia in destra che in sinistra orografica ricadono in area a "Rischio medio R2".

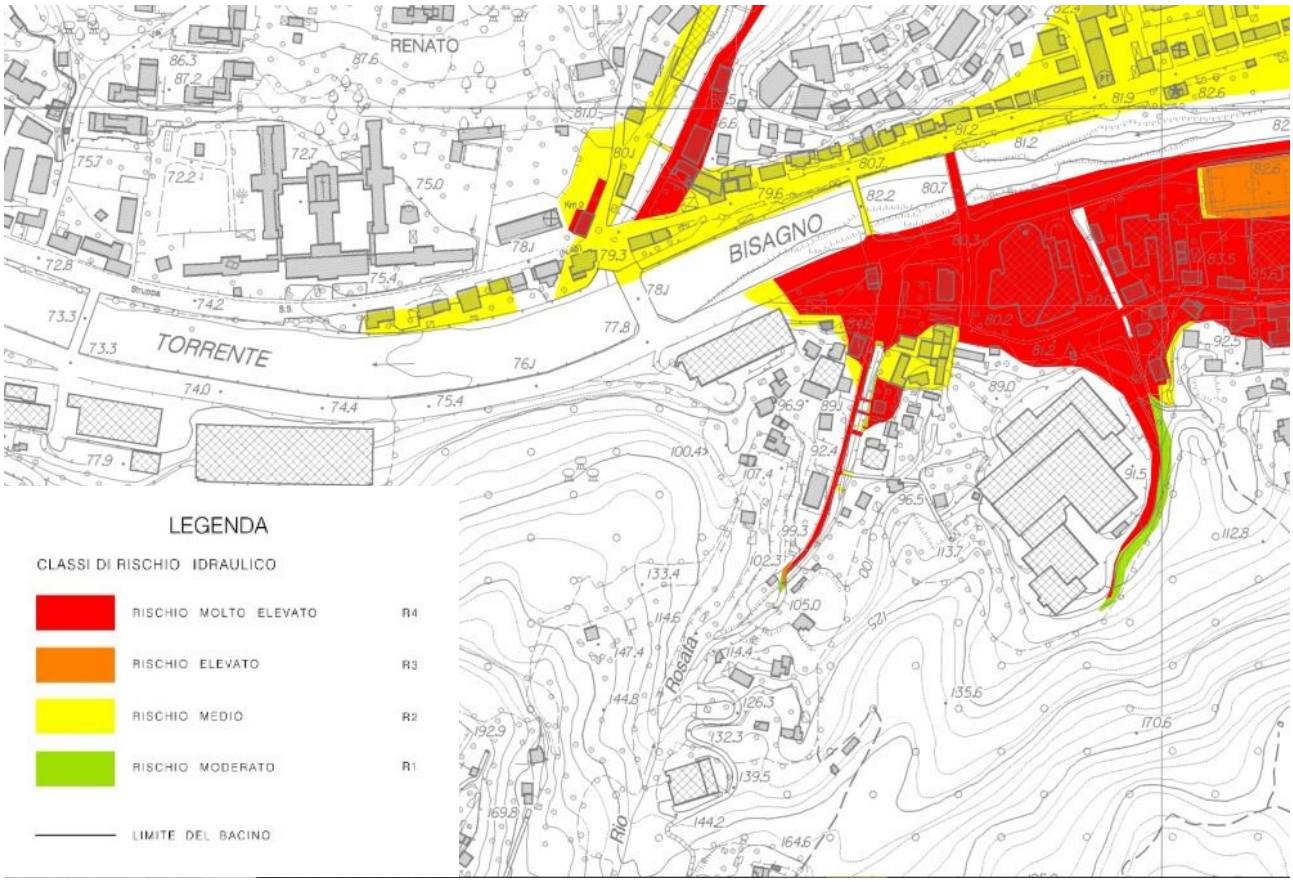


Figura 10: *stralcio "Carta del rischio idraulico" del Piano di Bacino del Torrente Bisagno (2017)*

Il tatto tombinato terminale del Rio Rosata e il settore a monte di tale tratto non risultano idraulicamente adeguati e pertanto devono essere previsti interventi di adeguamento della tombinatura, dei tratti con attraversamenti pedonali, dell'alveo e delle sponde del corso d'acqua. Tali interventi non sono indicati nella "Carta degli interventi" del Piano di Bacino, alla scala 1:5.000 (Figura 11) mentre sono indicati, nella stessa cartografia, gli interventi di sistemazioni delle aree di testata del bacino interessati da fenomeni di dissesto di tipo franoso.

Le opere in progetto sul reticolo idrografico sono inoltre disciplinate dal Regolamento Regionale N.3 del 14 luglio 2011 redatto a cura della Regione Liguria e ss. mm. ii. Secondo la gerarchizzazione idrografica ivi contenuta il Rio Rosata appartiene al reticolo di 2° livello.

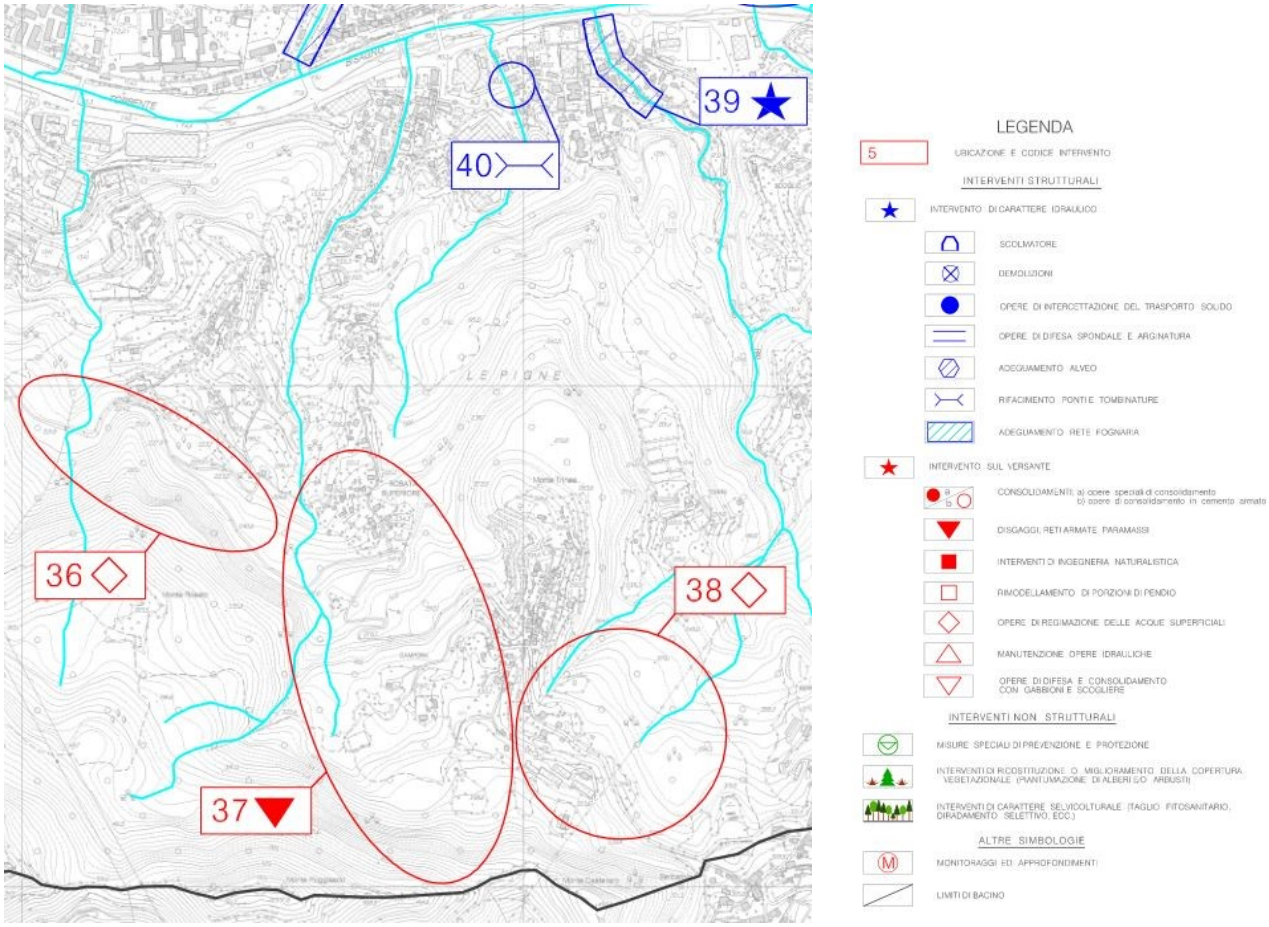


Figura 11: *stralcio "Carta degli interventi" del Piano di Bacino del Torrente Bisagno (2017)*

Dal punto di vista dei fenomeni di dissesto di versante si rileva che nella "Carta della suscettività al dissesto" del Piano di Bacino, alla scala 1:5.000 (Figura 12) la zona di intervento ricade pressoché interamente in area caratterizzata da suscettività al dissesto "molto bassa" (area Pg0) (aree, in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche fisiche dei terreni non costituiscono, se non occasionalmente, fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa).

Solo il tratto di monte, nei pressi del ponte sulla strada comunale di attraversamento del corso d'acqua, alveo e sponde del Rio Rosata ricadono in aree caratterizzate da suscettività al dissesto "media" (area Pg2) (aree, in cui sono presenti elementi geomorfologici e di uso del suolo, dalla cui valutazione combinata risulta una propensione al dissesto di grado inferiore a quelle definite come Pg3a e Pg3b) ed "elevata" (area Pg3b) (aree, prive al momento di movimenti gravitativi attivi e quiescenti, in cui sono presenti indicatori indiretti di elevata suscettività valutabili, dalla combinazione di elementi geomorfologici, litologici, strutturali e di uso del suolo. Sono comprese in tali aree le frane stabilizzate e relitte (paleofrane) e le zone a franosità diffusa inattive).

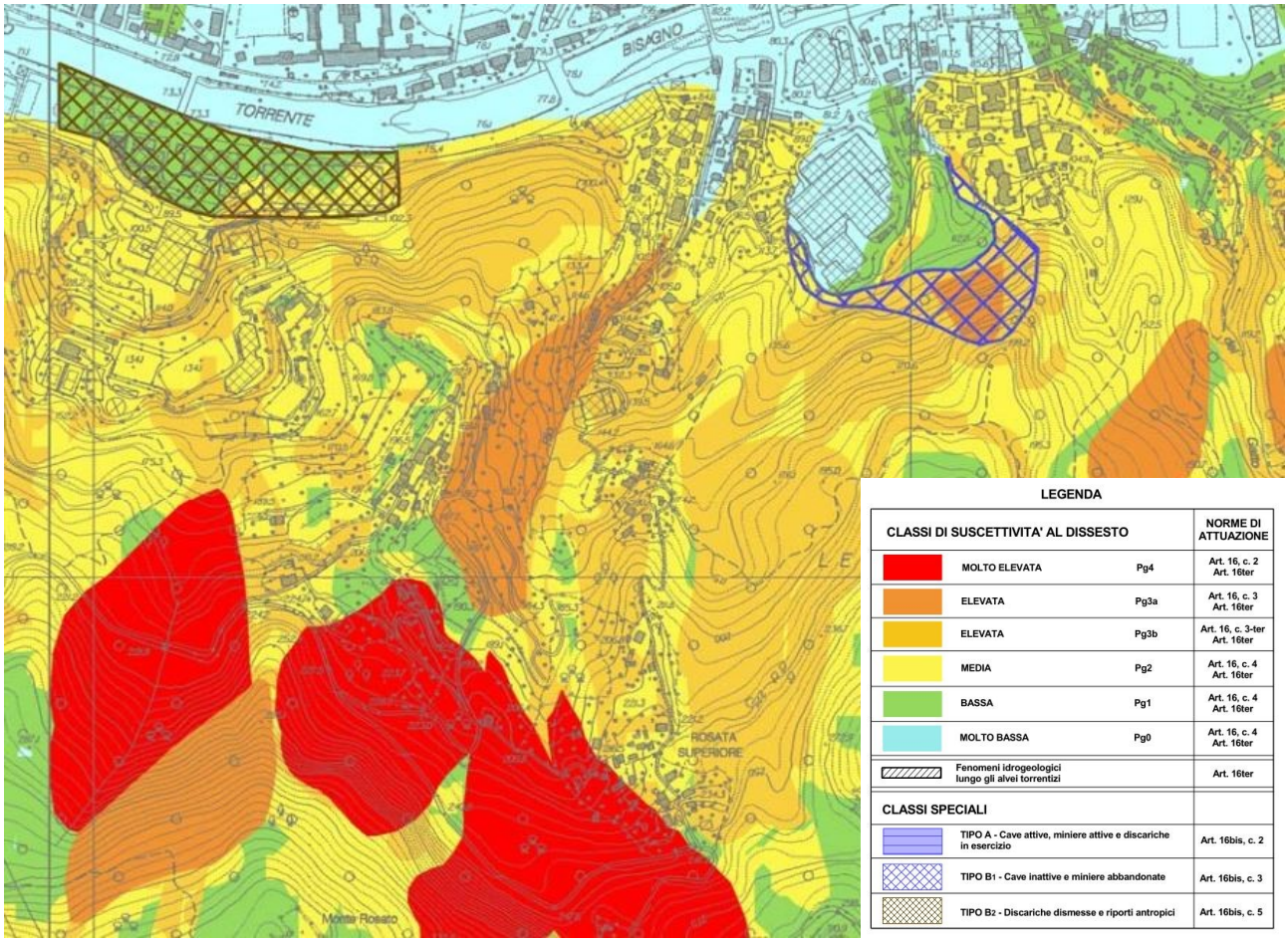


Figura 12: *stralcio "Carta della suscettività al dissesto" del Piano di Bacino del Torrente Bisagno (2017)*

Ne consegue che le classi di rischio riportate nella "Carta del rischio geologico" risultano "lieve o trascurabile (R0)" per tutto l'alveo del Rio Rosata nel tratto compreso tra la foce nel Torrente Bisagno e il ponte della strada comunale che a monte attraversa l'alveo (Figura 13).

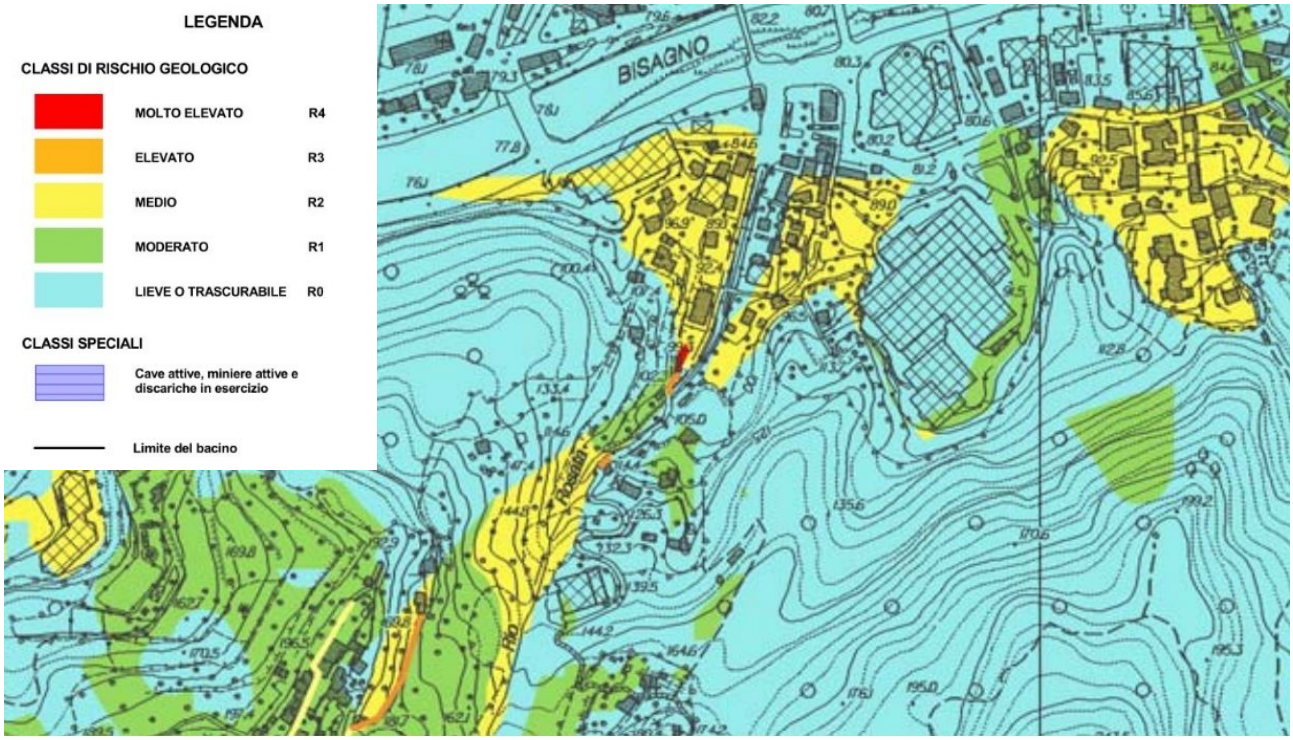


Figura 13: *stralcio "Carta del rischio geologico" del Piano di Bacino del Torrente Bisagno (2017)*

6.2. PIANO URBANISTICO COMUNALE (P.U.C.)

Sono stati anche consultati gli elaborati costituenti parte del Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.) del Comune di Genova (recepimento della pianificazione di bacino al 31/05/2017) e reperibili nel sito web del Comune di Genova.

I documenti consultati sono:

- "Carta dei vincoli ed idraulici", alla scala 1:5.000;
- "Carta geomorfologica", alla scala 1:5.000;
- "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", alla scala 1:5.000;
- "Carta della zonizzazione geologica e suscettività d'uso del territorio", alla scala 1:5.000.

Nella "Carta dei vincoli geomorfologici ed idraulici" (Figura 14) il sito oggetto di indagine è soggetto prevalentemente a "vincoli idraulici imposti dai sovraordinati Piani di Bacino" in quanto ricade principalmente all'interno delle "aree inondabili con diversi tempi di ritorno". Solo un breve tratto del settore più a monte, nei pressi del ponte della strada comunale che attraversa l'alveo, è interessato prevalentemente in sinistra orografica del Rio Rosata da un fenomeno franoso con attività di tipo "quiescente". Nel settore di testata del bacino sono invece presenti diffusi areali di versante interessati da "Frana attiva".

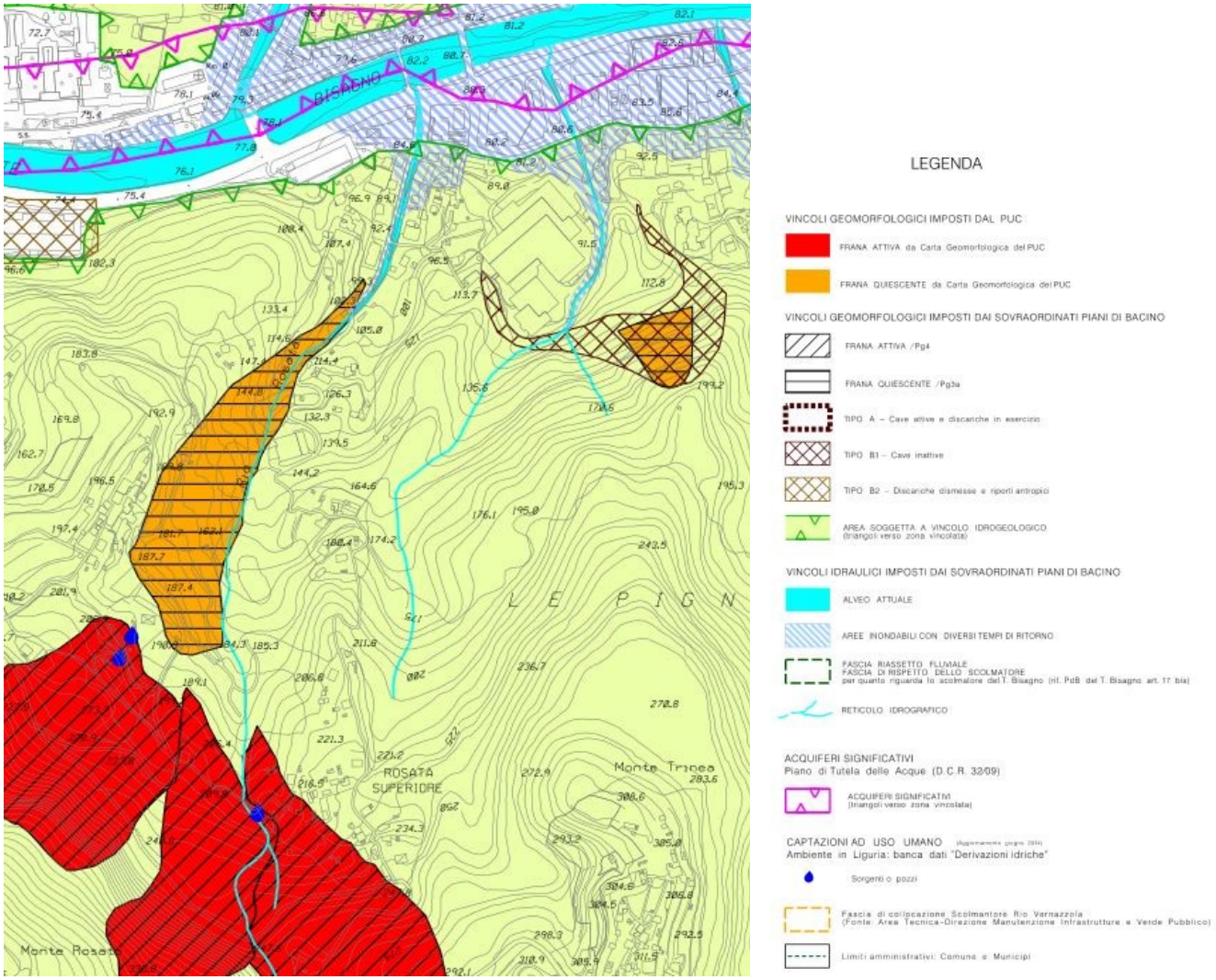


Figura 14: *stralcio "Carta dei vincoli geomorfologici ed idraulici" del Piano Urbanistico Comunale (PUC) del Comune di Genova (2017)*

Nella "Carta Geomorfologica" (Figura 15) non sono evidenziati particolari elementi di carattere morfologico negativo lungo l'asta fluviale del Rio Rosata, nel tratto oggetto di indagine, ad esclusione della presenza nel settore più elevato, in prossimità del ponte sulla strada comunale che attraversa il rio, di un fenomeno di dissesto areale con attività quiescente. I sopralluoghi effettuati durante le indagini hanno evidenziato che a monte del ponte della strada comunale, soprattutto lungo le sponde del corso d'acqua e nei settori di versante immediatamente a monte delle sponde laterali, sono presenti diffuse zone con evidenti elementi morfogenici dissestivi (fessurazioni nel terreno, gradini di frana, lievi contropendenze e rigonfiamenti del versante) che testimoniano una recente riattivazione dell'areale franoso. Questo areale soggetto a diffusi dissesti è stato oggetto di studio da parte del Comune di Genova che ha individuato una serie di opere di riassetto del territorio nell'ambito del progetto di "Lavori di riassetto idro-geologico ed idraulico del Rio Rosata nel settore compreso tra Via Montelungo e la Via Rosta Superiore".

Inoltre, nella zona di testata del bacino del Rio Rosata, ad Ovest dell'abitato di Rosata Superiore, sono presenti enormi aree soggette a fenomeni di dissesto di tipo attivo ("Frana attiva"), come evidenziato nella "Carta Geomorfologica".

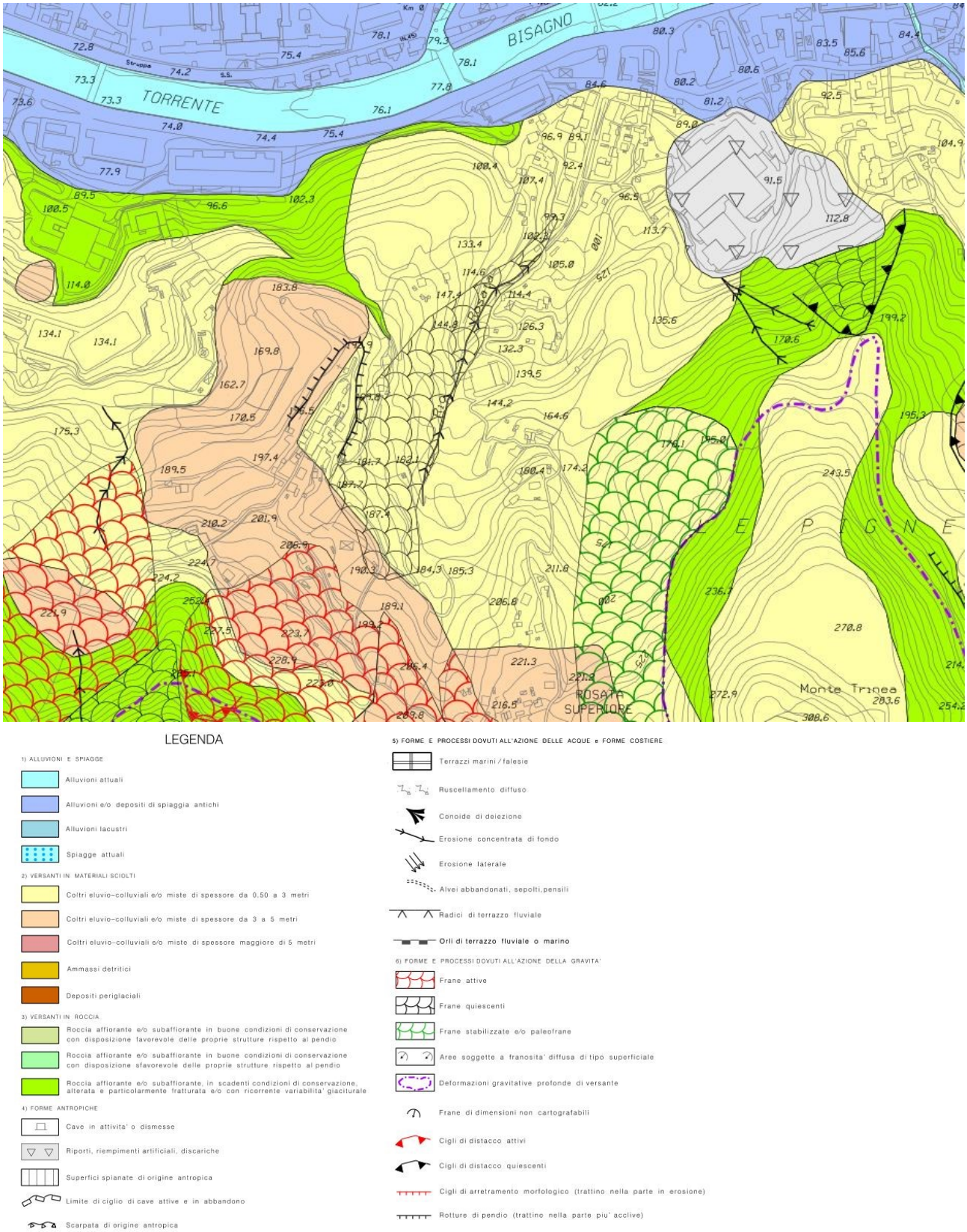


Figura 15: *stralcio "Carta geomorfologica" del Piano Urbanistico Comunale (PUC) del Comune di Genova (2017)*

La "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" (Figura 16) evidenzia che l'area in oggetto ricade completamente all'interno delle "Zone stabili suscettibili di amplificazione locale" ed in particolare la parte più bassa terminale tombinata del Rio Rosata ricade all'interno della "Zona B7s" che caratterizza le aree rappresentate da sedimenti alluvionali e marini con spessore maggiore a 3 metri e con acclività minore di 15° (amplificazione stratigrafica) mentre il settore più elevato a cielo aperto fino al ponte di attraversamento della strada comunale ricade all'interno della "Zona B2s" che caratterizza le aree rappresentate da substrato lapideo stratificato/scistoso affiorante o subaffiorante con VS30>800 per caratteristiche litostratigrafiche e/o alterazione/fratturazione e con acclività minore di 15° (amplificazione stratigrafica).

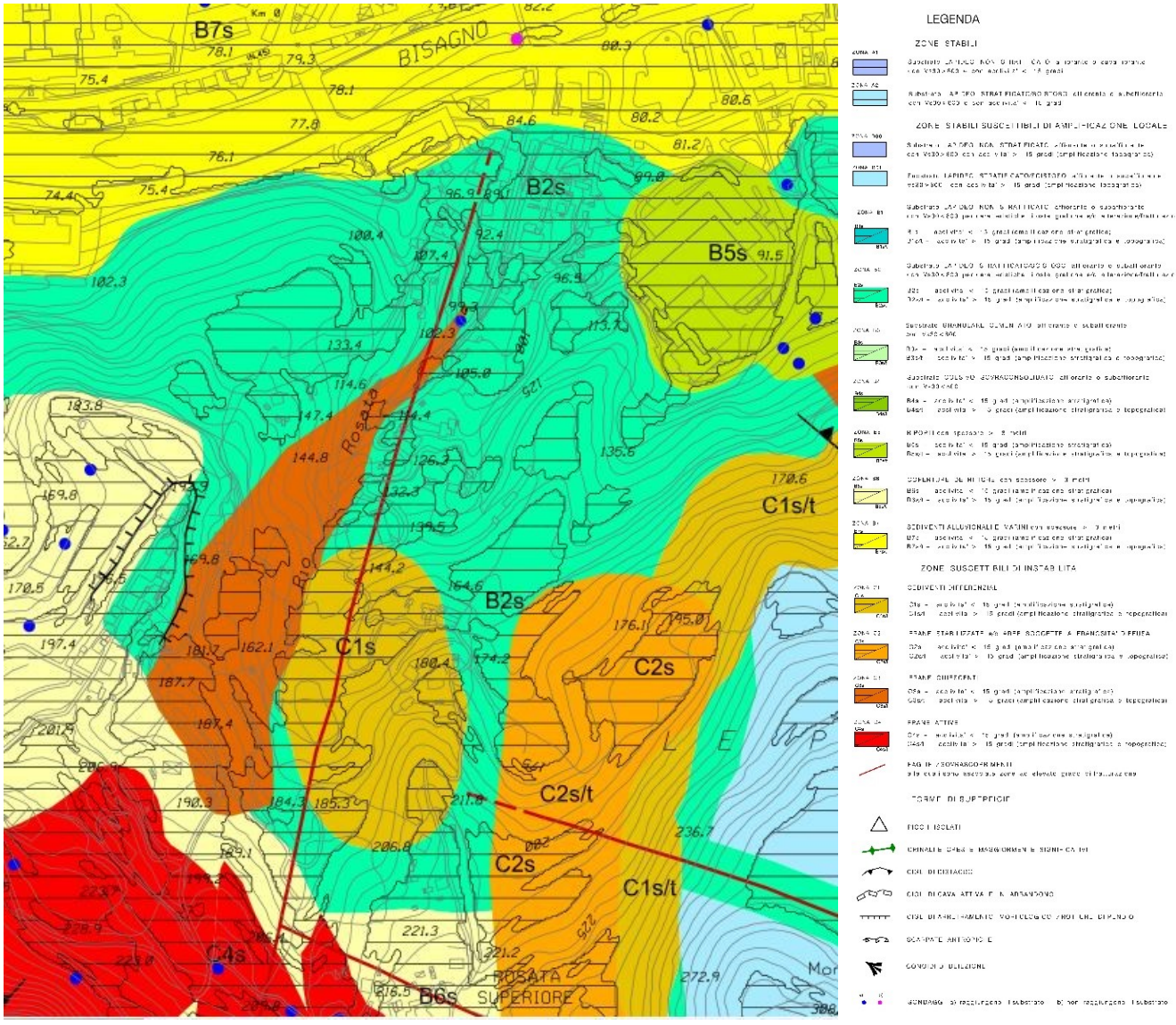


Figura 16: *stralcio "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" del Piano Urbanistico Comunale (PUC) del Comune di Genova (2017)*

Il documento cartografico che riassume il grado di pericolosità e di "suscettività d'uso" del territorio è rappresentato dalla "Carta della zonizzazione geologica e suscettività d'uso del territorio" (Figura 17) redatta sulla base di cinque livelli di disposizioni corrispondenti alle diverse zone riportate in cartografia, in funzione della crescente complessità delle problematiche geologiche e geotecniche. Le cinque zone a diversa suscettività d'uso sono:

- area con suscettività d'uso non condizionata (zona A);
- area con suscettività d'uso parzialmente condizionata (zona B);
- area con suscettività d'uso limitata (zona C);
- area con suscettività d'uso limitata e/o condizionata all'adozione di cautele specifiche (zona D);
- area con suscettività d'uso fortemente condizionate (zona E).

Nella zona di fondovalle del Rio Rosata il territorio ricade prevalentemente all'interno della "Zona C: Aree con suscettività d'uso limitata". Il tratto tombinato ricade invece quasi completamente all'interno della "Zona B: Aree con suscettività d'uso parzialmente condizionata". Solo il settore interessato dalla frana quiescente, in parte riattivata, presente nel versante sinistro del Rio Rosata nella zona di monte ricade all'interno della "Zona E: Aree con suscettività d'uso fortemente condizionata".

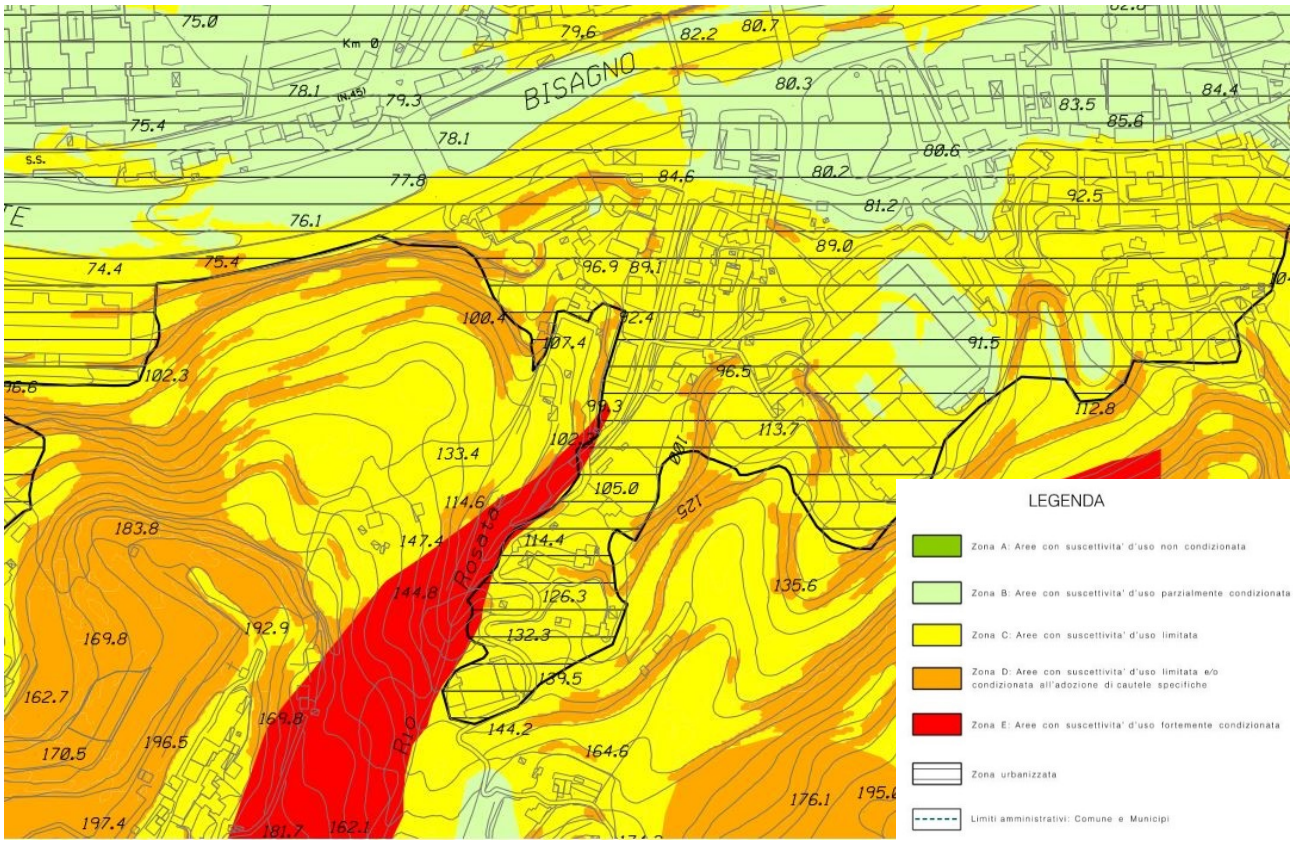


Figura 17: *stralcio "Carta della zonizzazione geologica e suscettività d'uso del territorio" del Piano Urbanistico Comunale (PUC) del Comune di Genova (2017)*

7. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Nei paragrafi seguenti saranno brevemente illustrate le principali caratteristiche geomorfologiche, litostratigrafiche, idrogeologiche e di pericolosità sismica del sito interessato dalle opere in progetto.

7.1. GEOMORFOLOGIA

L'area di studio si trova nel settore mediano della Val Bisagno, presso la Frazione di Rosata Inferiore, in prossimità dello sbocco del Rio Rosata nel Torrente Bisagno, al piede del versante che sale al Monte Rosato (383 m slm) e al Monte Poggiasco (558 m slm).

Tra i corsi d'acqua appenninici del versante ligure tirrenico, il Torrente Bisagno presenta un bacino di dimensioni medio-piccole, con superficie complessiva di circa 95 kmq. Il Torrente Bisagno ha inizio al Colle della Scoffera (675 m sul l.m.m.) e ha la sua foce all'estremità orientale del bacino portuale di Genova in prossimità del quartiere fieristico.

Il tratto medio inizia approssimativamente in corrispondenza dell'abitato di Prato, ed è caratterizzato da un particolare assetto: lungo la sponda sinistra del torrente i versanti costituiscono una sorta di striscia di larghezza costante, corrispondenti al prato di S. Eusebio, drenati da brevi incisioni perpendicolari all'asta principale, mentre per quanto riguarda il versante destro in località Doria confluisce il Rio Torbido e, dopo le pendici di S. Siro, il Torrente Geirato in Loc. Molassana. A valle della confluenza del T. Geirato, si presentano in sponda sinistra alcune aree drenate da brevi incisioni e quindi il Rio Montesignano, mentre in destra confluiscono a San Gottardo il Rio Trensasco e, dopo poche centinaia di metri, il Rio Cicala.

Presso la Frazione Rosata Inferiore confluisce in sinistra orografica del T. Bisagno il Rio Rosata, che scende dalle pendici del Monte Rosato (383 m slm), dopo un percorso di circa 1,85 km. L'area di bacino del corso d'acqua è di circa 0,89 km^2. Questo corso d'acqua si presenta incassato tra due versanti acclivi soprattutto nella parte mediana della sua asta, ovvero nella zona a monte del ponte della strada comunale (Via Rosata) che attraversa l'alveo. In questa zona i versanti laterali si presentano acclivi in prossimità dell'alveo, dove sono diffusi i dissesti di tipo franosi, mentre si addolciscono man mano che ci si allontana dal corso d'acqua. A valle del ponte l'alveo tende costantemente ad allargarsi e nei pressi della tombinatura finale il fondovalle presenta una larghezza di circa 20 metri e risulta delimitato lateralmente da fabbricati residenziali. Nel tratto terminale di valle del Rio Rosata i versanti laterali presentano dolci pendenze (mai superiori ai 15°).

Dal punto di vista geomorfologico l'assetto oroidrografico del bacino del Torrente Bisagno è fortemente condizionato da fattori geodinamici endogeni la cui influenza appare evidente soprattutto in relazione ad una serie di indicatori geomorfologici che testimoniano la rilevante correlazione tra attività tettonica quaternaria ed evoluzione morfologica del bacino stesso. La presenza, infatti, di superfici fossili, terrazzi morfologici, movimenti di massa e meandri, testimonia come l'assetto attuale sia stato raggiunto attraverso fasi successive d'erosione rapida avvenute in epoche relativamente recenti.

E' questo il caso delle frane e dei collassi di versante, delle esondazioni e dei processi erosivi lungo i corsi d'acqua laterali, fenomeni che prendono solitamente l'avvio dal convergere di più fattori. Molti sono determinati da cause naturali, altri vedono il contributo dell'azione dell'uomo. I fattori scatenanti possono essere infatti legati a particolari aspetti geologici della zona, ad eventi idrometeorologici di eccezionale intensità.

In altri casi si osserva la marcata impronta dell'attività umana, con l'alterazione di equilibri a volte precari, l'eliminazione della vegetazione e di drenaggi naturali, l'edificazione in aree morfologicamente non idonee o la non corretta gestione del patrimonio forestale.

Per quel che riguarda l'erosione e il dilavamento dei versanti, si può ricordare che sono dovuti a più fattori, quali la natura del materiale, i fattori morfologici, i fattori climatici, il tipo di copertura vegetale e i fattori antropici. Nel territorio studiato sono intensi i processi erosivi dovuti alle acque dilavanti ed ai corsi d'acqua.

Il profilo longitudinale dei torrenti laterali del Torrente Bisagno, come ad esempio il Rio Rosata, in questo settore di territorio non sembra aver raggiunto l'equilibrio ma pare essere ancora in una fase di evoluzione; si assiste infatti ad un'intensa erosione al piede, che è causa dell'instabilità nei versanti, e nelle zone terminali dei corsi d'acqua, prossime alla foce, gli stessi incidono i propri depositi fluviali di fondovalle, talora con sovralluvionamento degli alvei.

Questo copioso alluvionamento, formato da ghiaie, ciottoli e blocchi di grandi dimensioni, è dovuto alla presenza nelle valli di grande quantità di detriti, di cui sono serbatoi le numerose frane e paleofrane. In effetti durante le piene si hanno eccezionali apporti di materiale con conseguente innalzamento dell'alveo e successivamente avviene una ripresa dell'erosione quando il regime del corso d'acqua è di nuovo normalizzato: poiché questo si verifica anche per i rii meno importanti, tale situazione sembra essere generale.

Le forme dei versanti laterali al Torrente Bisagno come quelli che caratterizzano il bacino del Rio Rosata sono soprattutto condizionate dall'assetto strutturale mentre, rispetto alle litologie presenti, differenze rilevanti d'andamento e forma dei versanti si riscontrano soprattutto in corrispondenza dei litotipi di natura prevalentemente argillosa.

L'influenza di fattori geodinamici endogeni sull'evoluzione geomorfologica del bacino del Torrente Bisagno, comprese le valle minori laterali, risulta anche evidenziata dalla risposta dei versanti sui quali si riscontra un rilevante numero di movimenti di massa a scala di versante correlabili direttamente o indirettamente al sollevamento dell'area ovvero al ringiovanimento del ciclo di erosione.

Nel bacino del T. Bisagno, in relazione agli assetti litostrutturali ed ai caratteri morfologici presenti, sono riconoscibili tre principali configurazioni morfostrutturali tipiche dei versanti. In particolare, sono individuabili i seguenti morfotipi principali:

- un «sistema versante» il cui andamento è condizionato dalla presenza di fratture o faglie che hanno subito processi di regolarizzazione determinando la forma attuale dei versanti e che generalmente presentano accumuli detritici colluviali ubicati alla base dei versanti stessi ed in corrispondenza del fondovalle degli impluvi minori;
- un «sistema versante» in rocce a prevalente comportamento fragile caratterizzato da profili concavi-convessi ovvero gradonati riconducibili a fenomeni franosi di tipo complesso e a D.G.P.V.;
- un «sistema versante» la cui forma ed evoluzione sono influenzati dalla presenza di complessi rocciosi a prevalente comportamento fragile sovrapposti a complessi a comportamento prevalentemente duttile.

7.2. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE

Per la caratterizzazione litostratigrafica dell'area oggetto di indagine sono stati utilizzati i dati bibliografici, indagini pregresse nell'area (in particolare le stratigrafie di n°2 sondaggi reperibili nel portale web della Regione Liguria), i rilievi e sopralluoghi in sito e i dati di nuove indagini geognostiche eseguite nel mese di gennaio 2020.

In particolare, le indagini geognostiche eseguite nel mese di gennaio 2020, riportate in Figura 18, sono consistite in:

- n°1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S1), realizzato nel piazzale presente nei pressi della tombinatura terminale del Rio Rosata;
- n°1 indagine sismica del tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), realizzata nel piazzale presente nei pressi della tombinatura terminale del Rio Rosata (M_1);
- n°2 campionamenti di terreni per le terre e rocce da scavo, eseguiti presso l'alveo del Rio Rosata a monte del tratto tombinato (C1-C2).

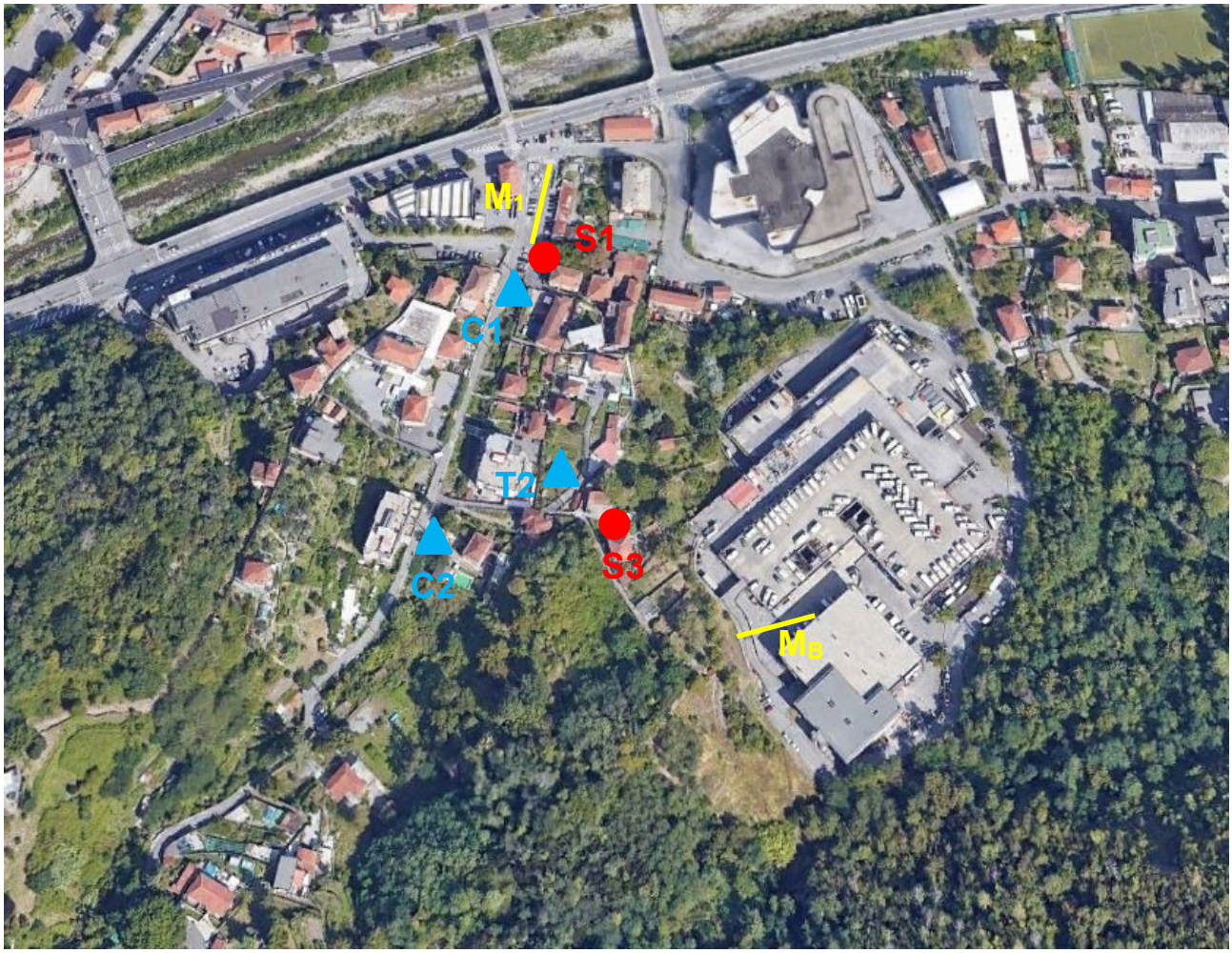


Figura 18: *stralcio fotoaerea con ubicazione delle indagini geognostiche eseguite nel mese di Gennaio 2020 (S1: sondaggio a carotaggio continuo; M_1 indagine MASW; C1-C2: campionamenti per terre e rocce da scavo)*

7.2.1.Dati da sondaggi geognostici

Dal punto di vista litostratigrafico, per la caratterizzazione dell'area oggetto di indagine, sono stati utilizzati principalmente i dati del n°1 sondaggio geognostico realizzato nel gennaio 2020, oltre i dati delle stratigrafie dei sondaggi pregressi reperibili presso il sito web della Regione Liguria e dei rilievi effettuati in sito. Le stratigrafia dettagliata del sondaggio eseguito nel gennaio 2020 è riportata in Allegato 1 alla presente relazione.

Il sondaggio S1 è stato eseguito nel piazzale situato a copertura del tratto terminale tombinato del Rio Rosata e in particolare nel lato destro del corso d'acqua, in prossimità dell'imbocco di monte della tombinatura. Il sondaggio è stato spinto fino alla profondità di circa 10 metri dal piano campagna.

La stratigrafia semplificata del sondaggio S1 è riassunta nella seguente tabella:

Campagna di indagini del 2020

Sondaggio S1 (testa foro = piano campagna piazzale zona tombinata del Rio Rosata)

Profondità (m)	Materiale
0.00-0.80	Terreno di riporto: ghiaie prevalentemente medio-fini di colore grigio-scuro; clasti poligenici, spigolosi
0.80-3.80	Ghiaia eterometrica con ciottoli in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore grigio; clasti prevalentemente calcareo-marnosi, da spigolosi a subangolari
3.80-8.30	Ghiaia eterometrica con ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore grigio; clasti prevalentemente calcareo-marnosi, da spigolosi a subangolari
8.30-10.00	Substrato argillitico alterato, fratturato e fortemente alterato, talora ridotto ad argilla e sabbia con blocchi (cappellaccio Argilliti di Montoggio)

La tabella sopra riportata evidenzia che al di sotto di circa 0.80 metri di materiale di riporto costituito da ghiaie prevalentemente medio-fini di colore grigio-scuro con clasti poligenici, spigolosi sono presenti dei depositi di origine fluviale di natura ghiaioso-sabbiosa con ciottoli fino alla profondità di circa 3.80 metri. Seguono fino a circa 8.30 metri di profondità dei depositi ghiaiosi con trovanti, in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore grigio. A profondità maggiori e fino a fondo foro (circa 10 metri) si osservano dei materiali argillitici alterati, fratturati e fortemente alterati, talora ridotti ad argilla e sabbia con blocchi che potrebbero rappresentare la porzione più superficiale del substrato terziario (cappellaccio Argilliti di Montoggio, Campaniano).

Sulla base dei dati provenienti dal sondaggio S1 eseguito nella campagna del Gennaio 2020 e dei dati reperiti nel portale della Regione Liguria (stratigrafie dei n°2 sondaggi: 3400/S3 – 3333/S49), riportati in Allegato 3 alla presente relazione, è stato possibile redigere un profilo stratigrafico indicativo del tratto finale tombinato lungo l'asta del Rio Rosata fino al ponte della Via Rosata di attraversamento dell'alveo.

La sezione di progetto lungo l'asta del corso d'acqua con il relativo profilo stratigrafico è riportata nell'Elaborato 2.1 in allegato ai documenti di progetto.

L'analisi della stratigrafia del sondaggio 3400/S3, reperibile nel portale della Regione Liguria, profondo circa 10 metri ed eseguito in sinistra orografica del Rio Rosata, a valle del ponte di attraversamento dell'alveo, evidenzia la presenza del substrato roccioso costituito da rocce argillitiche scistose fratturate di colore nerastro, a partire dalle profondità di 6.40 metri di profondità. Nel sondaggio tra i 3 metri e i 6.40 metri di profondità sono stati attraversati dei materiali di tipo argillitico fortemente fratturati imbibiti d'acqua che rappresentano la porzione più superficiale del substrato terziario (cappellaccio Argilliti di Montoggio, Campaniano).

Affioramenti del substrato terziario (argilliti scistose nerastre) sono ben visibili al di sotto del ponte lungo l'asta del Rio Rosata di attraversamento dell'alveo.

7.3. IDROGEOLOGIA

Per il controllo del livello piezometrico della falda idrica di tipo freatico, presente nei depositi alluvionali costituenti il fondovalle del Rio Rosata, sono stati utilizzati i dati provenienti dalla misura effettuata durante la perforazione del sondaggio S1 eseguito durante la campagna di indagine del Gennaio 2020.

Nella tabella seguente sono riportati i dati di soggiacenza della falda acquifera misurati durante l'esecuzione della perforazione del sondaggio S1 realizzato nel 2020.

	Sondaggio Gennaio 2020
Data	S1 Livello falda (m)
Gennaio 2020	4.70

Il valore riportato nella tabella precedente fa riferimento alla falda acquifera che interessa lo spessore di sedimenti alluvionali, con superficie freatica che si conforma come un regolare piano inclinato verso il Torrente Bisagno, che costituisce l'elemento di drenaggio principale in questo settore di territorio.

I sedimenti fluviali presenti lungo l'asta del Rio Rosata sono caratterizzati da una permeabilità primaria mediamente elevata ($K = 10^{-3} \div 10^{-5}$ m/sec).

La base di tale acquifero è rappresentata verosimilmente dal substrato roccioso, che come si è detto in precedenza è costituito dai litotipi afferenti alla Formazione dellle Argilliti di Montoggio nella sua litofacies a componente prevalentemente argillitica, che può essere considerato un elemento praticamente impermeabile o al massimo dotato di una permeabilità secondaria modesta lungo i giunti di fratturazione quando questi risultano aperti o caratterizzati da riempimenti di natura sabbioso-ghiaiosa. La porzione più superficiale alterata e degradata e fratturata del substrato (cappellaccio) può presentare una permeabilità simile ai soprastanti depositi fluviali.

Sulla base del livello di falda rilevato all'interno dei sondaggi geognostici realizzati è possibile stimare una pendenza della superficie piezometrica della falda di circa l'8%.

Si segnala che il livello della falda freatica può risalire anche di oltre 1 metro rispetto ai valori rilevati nel mese di Gennaio 2020, in concomitanza di intensi eventi meteorici, i quali tendono a rifornire abbondantemente l'acquifero fortemente impoveritosi nei precedenti periodi siccitosi o di bassa intensità pluviometrica.

Per quanto concerne le possibili interazioni del livello della falda e delle sue escursioni con le nuove opere in progetto, si evidenzia che attualmente non sussiste interferenza della falda acquifera libera con il piano di scorrimento del Rio Rosata. Anche a seguito del previsto abbassamento del piano di scorrimento in progetto del corso d'acqua non si dovrebbe determinare interferenza della falda con il piano scorrevole.

Esclusivamente la porzione inferiore dei pali previsti per la realizzazione delle opere in progetto sarà immersa all'interno della falda acquifera.

In particolare, l'eventuale interferenza della falda con le opere in progetto appare maggiore durante i mesi invernali immediatamente successivi a periodi caratterizzati da elevate precipitazioni. Durante il periodo estivo più siccitoso tale interferenza dovrebbe sostanzialmente tendere ad annullarsi.

Le precedenti osservazioni valgono nei limiti di affidabilità di un modello idrogeologico ricostruito esclusivamente sulla base dei dati registrati durante la perforazione di n°1 sondaggio geognostico, non essendo disponibile una sequenza temporale di dati piezometrici nella zona.

7.4. PERICOLOSITA' SISMICA

Come definito nel testo unico allegato al D.M. del 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (Capitolo 3.2 Azione Sismica), *"le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag …."*.

In relazione all'aggiornamento generale apportato dall'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri OPCM n°3274 del 20/03/2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* recepita dalla Regione Liguria inizialmente con la D.G.R. n°1362 del 19/11/2010 e poi aggiornata con la D.G.R. n°216 del 17 marzo 2017: *"OPCM 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"*, che la sostituisce, il territorio del **Comune di Genova** ricade all'interno della **Zona 3** nelle tabelle della zonazione sismica, cui corrisponde nell'Allegato 2 *"Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici"* dell'OPCM n°3274, un valore del parametro ag = accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A) pari a 0,15g (m/s^2), come riportato nella seguente tabella:

Zona	Valore di a_g
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 delle NTC del 17/01/2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II (di seguito indicata), si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo.

I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

nella quale:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella seguente tabella (D.M. 17/01/2018, Tabella 3.2.II).

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.

Per la definizione della categoria di sottosuolo sono stati utilizzati i dati provenienti da una indagine sismica del tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) realizzata nel piazzale al di sopra del tratto tombinato del Rio Rosata (M_1), come riportato nella Figura 18. La velocità di propagazione delle onde sismiche V_s della prova MASW, riepilogate nella Figurae 19, evidenziano una velocità V_{Seq} di 493 m/s (MASW M_1), per cui è possibile classificare il sito in esame, in prima approssimazione, come suolo di **categoria B**.

CLASSIFICAZIONE SISMICA

Strato	Profondità (m) da	a	Vs (m/s)
1	0.0	-2.0	300
2	-2.0	-5.0	460
3	-5.0	-8.0	540
4	-8.0	-12.0	550
5	-12.0	-16.0	620
6	-16.0	-21.0	770
7	-21.0	-30.0	880

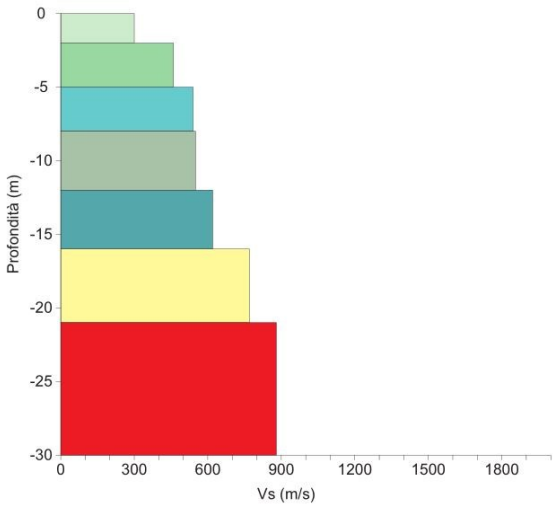


Figura 19: indagine MASW M_1 (Gennaio 2020). S*chema riepilogativo della velocità sismica delle onde Vs (m/s) nei primi 30 metri di sottosuolo.*

In Allegato 2 alla presente relazione è riportato l'elaborato relativo alla prova MASW M_1 realizzata nel piazzale al di sopra del tratto tombinato del Rio Rosata durante la campagna di indagini del Gennaio 2020.

Sulla base della classificazione sismica ottenuta e delle coordinate geografiche del sito in esame nonché delle caratteristiche topografiche, ed altri parametri relativi alla nuova costruzione in oggetto, è possibile definire gli spettri di risposta in accelerazione per ogni stato limite (di esercizio e ultimo) considerato. In funzione dello spettro di risposta sarà quindi possibile determinare l'azione sismica, ai sensi del D.M. 17/01/2018.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. (§ 3.2 NTC-18).

Individuata la categoria del sottosuolo, si procede alla valutazione delle condizioni topografiche al fine di valutare l'amplificazione sismica locale (tabella seguente).

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

Il sito in esame appartiene alla categoria T1.

E' necessario inoltre, al fine di valutare gli spettri di risposta per i diversi stati limite, fare alcune considerazioni di carattere generale sull'opera che si va a realizzare.

In primo luogo deve essere definita la vita nominale della struttura V_N: *"La vita nominale di un'opera strutturale V_N è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I (§ 2.4.1 NTC-2018)".*

Si riporta di seguito la tabella utilizzata per la definizione di V_N.

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

L'opera in progetto ricade nella seconda categoria, pertanto si considera una vita nominale pari a 50 anni.

Per valutare il periodo di riferimento per l'azione sismica è necessario definire il coefficiente d'uso funzione della classe di uso della struttura in progetto (§ 2.4.3 NTC-18).

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

Le opere in progetto ricadrebbero in Classe d'uso II a cui corrisponde un coefficiente d'uso C_u=1.

In relazione alle considerazioni fino ad ora esplicitate, è possibile calcolare gli spettri di risposta partendo dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

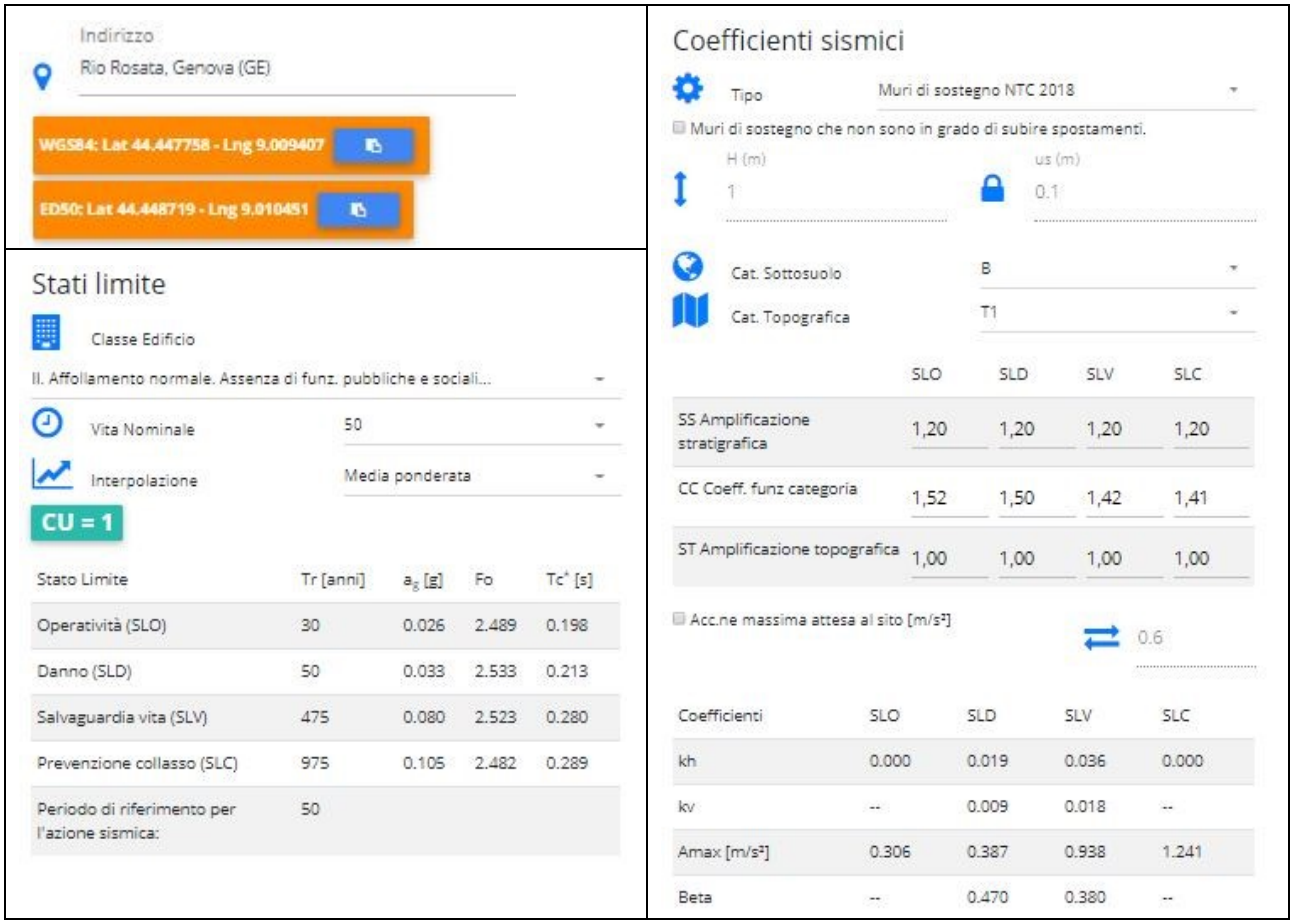
a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono forniti per una serie di punti sul territorio, e possono essere opportunamente interpolati. A tal proposito è stato utilizzato il supporto informatico denominato "Geostru PS" della Geostru Software che permette un calcolo agevole dei parametri a_g, F_o, T_c e degli stessi spettri di risposta.

Si riportano di seguito i parametri di progetto relativi all'azione sismica per i diversi stati limite, inerenti il sito indagato ubicato nel Comune di **Genova:**



Indirizzo
Rio Rosata, Genova (GE)
WGS84: Lat 44.447758 - Lng 9.009407
ED50: Lat 44.448719 - Lng 9.010451

Stati limite
Classe Edificio
II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...
Vita Nominale 50
Interpolazione Media ponderata
CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.026	2.489	0.198
Danno (SLD)	50	0.033	2.533	0.213
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.080	2.523	0.280
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.105	2.482	0.289
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici
Tipo: Muri di sostegno NTC 2018
Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.
H (m): 1 — us (m): 0.1
Cat. Sottosuolo: B
Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,52	1,50	1,42	1,41
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.019	0.036	0.000
kv	--	0.009	0.018	--
Amax [m/s²]	0.306	0.387	0.938	1.241
Beta	--	0.470	0.380	--

7.5. SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Per liquefazione si intende un processo di accumulo della pressione del fluido interstiziale che in un terreno saturo non coesivo (sabbia, ghiaia, limo non plastico) causa la diminuzione della resistenza e/o rigidezza a taglio a seguito della presenza di carichi superficiali o dello scuotimento del suolo (terremoti), potendo dar luogo a deformazioni permanenti significative. La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che si è innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

C'è da dire, inoltre, che tale fenomeno può manifestarsi in vari modi, principalmente:

- diffusione;
- scorrimento fluido;
- perdita di portanza.

La diffusione la si ha quando uno strato superficiale comincia a muoversi su quello sottostante a causa della liquefazione di quest'ultimo.

Lo scorrimento fluido lo si ha quando porzioni di terreno vengono letteralmente trasportati dalla massa liquefatta in movimento. E' un fenomeno che può verificarsi sovente in terreni costituiti da sabbie sciolte e,

ovviamente, in siti sottofalda e sottomarini. Per quanto pericoloso, lo scorrimento fluido è un fenomeno meno devastante del precedente, dato che le forze impresse dal flusso sono minori di quelle che competono al terreno soggetto a diffusione.

La perdita di capacità portante è dovuta alla perdita di resistenza a taglio del terreno, la quale conduce a grandi deformazioni superficiali.

Sono suscettibili alla liquefazione:

- i suoli non coesivi e saturi (sabbie e limi, occasionalmente ghiaie) con contenuto di fini plastici relativamente basso (meno del 15%);
- i suoli costituiti da particelle relativamente uniformi (predomina una dimensione delle particelle);
- i depositi sabbiosi recenti (età Olocenica).

Le norme NTC del D.M. 17/01/2018 al Capitolo 7.11.3.4.2 indicano che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti quattro circostanze:

1. *accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;*
2. *profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
3. *depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;*
4. *distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5. (Uc rapporto D60/D10, dove D60 e D10 sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).*

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è stata eseguita al fine di fornire dei parametri dei terreni per i calcoli geotecnici e per le verifiche strutturali delle opere in progetto.

8.1. PARAMETRI GEOTECNICI

I principali parametri utilizzati per caratterizzare i materiali presenti nell'immediato sottosuolo dell'area oggetto d'indagine ed interessati dalle opere fondazionali delle opere in progetto, sono stati stimati (stima cautelativa del valore del parametro appropriato) sulla base dei dati provenienti dalle prove SPT (Standard Penetration Test) eseguite all'interno del sondaggio S1 realizzato nel mese di Gennaio 2020, in corrispondenza del lato orientale del piazzale posto al di sopra del tratto terminale tombinato del Rio Rosata.

Nella seguente tabella sono stati schematizzati i livelli litostratigrafici riscontrati durante la perforazione del sondaggio S1 e i relativi valori (numero di colpi) inerenti le prove SPT eseguite all'interno del foro.

Sondaggio S1 (testa foro = piano campagna piazzale Via Rosata in corrispondenza tratto tombinato)

Profondità (m)	Materiale	PROVA SPT		
		quota (m)	N	N_{SPT}
0.00-0.80	Terreno di riporto: ghiaie prevalentemente medio-fini di colore grigio-scuro; clasti poligenici, spigolosi			
0.80-3.80	Ghiaia eterometrica con ciottoli in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore grigio; clasti prevalentemente calcareo-marnosi, da spigolosi a subangolari	2.00	12-18-22	40
3.80-8.30	Ghiaia eterometrica con ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore grigio; clasti prevalentemente calcareo-marnosi, da spigolosi a subangolari	4.00 6.00	9-29-RIF 13-16-15	>50 31
8.30-10.00	Substrato argillitico alterato, fratturato e fortemente alterato, talora ridotto ad argilla e sabbia con blocchi (cappellaccio Argilliti di Montoggio)	8.00 10.00	21-RIF 12-23-RIF	>50 >50

L'analisi dei dati indicati nella precedente tabella evidenzia che i depositi fluviali costituiti da ghiaie eterometriche con ciottoli in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore grigio e clasti prevalentemente calcareo-marnosi da spigolosi a subangolari, presenti tra 0.80 e 8.30 metri di profondità sono caratterizzati da un buon grado di addensamento come testimoniato da elevati valori di N_{SPT} riscontati (N_{SPT} variabile da 31 a > 50, tendenti talora al rifiuto alla penetrazione). I depositi fluviali sono stati suddivisi in due unità distinte U2 e U3 sulla base della presenza di trovanti (U3) all'interno dei depositi.

Alla profondità di circa 8.30 metri e fino a fondo foro è stata riscontrata la presenza di un orizzonte costituito da materiale argillitico fratturato e fortemente alterato, talora ridotto a blocchi argillitici in matrice argilloso-sabbiosa (U4A). Questo materiale tuttavia risulta caratterizzato da un elevato grado di compattazione e di addensamento come evidenziato dagli elevati valori di N_{SPT} riscontrati durante la perforazione che tendono al rifiuto alla penetrazione (N_{SPT} > 50).

Gli orizzonti litotecnici U4B (substrato argillitico alterato, tipo cappellaccio) e U5 (Substrato argillitico scistoso), riscontrati in un altro sondaggio pregresso realizzato in prossimità del Rio Rosata (sondaggio 3400/S3), lungo la via Rosata, non sono stati riscontrati nel sondaggio S1 eseguito nel gennaio 2020.

8.1.1.Stima dell'angolo di resistenza al taglio

I dati relativi alle prove SPT eseguite all'interno del sondaggio S1 permettono di stimare, mediante formule empiriche di letteratura, il valore dell'angolo di resistenza al taglio (ϕ') dal valore di N_{SPT}.

Per la valutazione di tale parametro geotecnico (ϕ') sono state utilizzate le seguenti formule:

- $\phi' = \sqrt{15N} + 15$ Road Bride Specification (1980);
- $\phi' = (0{,}3\ N) + 27$ Japanese National Railway (1974);
- $\phi' = 27{,}1+0{,}3\ N-0{,}00054\ N^2$ Peck-Hanson-Thorburn (1974) (approssimabile con l'equazione di Wolff, 1989).

Sulla base di tali relazioni, dove N corrisponde ai valori di N_{SPT}, sono stati stimati i valori dell'angolo di resistenza al taglio (ϕ') che sono riassunti nella seguente tabella, assumendo come valore di riferimento il valore medio ottenuto mediante le n°3 formule utilizzate. Nella stessa tabella sono stati anche indicati gli altri parametri geotecnici principali caratteristici stimati relativi ai terreni presenti nell'immediato sottosuolo e negli immediati dintorni dell'area interessata dalle opere in progetto.

Sulla base dei profili stratigrafici ricostruiti a seguito delle indagini eseguite e di dati inerenti sondaggi e studi pregressi sono stati individuati n°6 unità geotecniche (vedi Elaborato 2.1 di progetto).

Unità geotecnica	**Materiali**	**N_{SPT}**	**γ' (kN/m^3)**	**ϕ' (°)**	**ϕ_{CV} (°)**	**c' (kPa)**	**c_u (kPa)**
U1	Terreno di riporto: ghiaie medio-fini e clasti poligenici	-	18,5	27 (*)	24	0	-
U2	Ghiaia eterometrica con ciottoli in matrice sabbiosa debolmente limosa	40	19	38	34	0	-
U3	Ghiaia eterometrica con ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa debolmente limosa	31	19	36	32	0	-
U4	Substrato argillitico alterato, fratturato e fortemente alterato, talora ridotto ad argilla e sabbia con blocchi	>50	20	36	32	0	-
U5A	Substrato argillitico alterato, fratturato	>50	20	38	34	0	-
U5	Substrato argillitico compatto (Argilliti di Montoggio)	>50	22	38	34	5	20

dove:

γ': Peso di Volume

ϕ': Angolo di resistenza al taglio

ϕ_{cv}: Angolo di resistenza al taglio a volume costante (Lambe & Whitman, 1969)

c': Coesione drenata

c_u Coesione non drenata

Il valore dell'angolo di resistenza al taglio ϕ' stimato rappresenta un valore di picco che risulta non compatibile con i valori di Q_{limite} ottenibili. Infatti, secondo *Yamaguchi et al. (1977)*, il raggiungimento della Q_{limite} si ha in corrispondenza di elevate deformazioni, ovvero quando il comportamento del materiale incoerente risulta caratterizzato dall'assenza di variazioni di volume e la resistenza disponibile è quella

(*) Per quanto concerne il terreno di riporto il valore dell'angolo di resistenza al taglio (ϕ' = 27°) è stato stimato esclusivamente sulla base delle osservazioni effettuate durante le operazioni di perforazione del sondaggio, in quanto si è evidenziata per i depositi costituenti il materiale di riporto una bassa resistenza alla perforazione dell'utensile di carotaggio.

corrispondente allo stato critico, individuato dall'angolo a volume costante (ϕ_{cv}). I valori dell'angolo a volume costante sono stati stimati sulla base di quanto indicato da *Lambe & Whitman (1969)*.

L'analisi dei parametri geotecnici caratteristici precedentemente stimati ed indicati nella tabella sopra riportata evidenzia che l'unità geotecnica U1 (terreno di riporto) è caratterizzata da scadenti parametri geotecnici.

Le unità U2 e U3 rappresentate da depositi fluviali e le sottostanti unità U4A e U4B rappresentanti le porzioni superficiali del substrato roccioso alterato sono caratterizzate mediamente da buoni parametri geotecnici

Il sottostante substrato roccioso compatto (U5), costituito prevalentemente da argilliti scistose nerastre, sulla base di dati inerenti indagini pregresse su materiali con analoghe caratteristiche litotecniche, risulterebbe caratterizzato da buoni a ottimi parametri geotecnici.

ALLEGATI

- **ALLEGATO 1: Stratigrafia e foto sondaggio geognostico S4 (gennaio 2020)**
- **ALLEGATO 2: Elaborati indagine sismica M_1 (Prova MASW, gennaio 2020)**
- **ALLEGATO 3: Planimetria con indicate le indagini eseguite (gennaio 2020) e quelle pregresse utilizzate**

R.T.P.:
Mandataria: Edes Ingegneri Associati
Mandanti: Enarch S.r.l.
Dott. Ing. Andrea Mascaro
Dott. Ing. Silvia Matarrese
Dott. Archeol. Fabrizio Del Prete

ALLEGATO 1

Stratigrafia e foto sondaggio geognostico S1 (gennaio 2020)

STRATIGRAFIA SONDAGGIO GEOGNOSTICO

Sigla sondaggio **S1**

Committente:	**Comune di Genova**
Cantiere:	**Adeguamento idraulico**
Località:	**Rio Rosata**
Data:	**Inizio e fine 29/01/2020**
Quota:	**p.c.**

Dati di perforazione - computo metrico

Tipo e diametro di perforazione: *carotaggio continuo - 101 mm*
Rivestimento diam. 127 mm: *8.50m* Casse: *n. 2*
Carotiere semplice: 10.00 *m*
Carotiere doppio: -
Corona diamantata: -
Strumentazione*:* -

Litologia	Profondità e potenza strato (*m*)	Descrizione litologica
	0,00 – 0.80 (0.80)	Terreno di riporto: ghiaie prevalentemente medio-fine di colore grigio scuro; clasti poligenici, spigolosi.
	0.80 – 3.80 (3.00)	Ghiaia eterometrica con ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore grigio; clasti prevalentemente calcareo-marnosi, da spigolosi a subangolari.
	3.80 – 8.30 (4.50)	Ghiaia eterometrica con ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore grigio; clasti prevalentemente calcareo-marnosi, da spigolosi a subangolari.
	8.30 – 20,00	Substrato argillitico alterato, fratturato e fortemente alterato, talora ridotto ad argilla e sabbia con blocchi (cappellaccio Argilliti di Montoggio).

% Carotaggio: 100

Manovre % RQD: 0.80 – 1.50 – 2.00 – 3.00 – 4.00 – 5.00 – 5.30 – 6.00 – 7.10 – 8.00 – 8.30 – 8.80 – 10.00

Campioni

Prove geotecniche in foro – Standard Penetration Test

prof.	Risutato	N_{spt}
2.00 – 2.45	12 - 18 - 22	40
4.00 – 4.45	9 - 29 - R	R
6.00 – 6.45	13 - 1 6 - 15	31
8.00 – 8.45	21 - R	R
10.00 – 10.45	12 - 23 - R	R

Lefranc – Lugeon – Menard

Inclinometro: 76 mm

Piezometro a tubo aperto: 2"

Utensile

Carotiere semplice	Carotiere doppio	Corona Diamantata
10.00		

Falda: 29/01/2020 – 4.70



Sondaggio S4: da 0.00 m a 5.00 m

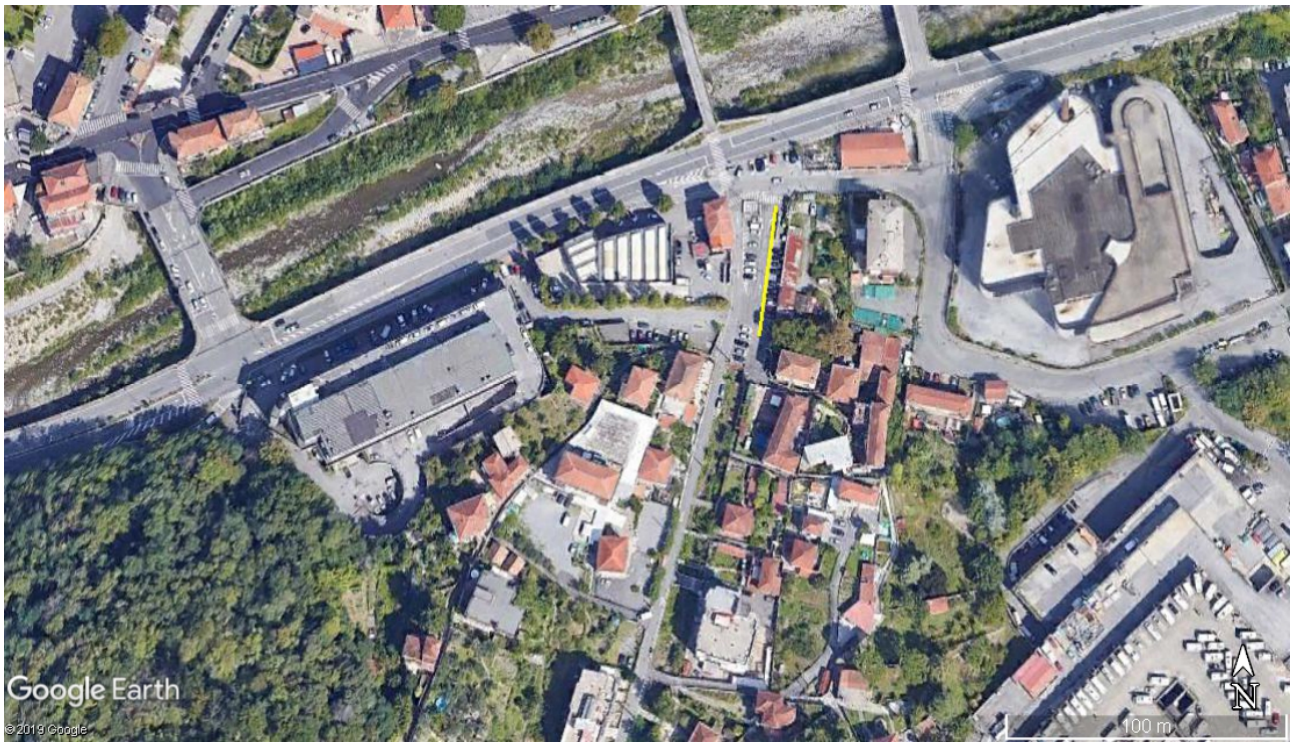


Sondaggio S4: da 5.00 m a 10.00 m

R.T.P.:
Mandataria: Edes Ingegneri Associati
Mandanti: Enarch S.r.l.
Dott. Ing. Andrea Mascaro
Dott. Ing. Silvia Matarrese
Dott. Archeol. Fabrizio Del Prete

ALLEGATO 2

Elaborati indagini sismiche M_1
(Prova MASW, gennaio 2020)



Ubicazione indagine MASW M_1



Posizionamento indagine MASW M_1

EDes Ingegneri Associati
via Postumia 49
10142 TORINO

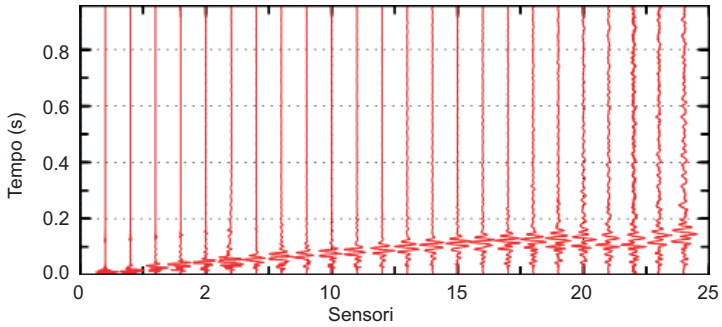
ELABORAZIONE PROVA MASW

COMMITTENTE: Comune di GENOVA
CANTIERE: Adeguamento idraulico Rio Rosata
LOCALITA': Genova
DATA: 22/01/2020

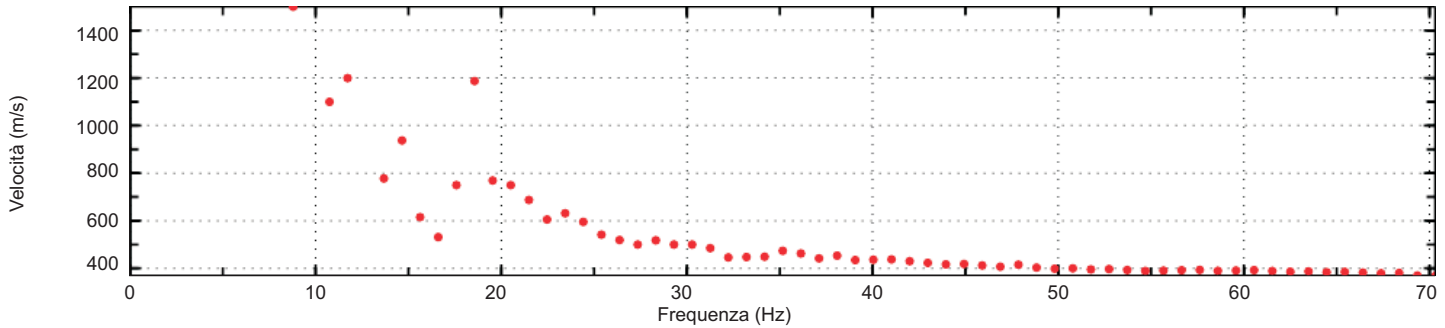
Lunghezza stesa: 48 m
Distanza intergeofonica: 2 m
N° geofoni: 24 a 4.5 Hz
Energizzazione: Mazza 10 Kg

STESA 1

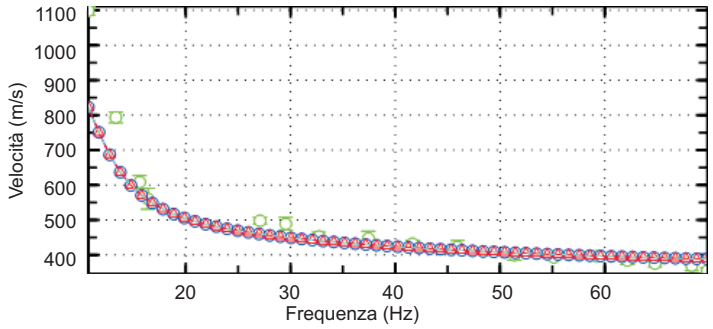
Tracce acquisizioni



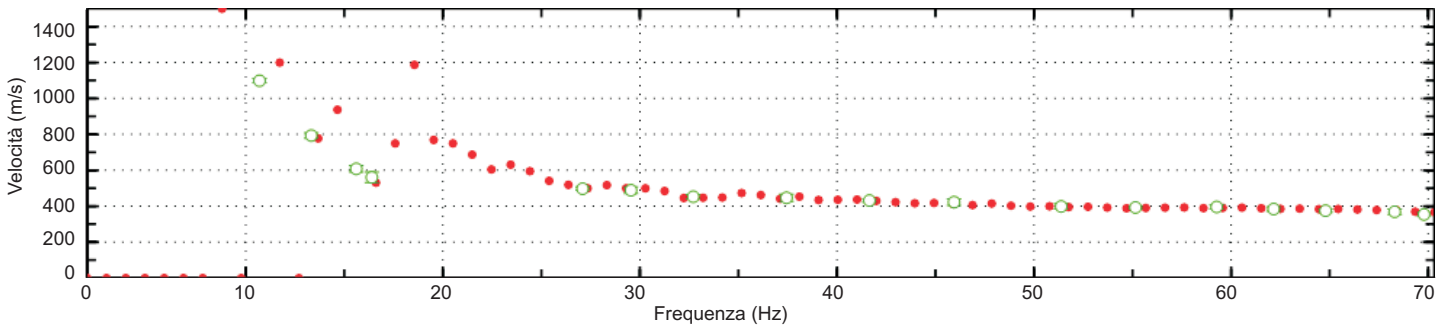
Curva di dispersione sperimentale



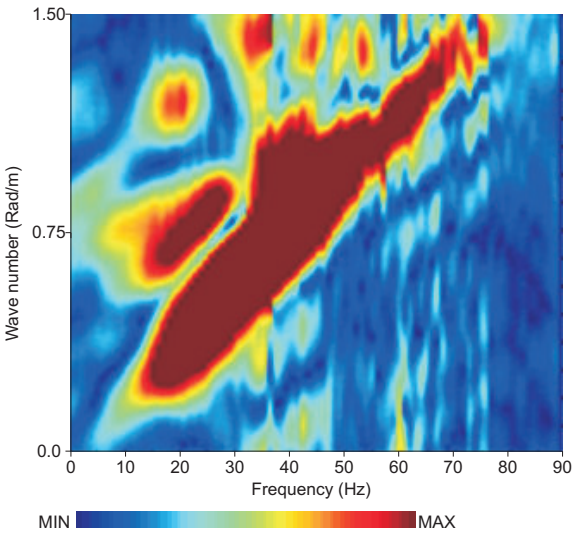
Curve di dispersione elaborate



Curva di dispersione

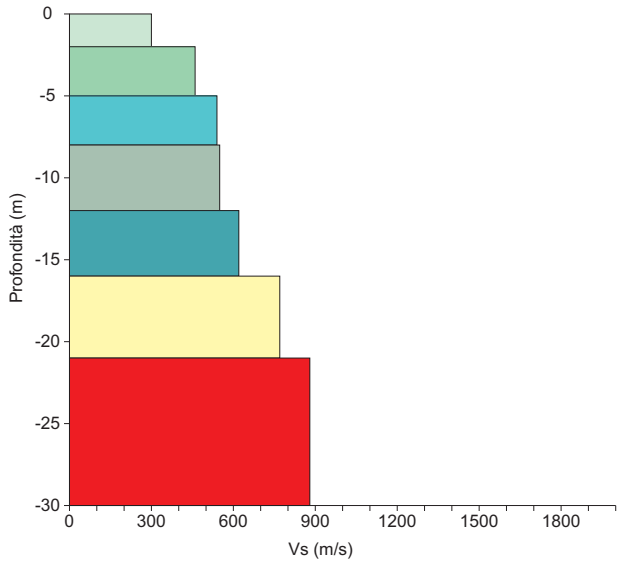


Spettro f/k



CLASSIFICAZIONE SISMICA

Strato	Profondità (m) da	a	Vs (m/s)
1	0.0	-2.0	300
2	-2.0	-5.0	460
3	-5.0	-8.0	540
4	-8.0	-12.0	550
5	-12.0	-16.0	620
6	-16.0	-21.0	770
7	-21.0	-30.0	880



Vs30 = 610 m/s
Vs,eq = 493 m/s
Categoria di sottosuolo B
D.M. 17/01/2018

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.

R.T.P.:
Mandataria: Edes Ingegneri Associati
Mandanti: Enarch S.r.l.
Dott. Ing. Andrea Mascaro
Dott. Ing. Silvia Matarrese
Dott. Archeol. Fabrizio Del Prete

ALLEGATO 3

Planimetria con indicate le indagini eseguite (gennaio 2020) e quelle pregresse utilizzate

Allegato 3

Scala 1:1000

