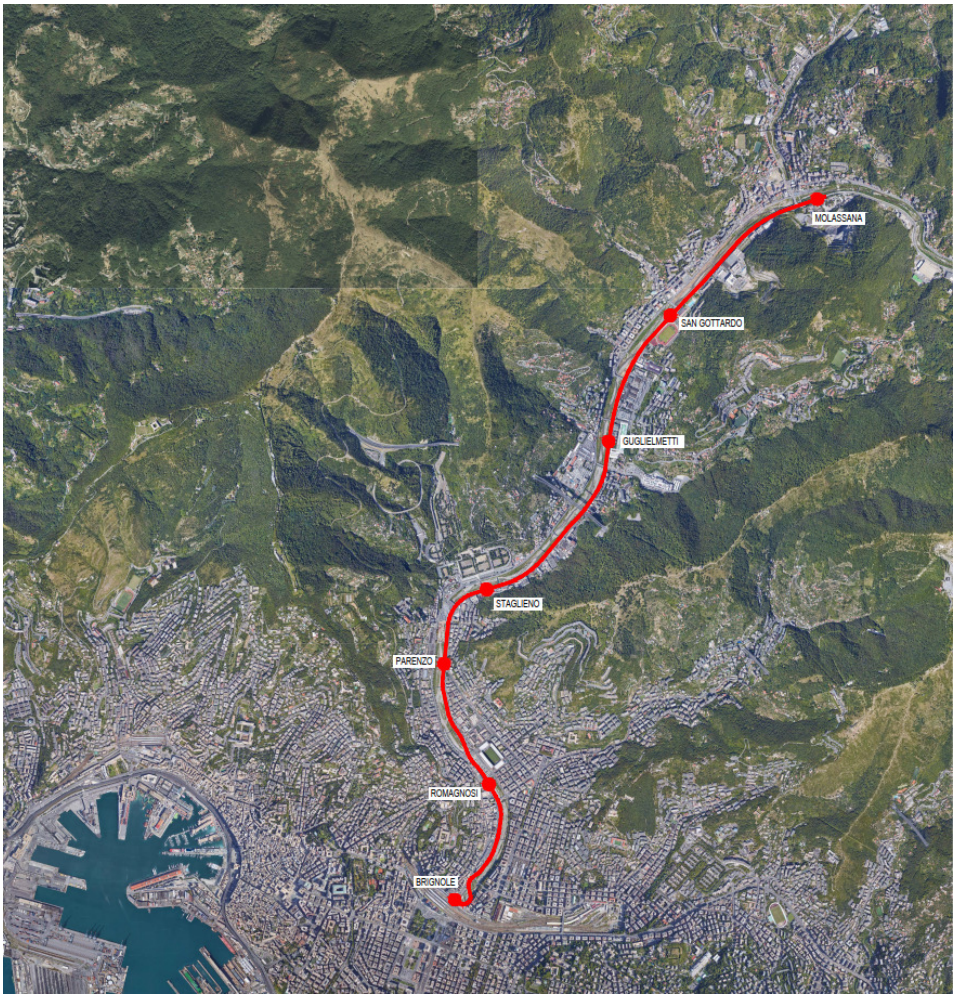
SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO

CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

(D.lgs. n. 36 / 2023)



STUDI E INDAGINI
GEOLOGIA
Relazione Geologica

Commessa	Fase	Lotto	Disciplina	WBS	Tipo	Numero	Foglio	Rev.
MGE1	PR	LV	GEO	COM	R	001	00	A

Rev.	Descrizione	Nome		Data
A	Emissione	Redatto	V. Bellini	06/10/2023
		Verificato	E. Poggi	09/10/2023
		Approvato	G. Benedetti	09/10/2023
		Autorizzato	P. Marchetti	09/10/2023
B		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		
C		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		
D		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		

Comune di Genova

INDICE

1.	PREMESSA.	7
2.	METODOLOGIA DI LAVORO.	9
3.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO E INQUADRAMENTO TERRITORIALE.	10
3.1	RAPPORTI CON IL PIANO DI BACINO STRALCIO DEL TORRENTE BISAGNO PER GLI ASPETTI INERENTI LA SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO E I REGIMI NORMATIVI.	11
3.2	RAPPORTI CON IL P.U.C. DEL COMUNE DI GENOVA PER GLI ASPETTI INERENTI LA ZONIZZAZIONE GEOLOGICA DEL TERRITORIO E LA MICROZONAZIONE SISMICA.	11
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE.	13
5.	IDROGEOLOGIA.	22
6.	MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL TRACCIATO.	24
6.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI DA FONTI BIBLIOGRAFICHE.	24
7.	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE DEL PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA.	34
7.1	RISULTANZE STRATIGRAFICHE DEI SONDAGGI.	35
7.2	RISULTANZE PROVE SPT.	43
7.3	RISULTANZE PROVE DI PERMEABILITÀ.	49
7.4	RISULTANZE PROVE PRESSIOMETRICHE (MENARD).	51
7.5	RISULTANZE PROVE DILATOMETRICHE.	52
7.6	TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P/S.	52
7.7	STENDIMENTI SISMICI MASW, HVSR E REMI.	54
8.	STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO E PROBLEMATICHE GEOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO DELLO SKYMETRO VAL BISAGNO.	57
9.	MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.	70
10.	CONSIDERAZIONI IN MERITO AL RISCHIO SISMICO.	71
10.1.	SISMICITÀ STORICA DEL COMPARTO IN ESAME.	73
10.2.	SORGENTI SISMOGENETICHE E FAGLIE CAPACI DEL COMPARTO IN ESAME.	74
11.	RISCHIO DI POTENZIALE LIQUEFAZIONE.	78
12.	CONCLUSIONI.	79

ELENCO ALLEGATI. 80

- **ALLEGATO 1: ESTRATTO DALLA "CARTA DEI PRINCIPALI VINCOLI TERRITORIALI" DEL VIGENTE PIANO DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO DEL T. BISAGNO (FUORI SCALA).**
- **ALLEGATO 2: ESTRATTO DALLA "CARTA DEL RETICOLO IDROGRAFICO REGIONALE" (ADOTTATO CON D.G.R. 507/2019) (FUORI SCALA).**
- **ALLEGATO 3: ESTRATTO DALLA "CARTA DELLA SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO" DEL VIGENTE PIANO DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO DEL T. BISAGNO (FUORI SCALA).**
- **ALLEGATO 4: ESTRATTO DALLA "CARTA GEOLOGICA D'ITALIA" (PROGETTO CARG) FOGLIO GENOVA 213-230 (FUORI SCALA).**
- **ALLEGATO 5: ESTRATTO DALLA "CARTA GEOLOGICA" DEL VIGENTE PUC 2015 DEL COMUNE DI GENOVA (FUORI SCALA).**
- **ALLEGATO 6: ESTRATTO DALLA "CARTA GEOMORFOLOGICA" DEL VIGENTE PUC 2015 DEL COMUNE DI GENOVA (FUORI SCALA).**
- **ALLEGATO 7: ESTRATTO DALLA "CARTA DELLA ZONIZZAZIONE GEOLOGICA E SUSCETTIVITÀ D'USO DEL TERRITORIO" DEL VIGENTE PUC 2015 DEL COMUNE DI GENOVA (FUORI SCALA).**
- **ALLEGATO 8: ESTRATTO DALLA "CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA" (MOPS) DEL VIGENTE PUC 2015 DEL COMUNE DI GENOVA (FUORI SCALA).**
- **ALLEGATO 9: SOVRAPPOSIZIONE TRACCIATO SU STRALCIO DELLA "CARTA TOPOGRAFICA DEI DINTORNI DI GENOVA" 1851 – ARCHIVIO STUDIO ASSOCIATO BELLINI (FUORI SCALA).**
- **ALLEGATO 10: UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI DA FONTI BIBLIOGRAFICHE (SCALA 1:5000).**
- **ALLEGATO 11: PLANIMETRIA DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA (SCALA 1:5000).**
- **ALLEGATO 12: CARTA DELLA PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO ROCCIOSO LUNGO IL TRACCIATO (SCALA 1:5000).**

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Tracciato Skymetro e stazioni. 8

Figura 2. Veduta aerea della Val Bisagno – Google Earth. 13

Figura 3. Estratto da Baratta 1637 – veduta della Val Bisagno. 17

Figura 4. Valori di NSPT in funzione della profondità. 48

Figura 5. Valori di N1(60) in funzione della profondità. 48

Figura 6. Tracciato dei rivi tombinati che sottopassano gli impianti sportivi della Sciorba e sfociano nel Bisagno. 65

Figura 7. Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo (amax) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (Vs30 > 800 m/s) – da INGV. 72

Figura 8. Sismicità storica del Comune di Genova. Si individuano 131 eventi nel periodo compreso tra il 1182 e il 2016, di intensità massima compresa tra 6 e 7. 73

Figura 9. Sorgenti sismogenetiche nella nuova versione del "Database of Individual Seismogenic Sources. Immagine focalizzata sull'ambito ligure. In rosso l'area di studio (http://diss.rm.ingv.it/diss/). 75

Figura 10. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composita Imperia Promontory (ITCS022). 76

Figura 11. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composita Lunigiana (ITCS026). 76

Figura 12. Stralcio cartografico dell'area di interesse (in verde), con l'indicazione delle faglie attive e capaci (*http://sgi2.isprambiente.it).* 77

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Sondaggi geognostici disponibili da banca dati. 25

Tabella 2. Caratteristiche dei sondaggi del PFTE 2023 e relativi allestimenti. 37

Tabella 3. Prove SPT a rifiuto. 43

Tabella 4. Valori di NSPT ottenuti in ciascun sondaggio. 43

Tabella 5. Risultati delle prove di permeabilità di tipo Lefranc e Lugeon eseguite nei sondaggi del PFTE 2023. 49

Tabella 6. Risultati delle prove pressiometriche nei sondaggi del PFTE 2023. 51

Tabella 7. Risultati delle prove dilatometriche nei fori dei sondaggi del PFTE 2023. 52

Tabella 8. Caratteristiche delle stese sismiche a rifrazione in onde P/S. 53

Tabella 9. Indagini MASW, HVSR e Remi. 54

Tabella 10. Monitoraggio piezometrico – settembre 2023. 68

1. PREMESSA.

E' stato sottoposto a esame geologico il tracciato lungo il quale si propone di realizzare il prolungamento della linea metropolitana denominata Skymetro, che si sviluppa, in sede propria, lungo il torrente Bisagno, dalla stazione ferroviaria di Brignole a Molassana, per valutare la fattibilità geologica del progetto.

Il nuovo tratto di linea ha uno sviluppo complessivo di circa 6800 m e prevede sei stazioni di fermata, oltre alla stazione Brignole, dove si connette alla linea esistente. Muovendosi sul rilevato ferroviario, la linea si porta in sponda sinistra del T. Bisagno, per poi tornare in destra all'altezza del ponte di Sant'Agata, transitando su un ponte in curva della lunghezza di 100 m. Da qui il tracciato prosegue in destra idrografica fino a Marassi, per poi attraversare il torrente davanti allo Stadio Luigi Ferraris e risalire la valle lungo la sponda sinistra fino a Molassana.

Il progetto prevede che l'infrastruttura corra su una via sopraelevata dedicata, con impalcato su pile a fusto unico, o pile a cavalletto, comunque impostate alle spalle dei muri d'argine del corso d'acqua, e solo localmente arretrate con debole deviazione di linea, per risolvere le interferenze con manufatti esistenti (**Figura 1**).



Figura 1. Tracciato Skymetro e stazioni.

Nel seguito sono specificatamente trattati i seguenti aspetti:

- inquadramento del progetto nell'ambito degli strumenti di pianificazione territoriale, con analisi dei riferimenti normativi per le tematiche geologiche l.s. quindi, rapporti con il Piano di Bacino del Torrente Bisagno, con riferimento ai principali vincoli territoriali e al quadro della suscettività al dissesto e con la zonizzazione geologica del PUC del Comune di Genova;

- caratteristiche generali del tracciato sotto il profilo geologico, geomorfologico e idrogeologico;
- analisi preliminare del quadro geologico e stratigrafico di dettaglio del contesto entro cui s'inserisce l'infrastruttura;
- illustrazione degli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche fino ad oggi realizzate per il progetto di fattibilità tecnica ed economica dello Skymetro, ai sensi del D.Lgs. 36/2023.

2. METODOLOGIA DI LAVORO.

Per l'inquadramento geologico e geomorfologico del tracciato del prolungamento della metropolitana in Val Bisagno e per la ricostruzione del modello geologico preliminare di riferimento, la metodologia di lavoro ha compreso le seguenti fasi:

- ricerca, raccolta ed esame del materiale bibliografico, cartografico e tecnico già esistente in merito alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del fondovalle della Val Bisagno;
- analisi preliminare delle indagini geognostiche disponibili in aree prossime a quelle d'interesse progettuale, reperite presso l'Archivio dello Studio Associato Bellini, presso la banca dati del Comune di Genova e presso la Regione Liguria, eseguite per opere pubbliche e private, nonché rese disponibili dall'archivio di Italferr. Si precisa che nelle numerose banche dati consultate, sono stati presi in considerazione, ai fini delle tematiche in esame, solo i sondaggi geognostici che hanno raggiunto il substrato roccioso;
- esame e illustrazione delle risultanze delle indagini geognostiche del piano di indagini attuato a supporto del progetto;
- elaborazione dell'insieme dei dati raccolti e stesura della presente relazione e degli stralci cartografici di supporto, ai sensi della normativa vigente di riferimento per il corrispondente livello progettuale.

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO E INQUADRAMENTO TERRITORIALE.

I contenuti della presente relazione geologica fanno riferimento alle seguenti normative.

- D.M. 17.01.18 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018"**.**
- D.Lgs. 31.03.23 n. 36 – Codice dei Contratti Pubblici, con riferimento all'accertamento della compatibilità geologica e geomorfologica dell'opera prevista dall'Art. 41 nell'ambito del livello di approfondimento corrispondente al progetto di fattibilità tecnica ed economica.

Per quanto riguarda invece la normativa regionale e gli strumenti di pianificazione territoriale attinenti le tematiche geologiche l.s., sono stati presi in considerazione:

- il Piano di Bacino stralcio per l'assetto idrogeologico del T. Bisagno, approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n. 62 del 04/12/2001, comprese le successive modifiche fino all'attuale vigenza. Il riferimento è solo alla suscettività al dissesto delle aree interessate, mentre per le tematiche idrauliche si rimanda al contributo specialistico di settore.
- P.U.C. del Comune di Genova, approvato con D.D. n. 2015/118.0.0/18 ed entrato in vigore in data 03/12/15, con recepimento della Pianificazione di Bacino fino al 31.12.2019. Tale Piano è stato preso come riferimento per gli aspetti relativi a: microzonazione sismica di primo livello, zonizzazione e suscettività d'uso, norme geologiche di attuazione e cartografia di base geologica e geomorfologica.
- D.G.R. Regione Liguria 216/2017 Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria.
- D.G.R. n. 507 del 21.06.2019 adozione nuovo reticolo idrografico regionale.

Si precisa, inoltre, che:

- il tracciato corre in aree non sottoposte a vincolo idrogeologico, come sancito dall'art. 5 ter delle Norme di Attuazione del Piano di Bacino stralcio del T. Bisagno, per il quale il vincolo è applicato, ai sensi dell'art. 34 della l.r. 4/1999 e s.m.i., sulle aree mappate in colore verde della "Carta dei principali vincoli territoriali" prodotta, a stralcio, in **ALLEGATO 1;**

- il tracciato interferisce con i tratti tombinati di numerosi corsi d'acqua affluenti del T. Bisagno e appartenenti al reticolo idrografico regionale adottato con D.G.R. n. 507 del 21.06.2019 (**ALLEGATO 2**). Sono altresì intersecati i tombini di altri rivi che sfociano nel T. Bisagno e che, pur non inseriti nel reticolo regionale, appartengono comunque al reticolo minuto. Il riferimento normativo per risolvere le criticità poste dalle intersezioni è il Regolamento Regionale n. 3/2011, come modificato dal R.R. 1/2016.

Si tralascia, in questa sede, qualsiasi altra considerazione in merito a eventuali vincoli paesaggistici, urbanistici, e soprattutto idraulici, ecc. che attengono altre competenze e relative specialistiche.

3.1 Rapporti con il Piano di Bacino stralcio del Torrente Bisagno per gli aspetti inerenti la suscettività al dissesto e i regimi normativi.

Con riferimento alla Carta della Suscettività al Dissesto del Piano di Bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico del T. Bisagno, si segnala che l'intero tracciato dell'infrastruttura in esame si mantiene all'interno dell'area classificata a suscettività al dissesto molto bassa Pg0 (**ALLEGATO 3**), corrispondente, appunto, al fondovalle del torrente. L'opera è compatibile con tale zonizzazione, come previsto dall'art. 14 c. 4, il quale rimanda direttamente agli adempimenti previsti dal livello di pianificazione comunale, nella fattispecie, dal Comune di Genova, nell'ambito della norma geologica di attuazione del PUC vigente, in funzione della classificazione da questo attribuita.

3.2 Rapporti con il P.U.C. del Comune di Genova per gli aspetti inerenti la zonizzazione geologica del territorio e la microzonazione sismica.

Per quanto riguarda la carta di zonizzazione geologica, il territorio comunale genovese é ripartito in classi a diverso grado di "fragilità", sotto gli aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici. A tali classi si associa una normativa geologica di riferimento che stabilisce l'ammissibilità delle proposte d'intervento edilizio, che siano nuove costruzioni o ristrutturazioni di

edifici e manufatti esistenti, o riqualificazioni urbane, in rapporto al contesto e il grado di approfondimento delle indagini da eseguire.

Con riferimento a tale zonizzazione, che deriva dalla valutazione integrata della cartografia di base, di cui si allegano la carta geologica (**ALLEGATO 5**) e la carta geomorfologica (**ALLEGATO 6**), il tracciato della nuova infrastruttura proposta si sviluppa integralmente nella zona B urbanizzata, con suscettività d'uso parzialmente condizionata (**ALLEGATO 7**). Solo puntualmente interseca la zona C urbanizzata, mappata in ambiti molto ristretti, probabilmente derivanti da refusi grafici dell'elaborazione automatica dei dati territoriali, piuttosto che dall'effettiva sussistenza di problematiche locali. Ad ogni modo, s'individuano in zona Sciorba, poco a monte del Ponte Gallo e a Molassana, in corrispondenza del Ponte Fleming.

Rispetto alla zonizzazione geologica del territorio del vigente PUC, l'intervento proposto è senz'altro ammesso, a condizione che vengano eseguiti approfonditi studi e indagini geologiche e verifiche geotecniche atte ad appurare l'effettiva assenza di fenomeni geologici negativi e a comprovare la compatibilità dell'intervento con le condizioni idrogeologiche del contorno. E' richiesto, inoltre, che lo studio geologico tenga conto degli aspetti sismici, in ragione della presenza di sedimenti alluvionali con spessori superiori a 3.00 m, suscettibili di amplificazione sismica locale come attesta la carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica del PUC, che si produce in **ALLEGATO 8**.

Occorre aggiungere che l'art. 14 comma 3 delle Norme Generali del PUC prescrive, nelle sistemazioni e nelle finiture di ogni nuovo intervento edilizio, di ricercare soluzioni che garantiscano il mantenimento o il miglioramento dell'efficienza idraulica, al fine di mitigare gli effetti dovuti alla formazione di superfici impermeabilizzate e di migliorare il sistema di smaltimento delle acque superficiali, a favore del riutilizzo delle stesse. L'infrastruttura lineare che si propone, essendo sopraelevata, introduce nuove superfici impermeabilizzate che si sovrappongo a quelle già esistenti nella situazione attuale. Ciò non di meno, dovrà essere dotata di opportuni sistemi di smaltimento e gestione delle acque piovane con modalità da concordare con gli Enti preposti.

Resta, infine, da essere approfondito il tema delle problematiche idrauliche legate alle fasce d'inondabilità del corso d'acqua, per il quale si rimanda al relativo contributo specialistico.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE.

Il tracciato di progetto si sviluppa da Brignole a Molassana e risale la Val Bisagno mantenendosi in fondovalle. Oltre l'attraversamento previsto su un ponte che supera diagonalmente l'alveo collegando la sponda sinistra, all'altezza di Corso Galliera, con la sponda destra, in zona Via Canevari – ponte di Sant'Agata, l'infrastruttura risale la valle in sponda destra fino a Marassi e si porta quindi in sponda idrografica sinistra, dove resta fino a Molassana.

I lineamenti geomorfologici della valle evidenziano che, dopo un primo andamento all'incirca Nord-Sud, all'altezza del Cimitero di Staglieno l'asse vallivo piega progressivamente verso Est e dopo Molassana assume definitivamente una direzione Est/Ovest fino a Bargagli (**Figura 2**).



Figura 2. Veduta aerea della Val Bisagno – Google Earth.

Il confronto tra la cartografia attuale e la cartografia storica che rileva la Val Bisagno nel 1851 (**ALLEGATO 9**: Stralcio "carta topografica dei dintorni di Genova" – 1851) mostra lo sviluppo del tessuto insediativo nella valle e, con riferimento proprio al fondovalle, permette di individuare le modifiche di percorso subite dal corso d'acqua, i tratti rettificati e/o arginati e la parziale occupazione dell'alveo da parte proprio del tessuto urbanizzato, con formazione di rilevati e riempimenti per ricavare, tra l'altro, il sedime della viabilità lungo le sponde. Viabilità che risulta più antica, stretta e ridossata agli abitati quella in sponda destra, più recente e ampia quella in sponda sinistra, soprattutto nel tratto di media valle.

Prima di passare all'esame di dettaglio dei terreni interessati dall'opera proposta, pare opportuno delineare il quadro geologico generale dei luoghi. Si produce al proposito, in **ALLEGATO 4**, uno stralcio della Carta Geologica d'Italia, Foglio 213-230 Genova e uno stralcio della Carta Geologica del Piano Urbanistico Comunale del Comune di Genova (**ALLEGATO 5**) in cui, oltre all'indicazione delle formazioni geologiche presenti a substrato, sono riportati i depositi alluvionali quaternari, i principali corpi detritici e i riporti antropici di particolare estensione e rilevanza. Si cita inoltre la Carta geomorfologica in (**ALLEGATO 6**). Le Tavole di riferimento, esterne al testo, sono la carta geologica MGE1PRLVGEOCOMT001-00_A e la carta geomorfologica MGE1PRLVGEOCOMT002-00_A.

Argilliti di Montoggio

La più antica formazione geologica della Val Bisagno è rappresentata dalle Argilliti di Montoggio, che comprende argilliti manganesifere di colore grigio nero, con livelli varicolori da rosso a verde, ad accentuata scistosità. Includono anche intercalazioni di strati centimetrici e decimetrici calcarei e arenacei. Dal punto di vista stratigrafico costituiscono la base del Flysch calcareo di Monte Antola e sono morfologicamente distinguibili perché originano blande pendenze, in contrasto con i ripidi pendii calcarei. L'assetto strutturale scistoso le rende fittamente scagliettate e tipicamente degradate in un detrito scaglioso a matrice argillosa per alterazione, nei livelli più superficiali. Le argilliti rappresentano una superficie netta di discontinuità rispetto al soprastante ammasso calcareo e, insieme a questo, costituiscono l'Unità Tettonica Antola.

Formazione di Monte Antola

E' il livello superiore dell'Unità tettonica Antola e comprende torbiditi calcareo marnose, marne e marne calcaree e, in subordine, argilliti talora scistose in strati decimetrici e bancate calcareo arenacee. Nell'ambito genovese prevale la componente calcarea e calcareo marnosa (70-80%), che si presenta in strati di spessore da sub metrico a metrico, di colore grigio. Le litologie eterogenee che compongono il flysch hanno comportamenti deformativi diversi, essendo più rigidi i calcari arenacei e i calcari e progressivamente più duttili le marne e le argilliti. Anche lo stato fessurativo varia, come il grado di alterazione per esposizione agli agenti meteorici.

L'Unità Antola è stata interessata da diverse fasi plicative che hanno innanzitutto generato pieghe a scala chilometrica con assi Nord/Sud, cui ha fatto seguito una fase distensiva con piani di discontinuità all'incirca paralleli alla costa. Alle sollecitazioni tettoniche delle diverse fasi subite, i vari litotipi componenti l'Unità hanno reagito diversamente. Pertanto i materiali duttili hanno generato pieghe a varia scala e di raggio differente, i materiali rigidi, maggiormente fragili, si sono fratturati con piani di rottura perpendicolari alla stratificazione e spesso tra loro reciprocamente intersecati.

Argille di Ortovero

Le Argille di Ortovero sono sedimenti marini pliocenici composti da marne e marne argillose, o argille marnose di colore grigio e grigio azzurro, con intercalazioni sottili di livelli sabbiosi.

Si sono sedimentate all'interno di una fossa tettonica orientata all'incirca Est/Ovest e apertasi nella formazione calcarea per sprofondamento di una zolla del massiccio per qualche centinaia di metri.

Nella fossa, delimitata da faglie e fianchi gradonati, si è inserito il mare, che ne ha determinato il riempimento con sedimenti fini, in ragione della profondità di deposizione. Il contatto con i calcari è dunque trasgressivo e, soprattutto in vicinanza ai margini della fossa, è annunciato dalla presenza di depositi di brecce e conglomerati di spessore fino a qualche metro, costituiti da frammenti e trovanti calcarei in matrice argillosa e limosa sempre grigia, che diminuisce avvicinandosi al substrato calcareo.

Le Argille di Ortovero non sono mai visibili in affioramento poiché confinate e coperte nelle aree urbanizzate. E' comunque appurato che il loro ambito di competenza, nel centro del

genovesato, interessa una fascia della larghezza di circa un chilometro che si estende dalla Stazione di Porta Principe a ponente, al Torrente Sturla nel levante. Interseca l'asse del T. Bisagno all'altezza del rilevato ferroviario, dove sono ricoperte dai sedimenti alluvionali quaternari.

La zona di Brignole – posta alla base della dorsale rocciosa strutturata in calcari marnosi, su cui si snodano Via Montesano e Corso Monte Grappa – si colloca in corrispondenza delle Argille plioceniche, che comprendono limi e argille e argille marnose, con locali intercalazioni di livelli sabbiosi e livelli basali di brecce calcaree, tipicamente di colore grigio se sane, compatte, consistenti e sovraconsolidate.

Tale formazione è stata successivamente interessata dall'impostazione del Torrente Bisagno, che dapprima ha inciso e rimaneggiato, in questo settore, il substrato argilloso-marnoso, quindi ha depositato sedimenti alluvionali a variabile granulometria, da limi sabbiosi e ghiaiosi a ghiaia e ciottoli sabbiosi, trovando condizioni morfologiche favorevoli all'estensione della piana alluvionale verso Est rispetto all'alveo attuale, in zona Terralba e Albaro, come attestano le antiche vedute dell'area (**Figura 3**).

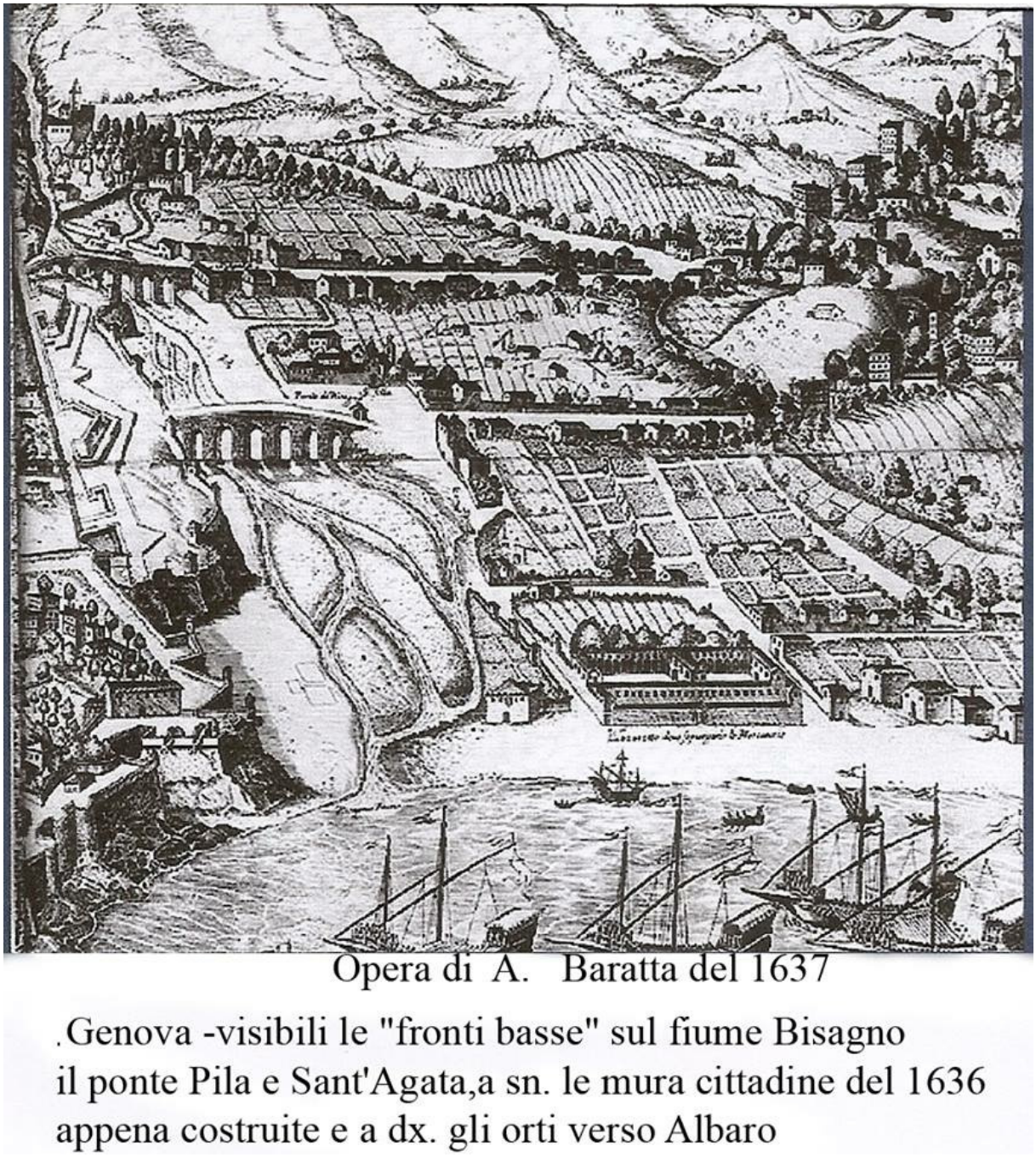


Figura 3. Estratto da Baratta 1637 – veduta della Val Bisagno.

Le risultanze di diversi sondaggi perforati nell'areale Brignole – Viale Brigata Bisagno hanno rivelato la presenza del deposito alluvionale del T. Bisagno (di granulometria prevalentemente

grossolana, ghiaioso-sabbiosa, con intercalazioni di livelli anche metrici di limi argillosi e sabbiosi, a copertura e parziale rimaneggiamento del substrato pliocenico.

A Brignole, la linea ferroviaria taglia trasversalmente lo sviluppo della piana alluvionale, rispetto alla quale, l'alveo attuale arginato del corso d'acqua, risulta disassato e addossato alla sponda destra, dove, in zona Borgo Incrociati e Via Canevari, costeggia la dorsale calcarea di Corso Montegrappa. L'alveo in origine doveva però essere impostato più a Est, come si deduce dalle indagini di seguito illustrate, tanto è vero che la piana alluvionale resta sviluppata tutta in sinistra idrografica, in zona Foce e Terralba e riceve i contributi dei rivi laterali di cui il principale è il Rio Fereggiano e più a Est il Rio Noce e il Rio Rovare, che, come detto, presentano a substrato le più tenere ed erodibili Argille di Ortovero.

Risalendo la Val Bisagno, la fascia pianeggiante del fondovalle si restringe nettamente a partire dalla zona di Marassi – Stadio L. Ferraris – Staglieno, per l'avanzamento delle dorsali rocciose laterali, impostate, come detto, in calcari. Lo stacco morfologico tra versante e fondovalle si fa netto ed evidenzia, in maniera inequivocabile, i rapporti geologico-stratigrafici che caratterizzano questo settore, impostato nella "Formazione di Monte Antola", che determina pendenze, in taluni settori, anche molto accentuate, ancorché modificate e risagomate a seguito d'interventi di natura antropica.

Lungo la valle principale si sussegue, quindi, un'alternanza di zone di restringimento in corrispondenza delle dorsali secondarie convergenti verso l'alveo (Quezzi, Montesignano e Montanasco in sinistra, San Sebastiano e San Gottardo in destra), proprio fino a Molassana.

All'altezza dell'ultimo tratto del tracciato in esame, la piana, costretta dal contrafforte collinare del Monte Croce in sponda sinistra, si allarga verso la sponda destra, sia per la confluenza con il T. Geirato, sia per la presenza, a substrato, di rocce meno dure rispetto ai calcari: le argilliti scistose di colore grigio-nero, appartenenti alla formazione delle "Argilliti di Montoggio"sopra descritta.

A contrasto con i versanti rocciosi laterali, la fascia pianeggiante di fondovalle è caratterizzata da sedimenti di origine alluvionale, competenti alla deposizione del Bisagno e costituiti da una sequenza indifferenziata di ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa. Le intercalazioni limose e limoso –sabbiose di estensione areale significativa e di spessore plurimetrico, compaiono solo nel tratto meridionale della valle, dove sono presenti a substrato le Argille di Ortovero.

Il deposito alluvionale quaternario appoggia direttamente sulle formazioni geologiche di substrato che il T. Bisagno interessa nel suo percorso tra Molassana e Brignole e che, ricapitolando, vedono da Sud a Nord:

- le Argille di Ortovero nella zona di Brignole – Foce - Terralba;
- la Formazione di Monte Antola lungo la maggiore parte dello sviluppo successivo risalendo la valle;
- le Argilliti di Montoggio a Molassana e lungo l'incisione del T. Mermi, affluente di sinistra del Bisagno.

Motivo d'interesse si ricava dall'esame dello sviluppo degli spessori del deposito alluvionale, variabile da zona a zona in funzione delle caratteristiche geologiche delle formazioni incontrate e della effettiva profondità di reperimento del substrato roccioso lungo il tracciato di progetto, tenendo conto anche dello spessore del rilevato stradale. Infatti:

- nella zona di Molassana, sponda destra, si hanno spessori dell'ordine di 20-25 m, che aumentano fino a 30 m lungo la strada in sponda sinistra, nonostante l'incombenza sulla sponda della dorsale collinare di Montanasco, arretrata artificialmente in conseguenza dell'attività della cava omonima e della conseguente posa di una sequenza di riporti significativa per spessore, per la formazione del rilevato stradale. L'asimmetria del profilo vallivo si mantiene proseguendo verso Sud grossomodo fino alla Sciorba, con locali variazioni, dettate proprio dall'alternanza di dossi e rientranze in corrispondenza del versante sinistro, dove si identifica una variabilità di profondità del substrato roccioso rispetto alla quota della strada di sponda, tra 10 e 25 m;
- un sensibile aumento dei terreni sciolti in copertura al substrato (riporti e alluvioni) fino a 35 m di spessore e oltre, si registra nel tratto tra la Sciorba e il viadotto autostradale, presso la confluenza con l'affluente sinistro T. Mermi che, come detto, presenta a substrato del fondovalle le Argilliti di Montoggio;
- più a valle, in zona Staglieno, dove la valle si restringe, ancora per l'incombenza dei versanti calcarei dalla sponda sinistra, lo spessore del materasso alluvionale si comprime sensibilmente e resta sormontato da un riporto mediamente di 5.00 m di spessore. L'avanzamento verso il corso d'acqua della dorsale di Staglieno in sponda sinistra, determina localmente la repentina risalita del substrato, nel tratto in curva della valle, dove il substrato si raggiunge entro profondità tra

6.00 m e 12.00 m, cui fa contrasto un tratto di sensibile approfondimento per probabile spostamento dell'alveo all'altezza di Lungo Bisagno Istria, Via Mandoli, Piazzale Marassi. In questa zona, infatti, il substrato è stato raggiunto a profondità di 35-40 m che, se confrontate con i dati stratigrafici disponibili per la sponda destra, confermano l'evidenza mostrata dalla carta storica dell'**ALLEGATO 9**, relativamente al fatto che l'alveo originario del Bisagno era spostato più a Est rispetto al corso attualmente arginato;

- a partire da Marassi, il corso d'acqua "perde" gradualmente il versante sinistro, che arretra per la presenza delle Argille di Ortovero, che sono state spianate dal corso d'acqua. Ne deriva che il trasporto solido alluvionale si distribuisce su un'area più vasta (Corso Sardegna, Piazza Giusti) e la pianura si allarga. Il torrente Bisagno, evidentemente, perdendo energia, formava ampie zone di calma con fasi di deposizione fine, limoso-argillosa, intercalate alle alluvioni più grossolane;
- nel tratto in sponda destra, quindi, il deposito alluvionale si riduce e il substrato è raggiungibile entro la profondità di 30 m circa. All'altezza della già citata dorsale di Corso Monte Grappa e Via Montesano, in zona Staglieno e a Gavette, la piana alluvionale si salda con i depositi pedemontani dei versanti, che denotano, mediamente, granulometrie miste, dove lo scheletro lapideo è di natura calcarea e la matrice limoso sabbiosa è tipicamente di colore marroncino e ocra, per alterazione e ossidazione in ambiente subaereo, con forme terrazzate riconducibili a condizioni paleogeografiche ben diverse dall'attuale.

La Val Bisagno si caratterizza inoltre per la presenza di consistenti paleoaccumuli detritici, corpi di antiche frane, coltri colluviali estese, originate da accumulo pedemontano, che si citano per completezza d'informazione sebbene non interferiscano direttamente con il tracciato della linea di trasporto proposta. La situazione sotto tale aspetto più significativa è presente soprattutto in sponda sinistra, sul versante alle spalle dell'ex mattatoio municipale e degli impianti sportivi della Sciorba.

Sul versante a ridosso del fondovalle si segnalano, inoltre, due zone a suscettività al dissesto molto elevata per presenza di frane attive. Riguardano le pareti rocciose retrostanti gli edifici e i capannoni di Lungo Bisagno Istria a Staglieno, che si estendono fino al deposito AMIU di Volpara, affette sistematicamente da crolli di massi e frammenti lapidei, dove sono state realizzate opere di difesa come barriere paramassi e rivestimenti con rete metallica. Analoga problematica è segnalata in prossimità della cava Montanasco a Molassana, sempre in versante sinistro, dove il fronte roccioso che incombe sul muraglione di Via Gelasio Adamoli mostra fenomeni erosivi superficiali e tende a

rilasciare materiali detritici e frammenti rocciosi. Sono noti altresì indizi di assestamenti con potenziale coinvolgimento di volumi maggiori.

Di diversa rilevanza, infine, per le tematiche d'interesse, è lo strato di materiali di riporto che forma il corpo dei rilevati stradali retrostanti agli argini del torrente, sia in destra che in sinistra idrografica e che si connota, mediamente, come un detrito eterogeneo, assimilabili, dal punto di vista granulometrico, al deposito alluvionale grossolano, seppure tendenzialmente meno addensato di questo e "disturbato", nei livelli più superficiali, dalla presenza di numerosissimi sottoservizi.

Il profilo geologico della Tavola MGE1PRLVGEOCOMT005-00_A ricostruisce lungo tutto lo sviluppo del tracciato della linea Skymetro la sequenza stratigrafica attesa, correlando i dati delle indagini realizzate.

5. IDROGEOLOGIA.

Le valutazioni in merito alle caratteristiche idrogeologiche dei terreni presenti nell'area del bacino del Torrente Bisagno sono generali e indicative poiché dedotte dall'esame della permeabilità relativa delle diverse litologie descritte. Il riferimento è alla Tavola esterna al testo "Carta Idrogeologica" estratta dal PUC di Genova e codificata come MGE1PRLVGEOCOMT003-00_A.

Per quanto riguarda le formazioni rocciose del substrato si distinguono:

- i calcari, permeabili per fratturazione e fessurazione e localmente per carsismo;
- le argilliti, da semipermeabili a impermeabili se in condizioni d'integrità, possono ammettere circolazione idrica al loro interno in associazione ai sistemi di fratturazione;
- le argille marnose plioceniche, dotate di scarsa o nulla permeabilità per porosità. Ammettono debole circolazione idrica in corrispondenza dei livelli sabbiosi intercalati.

Nei litotipi argillosi e nelle relative coperture detritiche, a spiccata componente fine, sono possibili circolazioni idriche di ridotta entità, riconducibili a uno schema di flusso limitato che si realizza lungo orizzonti ben determinati, discontinui e spesso isolati.

Di maggiore rilevanza è invece la circolazione idrica sotterranea all'interno dell'ammasso calcareo, in corrispondenza delle zone fratturate e tettonizzate, in fasce e orizzonti delimitati e per vie preferenziali.

Per quanto riguarda i depositi alluvionali si evidenzia che questi sono sede di un importante acquifero, sfruttato anche a uso idropotabile, tramite pozzi che si trovano disseminati nel fondovalle. I più importanti e a uso idropotabile, sono ubicati nella zona di Piazza Giusti, a San Fruttuoso e in zona Via Casaregis – Via Montesuello a Sud della ferrovia.

Si ha notizia poi di alcuni pozzi nell'acquifero alluvionale superficiale, ubicati in sponda destra all'altezza del Ponte Gallo, in sinistra, nel complesso sportivo della Sciorba, all'altezza del Rio Mermi e nell'ex mattatoio municipale.

L'acquifero, unico nella media e alta valle, assume la connotazione di un acquifero stratificato nella zona meridionale, dove, come già detto, il deposito alluvionale grossolano è intersecato da sequenze fini, limose e sabbiose, di spessore anche metrico, che rappresenta un acquicludo nella sequenza e determina, localmente, condizioni di artesianità nella falda alluvionale profonda (Profilo idrogeologico in Tavola MGE1PRLVGEOCOMT004-00_A).

In particolare:

- da Molassana a Marassi è presente un'unica sequenza di depositi alluvionali ghiaiosi e sabbiosi che sono sede di una falda freatica, la quale evidenzia un livello piezometrico stabile a profondità generalmente allineate a quella dell'alveo attivo, quindi a 4.00-5.00 m dalla quota delle strade che lo costeggiano nella stagione invernale e più basse alla fine della stagione estiva. Di fatto, é la falda di subalveo del corso d'acqua che in periodi particolarmente siccitosi come nella fase attuale, risulta assestata in media tra 6.00 e 10.00 m circa da p.c. quindi ben al di sotto della quota dell'alveo, con locali approfondimenti anche fino a 11.00-13.00 m da p.c. come nella zona di Piazzale Parenzo e Via Toti;
- da Marassi alla Foce, nei depositi alluvionali di natura ghiaiosa e sabbiosa si registra la presenza di un orizzonte prevalentemente limoso, che suddivide la sequenza delle alluvioni in depositi superficiali ghiaiosi, sede di una falda freatica di subalveo a profondità analoghe a quelle del tratto a Nord, e depositi ghiaiosi profondi, sede di una falda in pressione con caratteristiche artesiane.

La falda freatica superiore è direttamente dipendente dal regime idraulico del Torrente Bisagno, di cui segue le oscillazioni stagionali, con una filtrazione che, nei periodi di magra, è verso l'alveo, mentre nei periodi di piena è verso l'esterno dell'alveo, nel senso che è il corso d'acqua che alimenta la falda laterale.

La permeabilità K dei depositi alluvionali varia mediamente tra 10^{-3} m/sec e 10^{-6} m/sec. Per quanto riguarda l'acquifero freatico, la piezometrica subisce repentine oscillazioni del livello statico in rapporto all'andamento pluviometrico. Per la ricarica del sistema acquifero, oltre agli apporti diretti, è importante il contributo laterale sotterraneo delle acque circolanti nel substrato roccioso e quello delle falde di subalveo degli affluenti laterali.

6. MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL TRACCIATO.

6.1 Indagini geognostiche disponibili da fonti bibliografiche.

La conoscenza stratigrafica di dettaglio del fondovalle della Val Bisagno deriva, oltre che da ricerche bibliografiche e dall'esame della cartografia storica sugli andamenti del terreno ante urbanizzazione, da verifiche dirette della stratigrafia del sottosuolo nel corso di diverse campagne geognostiche effettuate per opere private e per opere pubbliche nel tratto di interesse. Si tratta di un ampio numero di sondaggi, che derivano da banche dati diverse, le cui risultanze sono state utilizzate nella redazione del presente lavoro, limitatamente a quelle riferite ai sondaggi che hanno raggiunto il substrato roccioso in Calcari di Monte Antola o Argilliti di Montoggio, direttamente ubicati lungo il tracciato di progetto, o comunque nelle immediate vicinanze, sempre nella fascia di fondovalle.

In particolare sono stati consultati:

- l'archivio dello Studio Associato Bellini che comprende numerose verticali d'indagini seguite e interpretate nel corso di oltre quarant'anni di attività professionale, alcune delle quali poi confluite nella banca dati comunale;
- la banca dati del Comune di Genova dalla quale sono state estratte solamente le stratigrafie originarie di sondaggi svolti a vario titolo in aree prossime a quelle d'interesse progettuale, non già comprese tra quelle dell'Archivio Bellini;
- il progetto esecutivo della galleria scolmatrice del T. Bisagno, che riporta indagini interessanti e pertinenti per la trattazione delle tematiche in esame;
- il progetto definitivo del sistema degli assi di forza del trasporto pubblico locale, con particolare riferimento alle indagini eseguite in località Staglieno e in località Gavette per i depositi di linea che, pur posizionate in sponda destra, sono complete e approfondite e forniscono utili elementi per la comprensione del profilo della valle.

Le verticali d'indagine non coprono l'intero tracciato della linea di trasporto proposta, essendo preferibilmente addensate in porzioni di territorio oggetto di singole iniziative edilizie. Ciò nonostante hanno fornito un quadro di riferimento importante per ricostruire l'andamento stratigrafico atteso, interpolato lungo tutto il tracciato di progetto, in un contesto che, per la densa urbanizzazione, è privo di affioramenti visibili. Tali sondaggi, pur se provenienti da diverse fonti e

contenenti descrizioni non sempre confrontabili, sono stati rivisti nel quadro generale dei luoghi, permettendo di attribuire i terreni attraversati alle unità litotecniche di appartenenza (sostanzialmente riporti, depositi alluvionali, calcari, argilliti e marne plioceniche).

Tutti i sondaggi presi in considerazione sono ubicati sulle planimetrie in **ALLEGATO 10.**

In Tabella 1 sono riassunte le informazioni stratigrafiche principali ricavate dai sondaggi in argomento.

Tabella 1.Sondaggi geognostici disponibili da banca dati.

SONDAGGIO	BANCA DATI	QUOTA BOCCAFORO (m.s.l.m.m.)	LUNGHEZZA (m)	STRATIGRAFIA SCHEMATICA
3027_S8	Comune di Ge	-	33.20	0.00-9.00 Materiali di riporto
				9.00-32.00 Alluvioni
				32.00-33.20 Calcari marnosi
3027_S14	Comune di Ge	-	30.00	0.00-6.00 Materiali di riporto
				6.00-27.40 Alluvioni
				27.40-30.00 Calcari marnosi
3027_S9	Comune di Ge	-	28.70	0.00-5.00 Materiali di riporto
				5.00-25.70 Alluvioni
				25.70-28.70 Calcari marnosi
3027_S11	Comune di Ge	-	19.60	0.00-0.40 Materiali di riporto
				0.40-3.40 Vuoto
				3.40-19.50 Alluvioni
				19.50-19.60 Calcari marnosi
3027_S12	Comune di Ge	-	18.50	0.00-2.70 Materiali di riporto

				2.70-11.80 Alluvioni
				11.80-18.50 Calcari marnosi
3078_S20	Comune di Ge	-	20.10	0.00-7.20 Materiali di riporto
				7.20-13.00 Coltre pedemontana mista ad alluvioni
				13.00-20.10 Calcari marnosi
3078_S21	Comune di Ge	-	20.00	0.00-5.60 Materiali di riporto
				5.60-9.00 Coltre pedemontana mista ad alluvioni
				9.00-20.00 Calcari marnosi
3078_S22	Comune di Ge	-	20.00	0.00-1.50 Materiali di riporto
				1.50-6.50 Coltre pedemontana
				6.50-20.00 Calcari marnosi
3078_S23	Comune di Ge	-	20.00	0.00-1.70 Materiali di riporto
				1.70-4.00 Coltre pedemontana
				4.00-20.00 Calcari marnosi
3078_S24	Comune di Ge	-	20.20	0.00-0.50 Materiali di riporto
				0.50-6.00 Coltre pedemontana
				6.00-20.20 Calcari marnosi
3078_S25	Comune di Ge	-	20.00	0.00-5.00 Materiali di riporto
				5.00-20.00 Calcari marnosi
3082_S24	Comune di Ge	-	24.60	0.00-2.30 Materiali di riporto
				2.30-12.80 Coltre pedemontana mista ad alluvioni

				12.80-24.60 Calcari marnosi
3430_S31	Comune di Ge	-	32.50	0.00-25.41 Alluvioni
				25.41-27.41 Cappellaccio di alterazione
				27.41-32.50 Calcari marnosi
3425_S2	Comune di Ge	-	15.40	0.00-0.60 Materiali di riporto
				0.60-3.00 Coltre pedemontana mista ad alluvioni
				3.00-13.00 Alluvioni
				13.00-15.40 Calcari marnosi
3425_S1	Comune di Ge	-	15.00	0.00-1.80 Materiali di riporto
				1.80-3.40 Coltre pedemontana mista ad alluvioni
				3.40-12.40 Alluvioni
				12.40-15.00 Calcari marnosi
3430_S32	Comune di Ge	-	30.00	0.00-24.00 Alluvioni
				24.00-25.00 Cappellaccio di alterazione
				25.00-30-00 Calcari marnosi
3430_S34	Comune di Ge	-	36.00	0.00-29-50 Alluvioni
				29.50-31.00 Cappellaccio di alterazione
				31.00-36.00 Calcari marnosi
S45	Studio Associato Bellini	-	12.40	0.00-4.70 Materiali di riporto
				4.70-11.00 Alluvioni
				11.00-12.40 Calcari marnosi

S46	Studio Associato Bellini	-	19.50	0.00-4.80 Materiali di riporto 4.80-16.00 Alluvioni 16.00-19.50 Calcari marnosi
3086_S3	Comune di Ge	-	15.00	0.00-2-00 Materiali di riporto 2.00-9.00 Alluvioni 9.00-15-00 Calcari marnosi
3086_S30	Comune di Ge	-	21.00	0.00-1.60 Materiali di riporto 1.60-5.00 Coltre pedemontana mista ad alluvioni 5.00-11.00 Alluvioni 11.00-21.00 Calcari marnosi
S74	Studio Associato Bellini	36.85	20.00	0.00-3.00 Materiali di riporto 3.00-10.50 Alluvioni 10.50-15.00 Coltre pedemontana 15.00-17.00 Cappellaccio di alterazione 17.00-20.00 Calcari marnosi
S78	Studio Associato Bellini	-	9.00	0.00-2.00 Materiali di riporto 2.00-5.00 Alluvioni 5.00-6.00 Cappellaccio di alterazione 6.00-9.00 Calcari marnosi
3088_S1	Comune di Ge	-	30.00	0..00-7.50 Materiali di riporto 7.50-18.00 Alluvioni

				18.00-30.00 Calcari marnosi
3088_S3	Comune di Ge	-	30.00	0.00-8.00 Materiali di riporto
				8.00-15.00 Alluvioni
				15.00-30.00 Calcari marnosi
SEB2	PE Scolmatore	-	30.00	0.00-7.50 Materiali di riporto
				7.50-11.80 Alluvioni
				11.80-14.45 Cappellaccio di alterazione
				14.45-30.00 Calcari marnosi
SEB3	PE Scolmatore	-	25.00	0.00-14.50 Alluvioni
				14.50-25.00 Calcari marnosi
S6D	PD Scolmatore	-	33.00	0.00-14.50 Materiali di riporto
				14.50-33.00 Calcari marnosi
S7D	PD Scolmatore	-	23.00	0.00-11.90 Materiali di riporto
				11.90-23.00 Calcari marnosi
3654_S1	Comune di Ge	-	30.00	0.00-2.40 Materiali di riporto
				2.40-25.70 Alluvioni
				25.70-30.00 Argilliti
5267	Comune di Ge	40.50	20.00	0.00-17.40 Alluvioni
				17.40-20.00 Calcari marnosi
S49	Studio Associato Bellini	-	30.50	0.00-2.20 Materiali di riporto
				2.20-4.00 Cappellaccio di alterazione
				4.00-30.50 Calcari marnosi

S50	Studio Associato Bellini	-	35.00	0.00-2.50 Materiali di riporto
				2.50-30.00 Alluvioni
				30.00-35.00 Calcari marnosi
S51	Studio Associato Bellini	-	36.00	0.00-33.00 Alluvioni
				33.00-36.00 Calcari marnosi
S52	Studio Associato Bellini	-	35.00	0.00-30.00 Alluvioni
				30.00-35.00 Calcari marnosi
S64	Studio Associato Bellini	-	25.00	0.00-2.50 Materiali di riporto
				2.50-21.80 Alluvioni
				21.80-25.00 Argilliti
S65	Studio Associato Bellini	-	22.50	0.00-2.00 Materiali di riporto
				2.00-11.40 Alluvioni
				11.40-22.50 Argilliti
S66	Studio Associato Bellini	-	23.50	0.00-2.30 Materiali di riporto
				2.30-18.50 Alluvioni
				18.50-23.50 Argilliti
S67	Studio Associato Bellini	-	21.00	0.00-3.00 Materiali di riporto
				3.00-18.00 Alluvioni
				18.00-21.00 Argilliti
S68	Studio Associato Bellini	-	20.00	0.00-2.50 Materiali di riporto
				2.50-15.25 Alluvioni
				15.25-20.00 Argilliti
S69	Studio Associato	-	18.40	0.00-12.60 Alluvioni

	Bellini			12.60-18.40 Argilliti
S70	Studio Associato Bellini	-	17.00	0.00-13.80 Alluvioni
				13.80-17.00 Argilliti
S79	Studio Associato Bellini	-	25.00	0.00-4.80 Materiali di riporto
				4.80-23.70 Alluvioni
				23.70-25.00 Argilliti
S80	Studio Associato Bellini	-	25.00	0.00-4.00 (?) Materiali di riporto
				0.10-22.50 Alluvioni
				22.50-25.00 Argilliti
SDGA-01	PD Sistema Assi di Forza-Depositi	35.03	40.00	0.00-6.00 Materiali di riporto
				6.00-33.00 Alluvioni
				33.00-40.00 Calcari marnosi
SDGA-02	PD Sistema Assi di Forza-Depositi	35.15	25.00	0.00-6.70 Materiali di riporto
				6.70-11.00 Coltre pedemontana mista ad alluvioni
				11.00-14.00 Cappellaccio di alterazione
				14.00-25.00 Calcari marnosi
SDGA-03	PD Sistema Assi di Forza-Depositi	35.04	20.00	0.00-4.00 Materiali di riporto
				4.00-9.60 Coltre pedemontana mista ad alluvioni
				9.60-12.80 Cappellaccio di alterazione
				12.80-20.00 Calcari marnosi

SDST-01	PD Sistema Assi di Forza-Depositi	21.17	38.85	0.00-4.80 Materiali di riporto
				4.80-30.00 Alluvioni
				30.85-38.85 Calcari marnosi
SDST-02	PD Sistema Assi di Forza-Depositi	22.16	35.00	0.00-4.60 Materiali di riporto
				4.60-29.00 Alluvioni
				29.00-35.00 Calcari marnosi
SDST-03	PD Sistema Assi di Forza-Depositi	22.02	23.00	0.00-4.80 Materiali di riporto
				4.80-6.20 Alluvioni
				6.20-23.00 Calcari marnosi
S1	Studio Associato Bellini	13.42	18.20	0.00-2.50 Materiali di riporto
				2.50-10.50 Coltre pedemontana mista ad alluvioni
				10.50-12.00 Cappellaccio di alterazione
				12.00-18.20 Calcari marnosi
S2	Studio Associato Bellini	12.82	24.00	0.00-1.50 Materiali di riporto
				1.50-15.40 Coltre pedemontana mista ad alluvioni
				15.40-24.00 Calcari marnosi
S3	Studio Associato Bellini	13.10	20.30	0.00-2.20 Materiali di riporto
				2.20-14.80 Coltre pedemontana fine mista ad alluvioni
				14.80-20.30 Calcari marnosi
8W02	Comune di Ge	12.30	45.00	0.00-4.00 Materiali di riporto

				4.00-28.00 Alluvioni
				28.00-29.70 Cappellaccio di alterazione
				29.70-45.00 Calcari marnosi

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE DEL PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA.

Per la redazione del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica dell'opera in esame è a in corso una campagna di indagini in situ finalizzata a:

- ricostruire in dettaglio la stratigrafia del sottosuolo in corrispondenza del tracciato dell'infrastruttura;
- determinare le caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni attraversati.

Nel dettaglio le indagini completate fino ad oggi comprendono:

- n. 26 sondaggi meccanici a rotazione con prelievo continuo di campione, denominati SKYL1-L19 (non è stato eseguito il sondaggio L14) e SKYS1-S7, approfonditi da un minimo di 14.00 m da p.c. (SKYS3) a un massimo di 57.50 m da p.c. (SKYL1);
- n. 128 prove SPT (Standard Penetration Test) nei materiali sciolti in copertura al substrato sano (riporti e sedimenti alluvionali), di cui n. 42 andate a rifiuto;
- n. 25 prove di permeabilità in foro, di cui n. 8 di tipo Lugeon e n. 17 di tipo Lefranc;
- n. 13 prove pressiometriche di tipo Menard;
- n. 5 prove dilatometriche;
- n. 4 stendimenti di sismica a rifrazione in onde P e in onde S (denominati SR1, SR2, SR4, SR5), con elaborazione tomografica dei risultati;
- n. 12 stendimenti sismici di tipo MASW in onde S (denominati M1-M12);
- n. 12 prospezioni di tipo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio);
- n. 12 prospezioni di tipo REMI (Refraction Microtremor);
- allestimento di n. 18 piezometri microfessurati nei fori di sondaggio per il monitoraggio del livello di falda;
- analisi e prove di laboratorio su campioni di terreno e di roccia estratti dai sondaggi.

L'ubicazione delle indagini sopra elencate è illustrata in **ALLEGATO 11**.

Per i dettagli stratigrafici e fotografici dei reperti in cassetta e delle prove in foro, si rimanda all'elaborato MGE1PRLVGEOCOMR00200_A – report indagini geognostiche preliminari, mentre per le risultanze delle indagini geofisiche si richiama l'elaborato MGE1PRLVGEOCOMR00300_A – report prospezioni sismiche preliminari. Per l'illustrazione e l'interpretazione delle analisi di laboratorio, peraltro non ancora ultimate, di cui all'elaborato preliminare MGE1PRLVGEOCOMR004-00_A, si rimanda alla relazione geotecnica.

Si precisa che il programma di indagini prevede ulteriori prospezioni sismiche a rifrazione, e indagini geoelettriche nell'alveo del Torrente Bisagno, oltre a indagini geofisiche in foro del tipo Down Hole, la cui esecuzione è condizionata dai permessi di accesso in alveo e occupazione delle aree di lavoro, non ancora pervenuti da parte degli Enti competenti.

7.1 Risultanze stratigrafiche dei sondaggi.

A seguire si commentano le risultanze stratigrafiche dei sondaggi, le quali anche alla luce delle conoscenze pregresse commentate ai paragrafi precedenti, hanno fornito informazioni determinanti per la comprensione e la ricostruzione del modello geologico dell'area di intervento.

- Tutte le perforazioni hanno incontrato un primo strato di terreno di riporto eterogeneo e prevalentemente granulare, spesso frammisto a terreno rimaneggiato, costituito da ghiaie, ciottoli e sabbie, frammenti di laterizi e localmente calcestruzzo, con variabili percentuali di matrice limosa. Lo spessore è piuttosto uniforme e pari mediamente a 5.00 m, in accordo con l'altezza del muro d'argine, trattandosi di sondaggi realizzati all'interno del rilevato stradale di sponda. Fanno eccezione il sondaggio SKYL6, in cui lo spessore dei riporti raggiunge un minimo di 2.00 m, e i sondaggi ubicati a Molassana SKYS7, SKYS16, SKYS18, in cui lo spessore dei riporti è compreso tra 10.80 e 12.70 m, trattandosi di sondaggi posizionati in prossimità di zone dove sono stati realizzati movimenti terra significativi, risalenti alle fasi di costruzione della strada e delle infrastrutture adiacenti (ponte Fleming).
- Al di sotto di tali materiali tutti i sondaggi hanno attraversato il deposito alluvionale del Torrente Bisagno, costituito da una sequenza non gradata di ghiaie e ciottoli elaborati, in

matrice limoso-sabbiosa di colore da marroncino chiaro a grigio, in cui spesso si distinguono lenti di limi sabbiosi e sabbie fini di continuità laterale limitata, ad eccezione della zona di Brignole dove l'intercalazione del livello fine limoso è decisamente estesa. Tali lenti, presenti nei sondaggi SKYL1, SKYL2, SKYL3, SKYL4, SKYL5, SKYL6 e SKYS5, raggiungono uno spessore variabile tra 4.50 m (SKYS5), 8.80 m (SKYL2) e 13.70 m (SKYL3) e rappresentano eventi di migrazione dell'alveo del Torrente. In particolare, in SKYL4, SKYL5 e SKYL6, i materiali fini si trovano alla base della sequenza grossolana, direttamente in copertura al substrato roccioso, mentre in SKYL1 e SKYL3 si trovano intercalati all'interno della stessa e determinano la formazione dell'acquifero stratificato che caratterizza la zona della Foce, nell'ultimo tratto del bacino fino a mare. In SKYL2, invece, le lenti fini sovrastano un deposito pedemontano costituito da limi e argille sabbiose di colore ocra, con clasti e frammenti lapidei eterogenei, di forma prevalentemente angolare e con rari elementi elaborati.

I clasti del materasso alluvionale sono litologicamente costituiti da litologie calcaree e argillitiche che riflettono la geologia dei bacini di alimentazione a monte.

- Infine, tutti i sondaggi hanno raggiunto il substrato roccioso in Calcari di Monte Antola, previa interposizione, solamente in SKYL1, delle Argille di Ortovero e del livello di brecce calcaree in matrice limoso argillosa che tipicamente caratterizza il contatto. In particolare le argille plioceniche sono state attraversate per uno spessore di 4.50 m, le brecce per altri 4.00 m e infine i calcari sono stati raggiunti alla profondità di 49 m dal p.c., confermando che l'asse vallivo originario era spostato più a Est rispetto alla posizione dell'alveo attuale.

  L'eccezione è rappresentata dai sondaggi SKYS7, SKYL16 e SKYL17 in cui, invece, la roccia è data da argilliti scistose di colore grigio-nero, localmente fratturate (Argilliti di Montoggio).

  La qualità del substrato roccioso è molto variabile: nei calcari marnosi varia da molto scarsa in SKYL1, SKYL2 e SKYS1 (RQD medio 20% e 25%), a scarsa in SKYS3, SKYS4, SKYS6, SKYL7 (RQD medio 45%, 43%, 30%), fino ad essere buona in SKYL4, SKYL5, SKYS2, SKYL11, SKYL3 (RQD medio 78%, 75%, 75%, 75%, 80%) ed eccellente in SKYS5, SKYL6, SKYL12 (RQD 95-100%); invece, nelle argilliti, risulta essere da buona (SKYS7 RQD medio 75%)a media (SKYL16 e SKYL18 tra 40% e 60%).

La Tabella 2 riassume le profondità raggiunte da ogni sondaggio, con indicazione della stratigrafia schematica e del relativo allestimento.

Si precisa che la nomenclatura dei sondaggi distingue con “L” i sondaggi di linea e con “S” i sondaggi in corrispondenza delle stazioni.

Tabella 2.Caratteristiche dei sondaggi del PFTE 2023 e relativi allestimenti.

SONDAGGIO	QUOTA ASSOLUTA (m.s.l.m)	UBICAZIONE	LUNGHEZZA (m)	ALLESTIMENTO	STRATIGRAFIA SCHEMATICA
SKYL1	9.30	Corso Galileo Galilei	57,50	Piezometro	0.00-5.00 Materiali di riporto 5.00-40.50 Sedimenti alluvionali 40.50-45.00 Limi e argille (Argille di Ortovero) 45.00-49.00 Brecce calcaree in matrice limosa e argillosa 49.00-57,50 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL2	9.34	Via Canevari	37,00	Tubo per Down Hole	0.00-5.00 Materiali di riporto 5.00-23.80 Sedimenti alluvionali 23.80-28.50 Coltre pedemontana 28.50-37.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL4	11.24	Piazzetta Firpo	32,50	Piezometro	0.00-4.50 Materiali di riporto 4.50-26.80 Sedimenti alluvionali

					26.80-32.50 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL5	16.40	Via Bobbio/Via Angeli del Fango	30,00	--	0.00-5.40 Soletta e vuoto 5.40-24.20 Sedimenti alluvionali 24.20-30.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL6	16.61	Piazzale Marassi	44.50	Tubo per Down Hole	0.00-2.00 Materiali di riporto 2.00-39.20 Sedimenti alluvionali 39.20-40.00 Cappellaccio di alterazione 40.00-44.50 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYS2	21.04	Lungo Bisagno Istria/Piazzale Parenzo	46.00	Tubo per Down Hole	0.00-4.60 Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati 4.60-40.00 Sedimenti alluvionali 40.00-46.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYS3	25.86	Lungo Bisagno Istria/Ponte Giulio Monteverde	14.00	Piezometro	0.00-6.10 Materiali di riporto 6.10-14.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYS4	32.15	Lungo Bisagno Dalmazia/Piazzale Adriatico	33.00	Piezometro	0.00-9.00 Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati 9.00-25.20 Sedimenti alluvionali 25.20-25.80 Cappellaccio di alterazione

					25.90-33.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYS5	37.90	Lungo Bisagno Dalmazia/Piazzale Bligny	36.30	Piezometro	0.00-5.00 Materiali di riporto 5.00-30.50 Sedimenti alluvionali 30.50-31.00 Cappellaccio di alterazione 31.00-36.30 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYS6	43.50	Via Adamoli/ Sciorba	31.00	Piezometro	0.00-8.50 Materiali di riporto 8.50-23.70 Sedimenti alluvionali 23.70-25.50 Cappellaccio di alterazione 25.50-31.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYS7	56.87	Via Adamoli/Ponte Alexander Fleming	38.50	Piezometro	0.00-12.70 Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati 12.70-28.20 Sedimenti alluvionali 28.20-29.30 Cappellaccio di alterazione 29.30-38.50 Argilliti (Argilliti di Montoggio)
SKYL7	15.15	Via Jean Monnet	43.20	Tubo per Down Hole	0.00-7.40 Materiali di riporto 7.40-35.00 Sedimenti alluvionali 35.00-38.00 Cappellaccio di alterazione 38.00-43.20 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL9	23.52	Lungo Bisagno	36.00	Piezometro	0.00-5.00 Materiali di riporto

		Istria/Via Tortona			5.00-31.00 Sedimenti alluvionali 31.00-36.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL20	33.56	Lungo Bisagno Dalmazia/Passo Ponte Carrega	35.00	Piezometro	0.00-4.60 Materiali di riporto 4.60-26.70 Sedimenti alluvionali 26.70-28.00 Cappellaccio di alterazione 28.00-35.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL3	10.74	Piazza Manzoni	51.00	Piezometro	0.00-5.20 Materiali di riporto 5.20-44.50 Sedimenti alluvionali 44.50-45.00 Cappellaccio di alterazione 45.00-51.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYS1	16.25	Piazzale Marassi	45.00	Piezometro	0.00-3.60 Materiali di riporto 3.60-38.70 Sedimenti alluvionali 38.70-40.50 Cappellaccio di alterazione 40.50-45.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL13	41.74	Via Adamoli/ Sciorba	35.00	Piezometro	0.00-6.20 Materiali di riporto 6.20-28.00 Sedimenti alluvionali 28.00-28.80 Cappellaccio di alterazione 28.80-35.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)

SKYL17	56.83	Via Adamoli/Amiu	30.50	Piezometro	0.00-7.00 Materiali di riporto 7.00-23.50 Sedimenti alluvionali 23.50-25.00 Cappellaccio di alterazione 25.00-30.50 Argilliti (Argilliti di Montoggio)
SKYL8	18.32	Via Mandoli/Via Fassicomo	23.50	Piezometro	0.00-6.00 Materiali di riporto 6.00-16.50 Sedimenti alluvionali 16.50-17.40 Cappellaccio di alterazione 17.40-23.50 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL15	47.31	Via Adamoli/Ponte Torrente Bisagno	16.00	Piezometro	0.00-6.20 Materiali di riporto 6.20-9.50 Sedimenti alluvionali 9.50-16.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL10	27.89	Lungo Bisagno Istria/Benzinaio Eni Station	40.00	Piezometro	0.00-7.00 Materiali di riporto 7.00-35.60 Sedimenti alluvionali 35.60-36.00 Cappellaccio di alterazione 36.00-40.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL11	29.13	Lungo Bisagno Dalmazia/Amiu	34.80	Tubo per Down Hole	0.00-9.10 Materiali di riporto 9.10-26.70 Sedimenti alluvionali 26.70-28.00 Cappellaccio di alterazione

					28.00-34.80 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL12	41.02	Via Adamoli/Via Spalato	33.30	Tubo per Down Hole	0.00-6.30 Materiali di riporto 6.30-26.80 Sedimenti alluvionali 26.80-28.20 Cappellaccio di alterazione 28.20-33.30 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL16	54.15	Via Adamoli/Benzinaio Q8	19.00	Tubo per Down Hole	0.00-10.80 Materiali di riporto 10.80-14.00 Sedimenti alluvionali 14.00-15.00 Cappellaccio di alterazione 15.00-19.00 Argilliti (Argilliti di Montoggio)
SKYL18	50.36	Via Adamoli/ Concessionario Ford	25.00	Piezometro	0.00-12.60 Materiali di riporto 12.60-18.20 Sedimenti alluvionali 18.20-25.00 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)
SKYL19	25.40	Lungo Bisagno Istria/Ponte Monteverde	16.50	Piezometro	0.00-7.90 Materiali di riporto 7.90-12.40 Sedimenti alluvionali 12.40-13.00 Cappellaccio di alterazione 13.00-16.50 Calcari marnosi (Calcari di Monte Antola)

7.2 Risultanze prove SPT.

Come anticipato, si dispone dei risultati di n. 128 prove penetrometriche dinamiche (SPT) realizzate nei fori dei sondaggi del PFTE 2023. Distribuite nei diversi terreni distinti. Vi è da evidenziare che granulometricamente i riporti sono del tutto analoghi alle sottostanti alluvioni. Ciò che cambia, semmai, è il grado di addensamento che risulta in genere crescente con la profondità.

In Tabella 3 si riportano, per le tipologie di materiali attraversati, le percentuali delle prove andate a rifiuto, mentre i valori di NSPT ottenuti sono riassunti nella Tabella 4.

Tabella 3. Prove SPT a rifiuto.

LITOLOGIA	CONTEGGIO	NSPT MEDIO	N1(60) MEDIO	% PROVE A RIFIUTO
Materiali di riporto	36	30	24	25%
Sedimenti alluvionali	92	46	26	36%
Cappellaccio di alterazione Argilliti	1	--	1	100%

Tabella 4. Valori di NSPT ottenuti in ciascun sondaggio.

SONDAGGIO	PROFONDITA' PROVA SPT (m)	NSPT	LITOLOGIA
SKYL1	6.00	37	Sedimenti alluvionali
	9.00	66	Sedimenti alluvionali
	12.00	28	Sedimenti alluvionali
	15.00	4	Sedimenti alluvionali
	18.00	17	Sedimenti alluvionali
SKYL2	3.00	35	Materiali di riporto
	6.00	R	Sedimenti alluvionali
	9.00	25	Sedimenti alluvionali
	12.00	38	Sedimenti alluvionali
	18.00	9	Sedimenti alluvionali

SKYL4	3.00	43	Materiali di riporto
	6.00	R	Sedimenti alluvionali
	9.00	42	Sedimenti alluvionali
	12.00	32	Sedimenti alluvionali
	15.00	55	Sedimenti alluvionali
	18.00	75	Sedimenti alluvionali
SKYL5	9.00	65	Sedimenti alluvionali
	12.00	34	Sedimenti alluvionali
	15.00	51	Sedimenti alluvionali
	18.00	41	Sedimenti alluvionali
	21.00	51	Sedimenti alluvionali
SKYL6	1.50	13	Materiali di riporto
	4.50	R	Sedimenti alluvionali
	7.50	45	Sedimenti alluvionali
	10.50	52	Sedimenti alluvionali
	13.50	25	Sedimenti alluvionali
	16.50	67	Sedimenti alluvionali
	19.50	30	Sedimenti alluvionali
SKYS2	4.80	45	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	7.50	39	Sedimenti alluvionali
	10.50	R	Sedimenti alluvionali
	13.50	61	Sedimenti alluvionali
	16.50	R	Sedimenti alluvionali
	19.50	R	Sedimenti alluvionali
	22.50	R	Sedimenti alluvionali
SKYS3	3.00	37	Materiali di riporto
	6.00	R	Materiali di riporto
	9.00	R	Sedimenti alluvionali
	12.00	R	Sedimenti alluvionali
SKYS4	3.00	R	Materiali di riporto
	6.00	48	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	9.00	44	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	12.00	37	Sedimenti alluvionali
	15.00	R	Sedimenti alluvionali

	18.00	26	Sedimenti alluvionali
SKYS5	3.00	37	Materiali di riporto
	6.00	24	Sedimenti alluvionali
	9.00	52	Sedimenti alluvionali
	12.00	56	Sedimenti alluvionali
	15.00	R	Sedimenti alluvionali
	18.00	39	Sedimenti alluvionali
SKYS6	4.50	19	Materiali di riporto
	7.50	R	Sedimenti alluvionali
	10.50	R	Sedimenti alluvionali
	13.50	R	Sedimenti alluvionali
SKYS7	3.00	34	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	6.00	R	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	9.00	R	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	12.00	R	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	15.00	67	Sedimenti alluvionali
	18.00	77	Sedimenti alluvionali
SKYL3	3.00	8	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	6.00	38	Sedimenti alluvionali
	9.00	34	Sedimenti alluvionali
	12.00	48	Sedimenti alluvionali
	15.00	50	Sedimenti alluvionali
	18.00	12	Sedimenti alluvionali
SKYL7	8.00	77	Sedimenti alluvionali
	11.00	41	Sedimenti alluvionali
	15.00	19	Sedimenti alluvionali
	18.00	R	Sedimenti alluvionali
	21.00	86	Sedimenti alluvionali
SKYL9	4.10	48	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	7.50	R	Sedimenti alluvionali
	11.00	R	Sedimenti alluvionali
	13.80	R	Sedimenti alluvionali
	17.00	75	Sedimenti alluvionali
	20.00	58	Sedimenti alluvionali

SKYL13	3.00	14	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	6.00	6	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	9.00	R	Sedimenti alluvionali
	12.00	R	Sedimenti alluvionali
	15.00	R	Sedimenti alluvionali
	18.00	R	Sedimenti alluvionali
SKYL15	4.00	9	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
SKYL17	4.50	18	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	7.00	23	Sedimenti alluvionali
	10.50	32	Sedimenti alluvionali
	15.00	R	Sedimenti alluvionali
	18.00	R	Sedimenti alluvionali
SKYL20	3.00	5	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	6.00	42	Sedimenti alluvionali
	9.00	67	Sedimenti alluvionali
	12.00	24	Sedimenti alluvionali
	15.00	51	Sedimenti alluvionali
	18.00	48	Sedimenti alluvionali
SKYS1	1.50	43	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati
	4.50	R	Sedimenti alluvionali
	7.50	36	Sedimenti alluvionali
	10.50	R	Sedimenti alluvionali
	13.50	69	Sedimenti alluvionali
	16.50	39	Sedimenti alluvionali
	19.50	78	Sedimenti alluvionali
SKYL10	3,00	R	Materiali di riporto
	6,00	46	Materiali di riporto
	9,00	R	Sedimenti alluvionali
	12,00	R	Sedimenti alluvionali
	15,00	R	Sedimenti alluvionali
SKYL11	3,00	64	Materiali di riporto
	6,00	R	Materiali di riporto
	9,00	R	Materiali di riporto
	12,00	48	Sedimenti alluvionali

	15,00	76	Sedimenti alluvionali
SKYL12	3,00	10	Materiali di riporto
	7,50	77	Sedimenti alluvionali
	10,50	R	Sedimenti alluvionali
	13,5	R	Sedimenti alluvionali
	17,5	50	Sedimenti alluvionali
SKYL16	3,00	R	Materiali di riporto
	6,00	26	Materiali di riporto
	9,00	60	Materiali di riporto
	12,00	63	Sedimenti alluvionali
	15,00	R	Cappellaccio di alterazione Argilliti
SKYL18	3,00	8	Materiali di riporto
	6,00	7	Materiali di riporto
	9,00	45	Materiali di riporto
	12,00	39	Materiali di riporto
	15,00	R	Sedimenti alluvionali
	18,00	R	Sedimenti alluvionali

Le elaborazioni dei dati, presenti in **Figura 5** e **Figura 6**, mostrano un valore medio di NSPT pari a 30 nei riporti e pari a 46 nelle alluvioni (trascurando le prove a rifiuto). Si evidenzia comunque un'elevata dispersione, per la presenza di ciottoli grossolani che ostacolano l'infissione della punta. Per effetto della normalizzazione, i valori corretti N1(60) sono più concentrati: in particolare, nei materiali di riporto, il valore medio è 24, mentre nel sottostante strato ghiaioso-sabbioso è pari a 26.

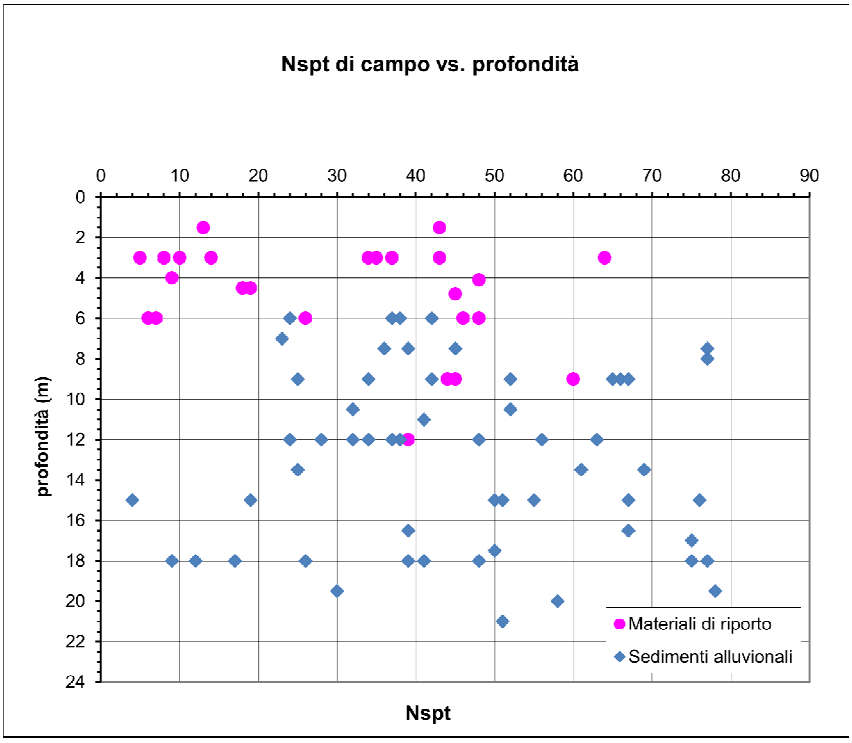


Figura 4. Valori di NSPT in funzione della profondità.

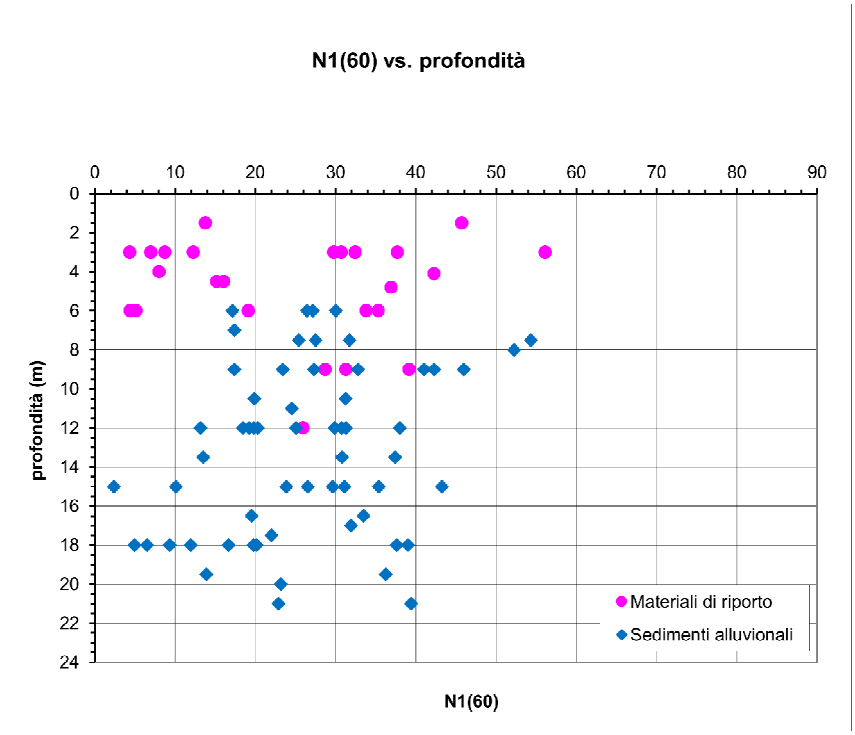


Figura 5. Valori di N1(60) in funzione della profondità.

7.3 Risultanze prove di permeabilità.

Sono stati tabellati a seguire i risultati di n.17 prove di permeabilità tipo Lefranc eseguite nei sedimenti alluvionali e nei materiali di riporto e di n. 8 prove Lugeon condotte nei calcari del substrato roccioso.

Le prove Lefranc sono state eseguite a carico variabile, a parte quella realizzata in SKYS4, condotta a carico costante.

In Tabella 5 sono riassunti per comodità di consultazione le profondità di esecuzione e delle prove e i coefficienti di permeabilità (K) ottenuti, riportati sui certificati di prova.

Si evidenzia che nei sedimenti alluvionali e nei riporti il coefficiente di permeabilità K varia tra 10^{-5} e 10^{-6} m/sec e diminuisce nettamente nei limi. Coefficienti K compresi tra 10^{-4} e 10^{-6} m/sec si determinano anche nei calcari, che nei tratti testati mostrano, quindi, coefficienti più elevati rispetto a quelli tipici dell'ammasso roccioso sano, in ragione del grado di fratturazione. La Formazione di Monte Antola, infatti, risulta variamente permeabile per fratturazione e caratterizzata da un grado di carsismo, ove presente, estremamente blando e superficiale. Le componenti calcarea e arenacea presentano permeabilità variabile in funzione del diverso grado di fratturazione e i circuiti idrici sono condizionati dall'andamento (orientazione e densità) e dalla persistenza delle discontinuità. Le discontinuità sono però spesso cementate o riempite di materiale fine argilloso, e in tal caso la permeabilità dell'ammasso si riduce sensibilmente.

Tabella 5. Risultati delle prove di permeabilità di tipo Lefranc e Lugeon eseguite nei sondaggi del PFTE 2023.

SONDAGGIO	TRATTO PROVA (m)	LITOLOGIA	TIPO DI PROVA	K (m/s)
SKYL1	13.30-13.50	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$1.22x10^{-5}$
SKYL2	16.50-16.90	Sedimenti alluvionali fini	LEFRANC CARICO VARIABILE	$3.09x10^{-8}$
	31.50-33.00	Calcari marnosi	LUGEON	$1.25x10^{-6}$

SKYL4	14.30-14.70	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$9.15x10^{-6}$
	31.00-34.30	Calcari marnosi	LUGEON	$4.22x10^{-5}$
SKYL5	17.00-17.50	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$1.49x10^{-6}$
	27.00-30.00	Calcari marnosi	LUGEON	Risultato prova falsato per sifonamento
SKYL6	11.80-12.00	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$1.49x10^{-5}$
	28.00-28.50	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$1.02x10^{-5}$
	41.00-43.00	Calcari marnosi	LUGEON	Risultato prova falsato per sifonamento
SKYS3	11.00-12.80	Calcari marnosi	LUGEON	$1.50x10^{-4}$
SKYS4	12.00-12.50	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO COSTANTE	$4.83x10^{-5}$
	31.00-33.00	Calcari marnosi	LUGEON	$2.35x10^{-5}$
SKYS5	12.00-12.25	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$5.74x10^{-6}$
	33.00-33.60	Calcari marnosi	LUGEON	$4.07x10^{-5}$
SKYS6	17.00-17.50	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$1.97x10^{-6}$
SKYS7	9.70-10.00	Materiali di riporto/Terreni rimaneggiati	LEFRANC CARICO VARIABILE	$1.01x10^{-5}$
	36.00-38.50	Argilliti	LUGEON	Risultato prova falsato per sifonamento
SKYS1	17.50-18.00	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$8.94x10^{-6}$
SKYL17	10.50-11.00	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$5.48x10^{-6}$
SKYL7	10.50-11.50	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$5.80x10^{-6}$
SKYL20	17.60-18.00	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$8.31x10^{-6}$

SKYL3	13.20-13.50	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$9.72x10^{-6}$
SKYL10	13.20-13.50	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$1.11x10^{-5}$
SKYL11	14.70-15.00	Sedimenti alluvionali	LEFRANC CARICO VARIABILE	$1.29x10^{-5}$

7.4 Risultanze prove pressiometriche (Menard).

In corrispondenza dei sedimenti alluvionali incontrati nei sondaggi indicati nella Tabella 6 sono state eseguite n. 13 prove pressiometriche di tipo Menard, allo scopo di determinare i moduli di deformabilità del materiale, in particolare il modulo pressiometrico (Ep).

I certificati di prova mostrano che in nessuna delle prove eseguite è stato raggiunto il valore di rottura del materiale, pertanto la pressione limite è stata estrapolata con il metodo Menard.

In Tabella 6 vengono riassunti i risultati ottenuti.

Tabella 6. Risultati delle prove pressiometriche nei sondaggi del PFTE 2023.

SONDAGGIO	PROFONDITA' MEDIA (m)	LITOLOGIA	MODULO PRESSIOMETRICO E_P (kPa)
SKYL1	19.00	Sedimenti alluvionali fini	9537
SKYL2	21.50	Sedimenti alluvionali fini	9414
SKYL4	20.50	Sedimenti alluvionali	1452
SKYL6	21.00	Sedimenti alluvionali	498
SKYS2	27.50	Sedimenti alluvionali	10355
SKYS5	21.50	Sedimenti alluvionali fini	1983
SKYS6	19.00	Sedimenti alluvionali	11496
SKYS7	21.50	Sedimenti alluvionali	2882
SKYS1	14.00	Sedimenti alluvionali	9626
SKYL17	14.00	Sedimenti alluvionali	4993
SKYL7	14.00	Sedimenti alluvionali	3835

SKYL10	21.00	Sedimenti alluvionali	8519
SKYL11	25.00	Sedimenti alluvionali	4196

7.5 Risultanze prove dilatometriche.

In corso di perforazione sono state eseguite n. 5 prove dilatometriche con dilatometro da roccia flessibile di tipo Telemac Geocim nei calcari marnosi e nelle argilliti del substrato. La Tabella 7 che segue ne riporta ubicazione e profondità e indica il modulo di deformazione corrispondente al secondo ciclo di carico. Per ulteriori dettagli si rimanda ai grafici di prova.

Tabella 7.Risultati delle prove dilatometriche nei fori dei sondaggi del PFTE 2023.

SONDAGGIO	TRATTO PROVA DILATOMETRICA (m)	LITOLOGIA	MODULO DI DEFORMAZIONE
SKYL2	30.50-31.50	Calcari marnosi	773,1 MPa
SKYL5	27.00-28.00	Calcari marnosi	2989,5 MPa
SKYS3	9.50-10.50	Calcari marnosi	1890,9 MPa
SKYS4	30.00-31.00	Calcari marnosi	987,9 MPa
SKYS7	32.00-33.00	Argilliti	2517,3 MPa

7.6 Tomografia sismica a rifrazione in onde P/S.

Per la verifica, a scala d'intervento, delle informazioni stratigrafiche derivate dai sondaggi del PFTE, sono stati fino ad oggi eseguiti n. 4 profili sismici a rifrazione, con registrazione della velocità delle onde P e delle onde S (SR1, SR2, SR4 e SR5). I dati di campagna sono stati elaborati con il metodo tomografico e sono riportati, insieme all'ubicazione delle stese, nell'elaborato MGE1PRLVGEOCOMR00300_A. La medesima ubicazione si produce anche in **ALLEGATO 11**. In Tabella 8 si riportano le principali caratteristiche di ciascuna stesa. L'indagine geofisica deve essere completata con l'esecuzione di stese sismiche a rifrazione e con indagini geolettriche in alveo, per la cui esecuzione si è in attesa di ricevere i permessi di accesso alle aree di lavoro da parte dei

competenti uffici. Per i medesimi motivi devono ancora essere completate le indagini geofisiche in foro del tipo Down Hole.

Tabella 8.Caratteristiche delle stese sismiche a rifrazione in onde P/S.

SIGLA INDAGINE	UBICAZIONE	QUOTA ASSOLUTA (m.s.l.m)	TIPOLOGIA INDAGINE	PROFONDITA' INDAGINE MAX (m)
SR1	Via Moresco/Ponte Gerolamo Serra	~ 15.20	Sismica a rifrazione onde P/S	~ 25.00 (onde P) ~ 25.00 (onde S)
SR2	Via Monnet/Piazza Romagnosi	~ 15.30	Sismica a rifrazione onde P/S	~ 35.00 (onde P) ~ 25.00 (onde S)
SR4	Lungo Bisagno Istria/Staglieno	~ 31.70	Sismica a rifrazione onde P/S	~ 35.00 (onde P) ~ 35.00 (onde S)
SR5	Via Adamoli/Sciorba	~ 43.40	Sismica a rifrazione onde P/S	~ 30.00 (onde P) ~ 30.00 (onde S)

La geometria di acquisizione è riportata nella tabella seguente:

Stendimento	Lunghezza totale (m)	g spacing (m)	n° geofoni
SR1	115	5.00	24
SR2	115	5.00	24
SR4	115	5.00	24
SR5	115	5.00	24

In sintesi si evidenzia che:

- lo strato più superficiale, di spessore medio pari a circa 6.00 m in SR1 e SR5, e pari a circa 9.00 m in SR2 e SR4, è caratterizzato da velocità delle onde P crescenti fino a 1500 m/s e da velocità delle onde S fino a 500 m/s. Tale livello è ascrivibile ai materiali di riporto del rilevato stradale, con grado di addensamento da basso a medio;

- al di sotto, invece, è presente uno strato sismico di spessore medio pari a 20.00 m, con velocità delle onde P comprese tra 1500-2400 m/s e delle onde S crescenti fino a 700 m/s, che è associabile ai sedimenti alluvionali parzialmente saturi.
- il terzo strato, infine, è caratterizzato da Vp mediamente comprese tra 2400 e 4000 m/s e da Vs > 800 m/s e rappresenta il substrato roccioso in condizioni buone, seppure localmente fratturato nelle porzioni più superficiali.

7.7 Stendimenti sismici MASW, HVSR e Remi.

Sono state realizzate n. 12 indagini MASW (M1-M12) e, su medesimo tracciato, n. 12 indagini HVSR e n.12 indagini Remi.

Di queste, solo M6, M7 e Remi 1 non hanno raggiunto il substrato sismico, mentre tutte le altre lo hanno reperito a una profondità media di 26.00 m dal p.c. Fanno eccezione le indagini M8, HVSR8 e Remi 8 realizzate a Staglieno, che invece hanno raggiunto la roccia ad una profondità di circa 7.00 m, in accordo con il quadro stratigrafico accertato dal sondaggio SKY-S3.

La Tabella 9 riassume le risultanze acquisite con le indagini sismiche MASW, HVSR e Remi.

Tabella 9. Indagini MASW, HVSR e Remi.

SIGLA INDAGINE	UBICAZIONE	QUOTA ASSOLUTA (m.s.l.m)	PROFONDITA' SUBSTRATO SISMICO (m) (Vs > 800 m/s)	CATEGORIA SOTTOSUOLO DA p.c. (NTC 2018)
MASW M1	Via Canevari	~ 8.00	27.90	B
HVSR1			28.50	-
REMI1			Substrato sismico non raggiunto entro la massima profondità pari a 23.00 m	-

MASW M2	Via Moresco	~ 10.00	26.40	B
HVSR2			26.00	-
REMI2			26.60	-
MASW M3	Via Moresco Ponte Firpo	~ 12.00	26.80	B
HVSR3			26.80	-
REMI3			26.00	-
MASW M4	Via Monnet/Piazza Romagnosi	~ 15.30	26.00	B
HVSR4			26.20	-
REMI4			26.00	-
MASW M5	Via Monnet Firpo Buonarroti	~ 15.50	23.90	B
HVSR5			23.00	-
REMI5			24.20	-
MASW M6	Piazzale Marassi	~ 17.00	Substrato sismico non raggiunto entro la massima profondità pari a 17.00 m	-
HVSR6			35.00	-
REMI6			35.00	-
MASW M7	Lungo Bisagno Istria/Piazzale Parenzo	~ 21.30	Substrato sismico non raggiunto entro la massima profondità pari a 23.00 m	-
HVSR7			45.00	-
REMI7			48.00	-
MASW M8	Lungo Bisagno Istria/Ponte Giulio Monteverde	~ 26.00	7.00	B
HVSR8			8.00	-
REMI8			7.00	-

MASW M9	Lungo Bisagno Dalmazia Piazzale Adriatico	~ 31.70	24.00	B
HVSR9			25.00	-
REMI9			23.50	-
MASW M10	Lungo Bisagno Dalmazia Piazzale Bligny	~ 37.50	29.00	B
HVSR10			32.50	-
REMI10			33.00	-
MASW M11	Via Adamoli Sciorba	~ 43.40	25.00	B
HVSR11			27.00	-
REMI11			25.50	-
MASW M12	Via Adamoli/Ponte Alexander Fleming	~ 57.20	28.00	B
HVSR12			27.00	-
REMI12			9.55	-

In particolare, gli stendimenti sismici MASW hanno confermato, seppure su una verticale monodimensionale, la medesima sequenza stratigrafica riscontrata con le onde P, permettendo di misurare i seguenti valori medi di Vs:

- Vs 300-500 m/s, spessore circa 7.00 m - materiali di riporto/terreni rimaneggiati
- Vs 500-800, spessore medio circa 20.00 m – sedimenti alluvionali
- Vs > 800 m/s – substrato roccioso a profondità comprese tra 25 e 29 m da p.c. ad eccezione del punto singolare di Staglieno (MASW M8).

Inoltre, si segnala, che tutte le indagini MASW hanno appurato una categoria sismica di sottosuolo B, corrispondente a “depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori della velocità equivalente compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec”. Per quanto riguarda le indagini HVSR e Remi, anch’esse si accordano con quanto mostrato dalle MASW e dalla sismica a rifrazione.

8. STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO E PROBLEMATICHE GEOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO DELLO SKYMETRO VAL BISAGNO.

Il progetto prevede che la nuova linea metropolitana della Val Bisagno corra su sede propria, a una quota sopraelevata rispetto alla strada per evitare conflitti con la viabilità ordinaria. La struttura appoggia su pile allineate lungo il corso d'acqua. In particolare:

- lungo l'argine di sponda idrografica destra, nel tratto tra il ponte di Sant'Agata e lo stadio Luigi Ferraris di Marassi;
- lungo l'argine di sponda idrografica sinistra nel successivo tratto verso Nord, tra Marassi e Molassana.

Per la connessione tra la struttura esistente di Brignole, di cui il nuovo asse rappresenta il prolungamento verso la Val Bisagno e la Via Canevari, è previsto l'inserimento di un ponte in curva della lunghezza di 100 m.

Sono previste, inoltre, sei stazioni di fermata e un parcheggio d'interscambio a Molassana, nel piazzale della cava Montanasco.

Le problematiche geologiche connesse con la realizzazione dell'infrastruttura riguardano, in sostanza, la sequenza stratigrafica attesa lungo il tracciato previsto, rispetto alle tipologie fondazionali, da definire in relazione ai carichi di esercizio dei manufatti di progetto.

A fronte di quanto sopra, vengono di seguito analizzate, in via preliminare, le diverse porzioni del tracciato, proponendone una suddivisione in tratte omogenee per spessori e tipologie dei materiali che caratterizzano il sottosuolo in corrispondenza del sedime delle strade che corrono in aderenza al corso d'acqua, lungo le quali, appunto, prima in destra e poi in sinistra, saranno impostate le pile di appoggio dell'infrastruttura.

Le planimetrie che si producono in **ALLEGATO 12** illustrano graficamente la situazione stratigrafica per tratte omogenee, che si descrive a seguire, ricostruita e interpolata, si ribadisce, sulla base delle indagini geognostiche reperite nelle diverse banche dati consultate e già richiamate, precisate dalle risultanze dei sondaggi geognostici del PFTE.

❍ **Brignole - Corso Galliera – sponda idrografica sinistra.**

La nuova infrastruttura attacca dal lato di monte del rilevato ferroviario dove si connette con la linea metropolitana esistente, per proseguire in direzione Nord verso Corso Galliera e attraversare l'alveo su ponte, per guadagnare la sponda destra. Come dimostra la carta storica in **ALLEGATO 9**, secondo quanto già descritto in precedenza circa i lineamenti morfologici originari della pianura alluvionale, in questo tratto il torrente divagava verso Est e l'asse vallivo principale si allontanava dalla dorsale collinare calcarea di Via Montesano e Corso Montegrappa, motivo per il quale si assiste qui a un sensibile aumento, fino a 40 metri circa, dello spessore della sequenza alluvionale, rispetto alla situazione riscontrata alla medesima altezza, in sponda destra.

La motivazione è essenzialmente geologica e riconducibile alla presenza, a substrato, delle marne argillose plioceniche, più tenere ed erodibili rispetto ai calcari.

Marne che s'incontrano alla base dei depositi alluvionali quaternari, in sponda sinistra del T. Bisagno, a partire dalla zona di Brignole, all'altezza del rilevato ferroviario e fino a Terralba a Est, per risalire verso Nord per un buon tratto di Corso Sardegna (sondaggio SKYL1).

La divagazione laterale del corso d'acqua su una vasta area pianeggiante motiva anche la presenza, in quest'areale, di orizzonti intermedi di spessore fino a 13.70 m (SKYL3), di natura limoso – argilloso - sabbiosa, all'interno della sequenza alluvionale grossolana, con formazione di un acquifero stratificato. La falda freatica superiore, in regimi pluviometrici normali, si trova assestata alla quota dell'alveo o poco al di sotto. In regimi di magra, scende sotto l'alveo anche per un paio di metri e comunque risente direttamente degli apporti meteorici. Invece la falda profonda, confinata a tetto dal livello fine, ha una portata costante e si trova in condizioni artesiane. Si tratta della falda intercettata dai pozzi di Piazza Giusti, sfruttata dall'acquedotto civico.

❍ ***Via Canevari – Ponte Castelfidardo.***

In questo settore sono disponibili diversi sondaggi realizzati nell'area in cui sorge il palazzo che ospitava il Centro di meccanizzazione delle Poste a Borgo Incrociati (gruppo 3027 della banca dato Comune di Genova). Numerosi altri sondaggi sono presenti nell'archivio comunale e di Italferr relativamente alla zona ferroviaria, seppure molti siano corti e non utili per le tematiche in esame. L'approfondimento stratigrafico in destra idrografica di questo tratto è stato condotto con il sondaggio del SKYL2.

Le perforazioni a disposizione hanno consentito di verificare il progressivo approfondimento del substrato roccioso calcareo spostandosi dal dosso in cui si snoda Corso Monte Grappa in direzione dell'alveo del Torrente Bisagno.

Per quanto concerne i sondaggi realizzati a lato di Via Canevari, si può affermare che, al di sotto della pavimentazione stradale sono presenti terreni di riporto per spessori compresi tra 4.00 m e 6.00 m; si tratta di materiale eterogeneo, talora con presenza di resti di strutture in muratura.

I sottostanti depositi alluvionali all'altezza della strada hanno uno spessore di 20-22 metri e presentano alternanze di livelli ghiaioso sabbiosi e di subordinati livelli limosi e sabbiosi. Tali sedimenti bordano la dorsale calcarea, dalla quale pervengono al fondovalle depositi di falda pedemontana caratterizzati da una matrice limoso argillosa tipicamente di colore ocra, con clasti lapidei angolari di dimensioni centimetriche che si trovano interdigitati localmente con le alluvioni, e che mostrano episodi di terrazzamento quaternario. La roccia calcarea in questo tratto si raggiunge a profondità comprese tra 25 e 30 m da piano stradale di Via Canevari.

I valori del livello di falda sono variabili localmente e convergenti verso la falda di subalveo del torrente e sono in ogni caso suscettibili di bruschi innalzamenti in funzione del regime del limitrofo Torrente Bisagno che, in più di un'occasione, è esondato proprio in questo tratto.

❍ ***Ponte Castelfidardo – Via Moresco - Piazzetta Firpo.***

Il substrato roccioso risale gradualmente per l'avvicinamento all'alveo del versante collinare di Corso Monte Grappa.

I sondaggi disponibili in Via Canevari, nell'area vicino alla Chiesa dei Diecimila Martiri Crocifissi, raggiungono i calcari a 13 m di profondità (3078/S20) dal p.c. Considerando l'approfondimento in direzione dell'alveo e considerata la morfologia originaria dei luoghi, la profondità media del substrato roccioso tipica di questo tratto si mantiene comunque in linea con il tratto precedente, da 25 a 30 m da quota strada, come peraltro confermato dal sondaggio SKYL4.

Per il livello di falda, il riferimento preliminare resta quello della quota dell'alveo attuale del T. Bisagno, che si trova a circa 5.00 m dal piano stradale impostato su rilevato, con approfondimenti anche di qualche metro in regimi di magra, come l'attuale.

❍ ***Via Moresco – Piazza Romagnosi – Istituto Firpo Buonarroti.***

Dal punto di vista geomorfologico valgono le medesime considerazioni svolte per il precedente tratto, poiché analoghe sono state le modalità di realizzazione della strada veicolare, ricavata a seguito di riempimenti effettuati a tergo dell'arginatura del Torrente Bisagno. Il corso d'acqua scontorna in curva la dorsale rocciosa che costituisce il versante idrografico destro della valle, mentre la deposizione alluvionale si allarga in sponda sinistra.

In questo tratto, nell'ambito del quale è prevista la fermata Romagnosi, i materiali eterogenei di riporto che costituiscono il corpo del rilevato stradale di Via Moresco, raggiungono il massimo spessore pari a circa 7.00. Il deposito alluvionale sottostante mostra in corrispondenza del sondaggio SKYL7 un repentino aumento di spessore cui corrisponde un localizzato significativo approfondimento del substrato calcareo. Tale assetto può essere messo in relazione con una incisione secondaria discendente dal versante destro della valle.

La copertura di materiali artificiali sovrasta direttamente i depositi alluvionali che, nella fattispecie, sono in sequenza indifferenziata e di natura prevalentemente ghiaiosa, con ciottoli e matrice fine abbondante. La falda freatica mediamente attesa a quota alveo, può risultare più bassa anche di qualche metro nelle stagioni secche e in regimi di magra.

❍ ***Copertura Piazzale Atleti Azzurri d'Italia – Piazzale Marassi.***

La linea metropolitana attraversa la piastra di copertura dei parcheggi di fronte allo stadio Luigi Ferraris proprio all'altezza dell'Istituto Buonarroti, sul Piazzale Marassi, per portarsi in sponda sinistra, interferendo con la struttura esistente, costituita da un impalcato appoggiato sugli argini e su tre setti verticali intermedi.

Le informazioni recentemente acquisite con la campagna geognostica rivelano, per quanto riguarda la sponda destra, la presenza di una sequenza alluvionale ghiaiosa e sabbiosa indifferenziata, per uno spessore di circa 19 m direttamente al di sopra del substrato in calcari (SKYL5), mentre in sinistra si assiste a un repentino approfondimento del substrato motivato dal fatto, a parere di chi scrive, che la posizione originaria dell'alveo era più spostata verso Est, proprio dove oggi corre la strada. Di conseguenza, è all'incirca lungo la strada comunale, dove sono ubicati i sondaggi SKYS1 e SKYL6, che deve attendersi il maggiore spessore della sequenza alluvionale.

❍ ***Piazzale Marassi – Giardini Cavagnaro e Piastra parcheggi.***

Nel tratto indicato, le informazioni stratigrafiche disponibili evidenziano il marcato approfondimento della valle in corrispondenza dell'alveo e la ripida risalita della sponda sinistra verso il crinale di Quezzi.

Ed è proprio la dorsale rocciosa di Quezzi che restringe la valle costringendo il corso d'acqua a un andamento sinuoso, con un'ampia curvatura all'altezza di Staglieno.

Per la valutazione della profondità attesa di reperimento del substrato roccioso calcareo in tutto il tratto si è fatto riferimento ai sondaggi SKYL8 e SKYS2 tenendo conto della morfologia, in particolare del fatto che l'alveo originario del T. Bisagno divagava verso Est, andando ad interessare proprio le aree insediate in sinistra. Si è inoltre considerata la presenza delle incisioni secondarie che scendono verso il fondovalle dalla dorsale di Quezzi. Il tratto in esame sottende i bacini del Rio del Mirto e del Rio del Vento che contribuiscono all'alimentazione della piana alluvionale in sinistra orografica e concorrono all'approfondimento del substrato. La cartografia storica (**ALLEGATO 9**) mette in evidenza un terrazzo morfologico. L'insieme delle considerazioni sopra esposte e dei dati stratigrafici disponibili identifica una profondità di reperimento del substrato roccioso intorno a 40 m in tutto il tratto dalla quota della strada di sponda.

In merito alla falda, il monitoraggio condotto nel mese di settembre, in regimi di secca, ha evidenziato un accentuato approfondimento della stessa, fino a 14 m circa dal p.c. In regimi di piena meteorica, si ritiene che siano presenti contributi dal versante in grado di provocare un innalzamento significativo dei livelli. Inoltre è confermata l'interferenza con il tombino del Rio del Mirto.

In corrispondenza di questo tratto dovranno essere previsti, nelle successive fasi della progettazione, specifici approfondimenti diagnostici e strumentali sull'impalcato della copertura e sui relativi appoggi, per valutare e risolvere le interferenze che si prospettano con gli appoggi della nuova infrastruttura.

Si aggiunga, inoltre, l'interferenza con il tombino del Rio del Canto discendente dalla collina e sfociante sotto la copertura.

❍ ***Piastra parcheggi – Staglieno.***

Per questo tratto Le stratigrafie presenti caratterizzano tutte un deposito alluvionale grossolano, dato da ghiaie e ciottoli con sabbia e raro limo che si riduce drasticamente di spessore. Nei sondaggi SKYL19 e SKYS3 il deposito alluvionale risulta infatti compresso o del tutto assente e il

substrato si raggiunge a profondità tra 6.00 m e 12.00 m dal piano di Lungo Bisagno Istria. Tale assetto si ritiene imputabile all'avanzamento verso il corso d'acqua di una propaggine rocciosa dalla dorsale di Quezzi, artificialmente intagliata al piede per fare posto alla strada e agli adiacenti capannoni.

Tanto è vero che proprio alle spalle della Stazione Staglieno si staglia una parete rocciosa soggetta a fenomeni di crollo di massi e frammenti lapidei, oltre a scoscendimenti nei livelli di coltre superficiale, che hanno portato alla classificazione dell'area in frana attiva. Nella zona sono stati da tempo installati sistemi di protezione per gli insediamenti sottostanti, la cui completa efficacia, in ottica della nuova realizzazione, merita una puntuale verifica.

Da attenzionare, inoltre, il tema della possibile interferenza strutturale della nuova Stazione Staglieno, con la spalla sinistra del Ponte Monteverde, per la quale saranno necessarie indagini specifiche per approfondire la geometria degli appoggi esistenti, in concomitanza con la presenza di una fitta rete di sottoservizi che, in questo tratto, si trova proprio a ridosso del muro d'argine.

❍ ***Staglieno - Volpara - Viadotto autostradale Bisagno.***

Per il tratto in questione torna l'alternanza di dorsali e fosse perpendicolari all'alveo. I sondaggi SKY-L10 e SKY-L11 hanno raggiunto il substrato alterato a profondità rispettivamente di 35.60 m e 26.70 m da p.c., che se confrontate con i risultati disponibili dalla banca dati analizzata per le aree laterali, dimostrano l'elevata pendenza del fianco vallivo sinistro e l'accentuata incisione dell'alveo. Dopo una zona di marcato approfondimento, le indagini pregresse, localizzate nella zona di Volpara mostrano una graduale diminuzione della sequenza alluvionale. A ridosso dell'alveo, si stima uno spessore di materiali sciolti, tra riporti e alluvioni, che passa progressivamente da 30 m a 20 m. Infatti, la carta storica mostra in questo tratto la dorsale rocciosa di Volpara, che chiude la valle proprio all'altezza dell'impianto AMIU, dove lo spessore del materasso alluvionale è di 6.00 m e compaiono in copertura depositi di coltri pedemontane che, insieme al livello rimaneggiato superficiale, raggiungono lo spessore di 4.00-5.00 m (sondaggio 3086/S30). Alla dorsale collinare allungata verso l'alveo del Bisagno, si contrappone la rientranza disegnata immediatamente a Sud e confermata dalla stratigrafia del sondaggio 3086/S3, che rivela, invece, uno spessore di alluvioni miste a riporti pari a 9.00 m.

❍ ***Viadotto autostradale Bisagno – Ponte Carrega – Rio Mermi.***

Superato il viadotto in direzione monte, il profilo vallivo si approfondisce bruscamente fino a Ponte Carrega e all'immissione da sinistra dell'affluente Rio Mermi. I sondaggi disponibili in zona raggiungono il substrato alle seguenti profondità:

- S51: 33 m dalla quota dell'alveo;
- S52**:** 30 m dalla quota dell'alveo;
- S50: 30 m da quota strada;
- SDGA01: 33 m dal p.c.;
- SKYS4: 25.20 m da quota strada;
- SKYL20 26.70 m da quota strada.

Nell'area di Gavette, sulla sponda opposta, i due sondaggi SDGA02 e SDGA03 più arretrati, trovano invece il substrato già a 11.00 m.

La ricostruzione dell'assetto geomorfologico della valle evidenzia, in questa zona, la presenza di un paleo alveo interrato, ad andamento meandriforme che, con tutta probabilità, risente dell'intersezione con il Rio Mermi, inciso in fondovalle nelle più tenere Argilliti di Montoggio. Si ritiene pertanto che l'alveo, originariamente, scendendo verso Sud, divagasse in destra, verso l'area di Gavette, probabilmente sospinto dagli apporti del tributario di sinistra Rio Mermi, per poi tornare in sinistra verso la zona dell'attuale piazzale Adriatico che risulta ribassata rispetto alle aree contermini, e infine scontornare la dorsale di Volpara.

Tale ricostruzione, soprattutto rispetto al tratto immediatamente precedente all'altezza di Volpara, necessita naturalmente di verifica puntuale nel tratto interferente con gli appoggi fondazionali della nuova linea metropolitana, prevedendo fin da ora la possibilità di incontrare una serrata variabilità di situazioni stratigrafiche. Particolare attenzione merita la zona di Piazzale Adriatico, dove, tra l'altro, sfocia nel Bisagno il tombino di un colatore minore.

Per quanto riguarda i livelli di falda, è ragionevole ritenere che questa si assesti, in regimi normali mediamente, alla quota dell'alveo o poco al di sotto, con oscillazioni marcate verso il basso nella stagione secca, dove la falda, a settembre, è risultata assestata tra 9.00 e 10.00 dal p.c.

Si conferma, infine, la presenza di materiali detritici di riporto in corrispondenza del sedime stradale che segue l'argine, il cui spessore in questa zona aumenta sensibilmente per i lavori di imposta delle pile del viadotto a suo tempo realizzati.

❍ ***Ponte Carrega – Ponte Gallo - Sciorba.***

La verifica geognostica diretta su quattro verticali d'indagine, nel tratto indicato, mostra una debole graduale risalita del substrato rispetto al tratto precedentemente descritto (SKYS5, SKYL12, SKYL13 e SKYS6), fino alla profondità di 25 m da p.c.

Vale la pena aggiungere che, in questo tratto, il deposito alluvionale è granulometricamente molto grossolano e presenta locali lenti sabbiose. La falda è assestata alla profondità di circa 8.00 m all'altezza dell'ex canile municipale e subisce un graduale innalzamento procedendo verso monte. Naturalmente in regimi di piena si registrano risalite significative in alveo e consistenti apporti dai versanti laterali.

All'altezza del Ponte Gallo, presso la piscina della Sciorba, aumenta sensibilmente lo spessore del rilevato stradale. I due sondaggi in Archivio Bellini, risalenti all'epoca delle indagini per la realizzazione del complesso sportivo, in realtà non tengono conto delle modifiche intervenute per la sistemazione della sponda e la costruzione della strada, oggi Via Adamoli su rilevato. Invece il sondaggio SKYS6 ha incontrato 8.50 m di riporti.

Un'ultima notazione merita la localizzazione della stazione Guglielmetti, per segnalare che, proprio in corrispondenza, sfociano nel Bisagno due rivi tributari di sinistra che, sebbene non appartenenti al reticolo idrografico regionale, sono classificabili come corsi d'acqua minuti. Il primo rivo sfocia nel T. Bisagno subito a monte di Ponte Guglielmetti, il secondo rivo, che drena il versante di Via Terpi soprastante agli ex Macelli, sfocia nel Bisagno in corrispondenza proprio di Piazzale Bligny.

Altra interferenza del tracciato di linea con tombinature di rivi affluenti del T. Bisagno, non compresi nel reticolo idrografico regionale, comunque significativi per portata e dimensioni, si prospetta all'altezza del complesso della Sciorba, dove è pure presente un pozzo per acqua a uso irriguo, a servizio dell'impianto, posizionato a margine di Via Adamoli, allo spigolo Nord/Ovest del campo sportivo.

Nel tratto d'interesse, infatti, convergono verso il fondovalle tre rivi secondari, di cui solo due appartenenti al reticolo regionale. Questi sono tombinati per sottopassare gli impianti sportivi e Via Adamoli e sbucare nel muro d'argine sinistro del T. Bisagno nelle posizioni indicate in **Figura 6**, a quota e a distanze da verificare rispetto alle previsioni degli appoggi fondazionali della nuova linea

metropolitana. Un quarto tombino affiora nel muro d'argine proprio all'altezza dell'ubicazione della Stazione San Gottardo.

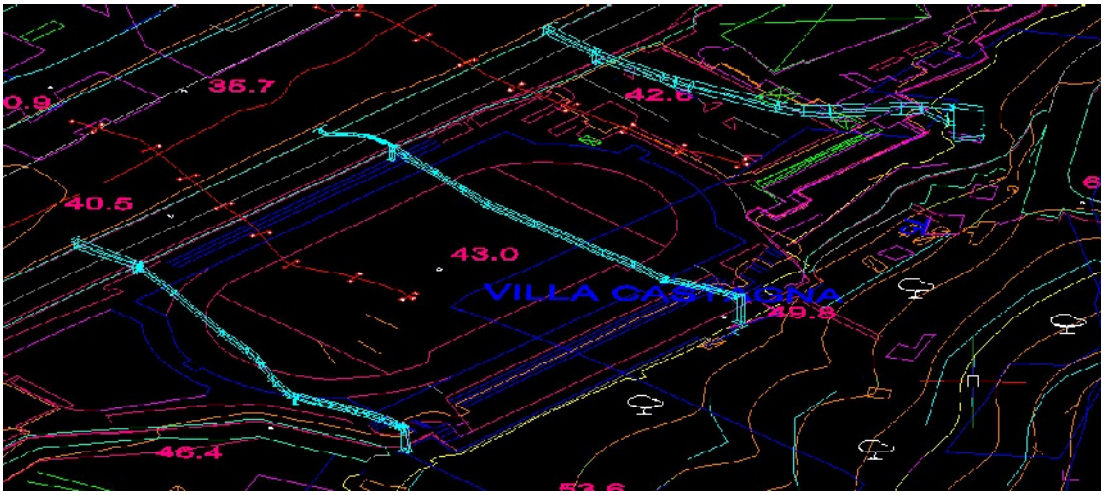


Figura 6. Tracciato dei rivi tombinati che sottopassano gli impianti sportivi della Sciorba e sfociano nel Bisagno.

❍ ***Sciorba – Via Merello.***

Superato il complesso sportivo della Sciorba, il tratto che risale la valle può usufruire dei dati geognostici e geotecnici acquisiti nell'ambito delle indagini per il progetto definitivo (2007) e poi esecutivo (2017) della galleria scolmatrice del T. Bisagno, che inizialmente prevedeva di imboccare in quest'area.

Si richiamano i sondaggi SEB2 e SEB3 impostati rispettivamente dalla quota della strada, Via Adamoli e dalla quota dell'alveo, per segnalare che, nel tratto, lo spessore dei sedimenti alluvionali risulta rispettivamente di 5.00 m (compreso un livello basale interdigitato alla coltre pedemontana) e di 14.50 m, mentre i riporti, presenti lungo la strada Via Adamoli, raggiungono lo spessore di 7.00 m. Il substrato roccioso calcareo, quindi, lungo il tracciato dell'infrastruttura proposta, in fregio all'alveo, si trova a profondità comprese tra 15.00 m e 20.00 m. Per i sondaggi del progetto dello scolmatore si dispone di prove SPT, di prove di permeabilità in foro e di una prova dilatometrica, i cui risultati potranno essere confrontati con quelli delle indagini attuali.

❍ ***Via Merello - Molassana.***

Nell'ultimo tratto del percorso esaminato, il versante sinistro del corso d'acqua incombe sull'alveo, mentre la fascia di deposizione alluvionale si comprime. E' la zona delle cave: la Zanacchi ormai dismessa da tempo, all'altezza di Via Merello, e la Montanasco a Molassana, i cui fronti incidono le pendici settentrionali del Monte Croce.

Ed è ancora una volta la geomorfologia a condizionare lo sviluppo della sedimentazione alluvionale, la cui potenza verso Molassana è assai variabile per l'alternanza, di dossi e rientranze e per gli interventi realizzati al fine di costruire la strada di sponda sinistra (Via Adamoli) con sbancamenti a monte e formazione di rilevati a valle. I sondaggi di riferimento sono SKYL15, SKYL18, SKYL16, SKYS7, SKYL17.

Diversa è la situazione stratigrafica della sponda destra all'altezza di Molassana. Una serie di sondaggi eseguiti per la costruzione del Ponte Fleming e per le arginature del Bisagno (da S64 a S70) ha rivelato che, al di sotto di una modesta copertura di riporti, sono presenti ghiaie grossolane frammiste a ghiaie fini e sabbie limose, passanti in profondità a un materiale molto grossolano dove, oltre alle ghiaie e ai ciottoli, compaiono trovanti calcarei in matrice fine. La roccia di substrato, che in questo caso è costituita dalle Argilliti di Montoggio, stratigraficamente sottoposte ai calcari, si raggiunge a profondità massime dell'ordine di 25 metri e presenta un livello superficiale alterato e fratturato anche per spessori di qualche metro (3654/S1).

L'affioramento di argilliti si estende fino alla sponda sinistra. Infatti, i sondaggi S66 e S69 ne segnalano la presenza proprio in corrispondenza della spalla sinistra del Ponte Fleming, in prossimità della stazione Molassana della linea metropolitana in progetto. I sondaggio SKYS7, SKYL17 hanno attraversato una sequenza alluvionale ghiaiosa, sabbiosa e ciottolosa dello spessore di circa 15-16 m, sottoposta a uno spessore di materiali rimaneggiati, di analoga granulometria, di spessore crescente in direzione dell'alveo fino a oltre 12.00 m, evidentemente connessi alla costruzione della spalla del ponte e ha confermato la presenza del substrato argillitico. Anche il sondaggio SKYL16 ha incontrato a substrato le argilliti ma a quote decisamente superiori per la vicinanza del versante.

I due sondaggi SKTL15 e SKYL18 hanno invece raggiunto i calcari sotto a spessori di materiali sciolti (riporti e alluvioni di analoghe caratteristiche granulomeriche) a profondità differenziate, che confermano la presenza di propaggini collinari allungate verso l'alveo, tagliate dal percorso della strada di sponda.

In questo tratto la falda è assestata alla quota dell'alveo e segue le oscillazioni del torrente in funzione dei regimi meteorici. In tema di assetto idrogeologico vale la pena aggiungere che la prossimità dei fronti rocciosi, denudati o scarsamente vegetati, determina, in caso di piogge intense e prolungate, ruscellamenti importanti che convergono verso i piazzali della cava e saltuariamente raggiungono la Via Adamoli colando dai muraglioni che la delimitano.

Inoltre, proprio nella zona dove è previsto l'inserimento dei parcheggi d'interscambio, il fronte roccioso soprastante manifesta fenomeni di smottamento di materiale detritico, massi e cespugli, per effetto del dilavamento ad opera delle acque meteoriche e, nonostante una parziale sistemazione a gradoni, rivela problematiche d'instabilità latente segnalate dalla presenza di fessurazioni nel terreno, cigli di distacco e zolle ribassate. Tale zona è classificata in frana attiva dal vigente Piano di Bacino del T. Bisagno.

Riepilogando quanto illustrato in questo capitolo, si può affermare che:

- essendo l'intero tracciato di progetto sviluppato in area densamente urbanizzata, si prevede la presenza continua di uno strato superficiale di materiali eterogenei di riporto, entro i quali sono allocati numerosi sottoservizi. Altre linee infrastrutturali corrono direttamente all'interno dell'alveo e in aderenza al muro d'argine. Si citano, ad esempio, la fognatura nera e la condotta dell'acquedotto di Val Noci;

- tanto più evidente risulta questa previsione se si considera che la viabilità spondale è stata pressocché totalmente ricavata mediante riempimento a tergo del muro d'argine, con spessori che, di norma, assumono valori intorno ai 4.00-5.00 m, ma che, nella zona di Molassana, raggiungono anche i 12.00 m;

- perpendicolarmente al tracciato della nuova linea di trasporto, inoltre, confluiscono nel Bisagno numerosi rivi laterali che drenano bacini anche di discrete dimensioni. La tavola in **ALLEGATO 2** riporta il tracciato del reticolo idrografico regionale della Val Bisagno. In sponda sinistra i più importanti, da Sud a Nord, sono il Rio Fereggiano a Marassi e il Rio Mermi all'altezza del Ponte Carrega. Tutti sottopassano la strada di sponda, tombinati o coperti e si pone il problema di bypassarli prevedendo che gli appoggi puntuali della nuova infrastruttura

ricadano in posizioni laterali alla confluenza e sufficientemente distanziati dalle sue sponde, per non determinare alcuna interferenza, oltre che per il rispetto della normativa vigente in tema di fasce d'inedificabilità assoluta;

- a questi si devono aggiungere numerosi rivi minori che, sebbene non appartengano al Reticolo Regionale, confluiscono tombinati nel Bisagno, spesso declassati a canali di drenaggio urbano, e comunque intersecano il tracciato in esame, come nei casi segnalati di Piazzale Bligny e Sciorba. Per questi, analogamente ai precedenti, si pone l'esigenza di salvaguardia rispetto agli appoggi fondazionali della nuova infrastruttura;

- dato il posizionamento della linea in vicinanza, se non in aderenza allo sviluppo del Torrente Bisagno, è ragionevole attendersi risalite e oscillazioni della falda fino a quote interferenti con gli appoggi fondazionali, soprattutto nel caso in cui questi vengano impostati alla quota dell'alveo attuale. La Tabella 10 riporta i dati del monitoraggio piezometrico di settembre 2023;

Tabella 10. Monitoraggio piezometrico – settembre 2023.

SONDAGGIO	Q.A sondaggio (m.s.l.m)	07/09/2023		15/09/2023		20/09/2023	
		Profondità falda da p.c. (m)	T (°C)	Profondità falda da p.c. (m)	T (°C)	Profondità falda da p.c. (m)	T (°C)
SKYS7	58,87	10,11	16,4	10,12	16,3	10,2	16,6
SKYL17	56,83	9,09	15,9	-	-	9,2	16,2
SKYL18	50,36	7,49	17,7	7,49	17,8	7,52	18
SKYL15	47,31	5,79	16	5,78	17,4	5,92	16,7
SKYS6	43,5	7,66	20,6	8,1	20,9	4,71	18,7
SKYL13	41,74	7,21	19	7,66	19,9	9,73	20,1
SKYS5	37,9	9,06	17,6	9,57	18	11,08	18,1
SKYL20	33,56	6,79	17,2	8,77	16	9,82	16,2

SKYS4	32,15	6,54	15,8	-	-	-	-
SKYL10	27,89	-	-	-	-	-	-
SKYS3	25,86	6,33	16,3	9,26	16,4	9,66	16
SKYL19	25,4	7,76	16,7	9,32	16,4	9,39	16,4
SKYL9	23,52	10,57	14,5	13,54	15	13,93	15,1
SKYL8	18,32	-	-	11,59	15,5	11,93	15,5
SKYS1	16,25	-	-	-	-	-	-
SKYL4	11,24	-	-	-	-	-	-
SKYL3	10,74	6,98	15,4	8,39	16,2	8,71	16,3
SKYL1	9,3	5,63	15,5	7,05	16,4	7,35	16,9

- la presenza di pozzi di emungimento in vicinanza al tracciato della linea metropolitana richiede specifiche indagini conoscitive, in modo da valutare preventivamente eventuali interferenze e proporre soluzioni che escludano impatti sulla risorsa idrica da parte delle opere fondazionali della nuova infrastruttura, anche con riferimento alle fasi di cantierizzazione;

- meritevoli di attenzione sono i due tratti che corrono in vicinanza a settori interessati dalla presenza di frane attive e che risultano ad essi sottoposti, prospettandosi il rischio, per l'infrastruttura e le opere connesse, di subire gli effetti negativi di tali fenomeni. Particolarmente delicata, al proposito, è la situazione riscontrata sui fronti rocciosi a monte di Via Adamoli, zona Cava Montanasco, dove, per erosione e dilavamento superficiale in caso di pioggia, sono ricorrenti fenomeni di smottamento di materiale detritico, massi e cespugli.

Per quanto riguarda le tematiche connesse al rischio idraulico e alla esondabilità del corso d'acqua, nonché alle problematiche ambientali legate alla caratterizzazione e alla gestione delle terre e rocce da scavo prodotte nella fase di realizzazione dell'opera, si rimanda ai contributi specialistici di argomento.

9. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.

Come già anticipato, le stratigrafie prese in considerazione lungo il tracciato di progetto comprendono solo i sondaggi bibliografici che hanno raggiunto il substrato roccioso in Calcari di Monte Antola o Argilliti di Montoggio, mentre sono stati tralasciati i sondaggi di profondità limitata, che hanno indagato solo lo strato alluvionale.

In base alle informazioni disponibili e in rapporto alle caratteristiche progettuali dell'intervento in esame, è stata quindi pianificata la campagna delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche del PFTE, le cui risultanze hanno permesso di verificare e approfondire il modello geologico di riferimento per la proposta progettuale in esame, come illustrato ai successivi paragrafi.

Dai dati bibliografici raccolti, confermati e precisati dai sondaggi eseguiti per il PFTE (**ALLEGATO 11**), si conferma che il previsto tracciato della nuova linea di trasporto della Val Bisagno interesserà, sotto l'aspetto geologico, le seguenti unità litotecniche:

- **materiali di riporto** collocati alle spalle dei muri d'argine, ove presenti, e comunque a formare il "rilevato" della strada che risale la valle mantenendosi lungo la sponda, per uno spessore che mediamente è pari a 5.00 m e che si incrementa fino a 12.00 m nella zona di Molassana;
- **depositi alluvionali** del Torrente Bisagno, di natura principalmente ghiaiosa e sabbiosa (GS), con matrice fine, limosa e con intercalazioni di livelli limoso argillosi e sabbiosi (LS), questi ultimi di spessore variabile da pochi decimetri nel tratto mediano e superiore della valle, fino a 13.00 m nel tratto meridionale tra Marassi e la Foce. Lo spessore complessivo della sequenza alluvionale varia tra un minimo di 10 m a Molassana e un massimo di 40 m circa in zona Brignole, sponda sinistra;
- **substrato roccioso**, costituito in massima parte dalla Formazione del Monte Antola e in subordine dalle Argilliti di Montoggio, presenti all'estremo settentrionale del tracciato, a Molassana, oltre che, probabilmente, all'altezza di Ponte Carrega a Montesignano Rio Mermi. Limitatamente al capolinea sud dell'impianto, presso la stazione ferroviaria di Genova Brignole, e soprattutto in sponda idrografica sinistra, sono presenti, in copertura ai calcari, le Argille di Ortovero.

In **ALLEGATO 12** si propone la schematizzazione stratigrafica dell'intero fondovalle del T. Bisagno lungo il tracciato d'interesse progettuale, sulla base dell'interpolazione ragionata dei dati disponibili e recentemente acquisiti con la campagna di indagini, con il conforto della topografia antica (**ALLEGATO 9**), distinguendo diversi range di profondità entro cui è atteso il raggiungimento del substrato roccioso al di sotto dei "materiali sciolti di copertura", accorpando in tale livello i materiali di riporto e i sedimenti alluvionali.

Tale scelta deriva dal fatto che i riporti e le alluvioni, dal punto di vista granulometrico, sono generalmente simili ed entrambi dotati di un comportamento geotecnico prevalente tipico di terreni granulari, in contrasto con l'ammasso roccioso di fondo.

Si ritiene, infatti, sostanziale, per le problematiche fondazionali dell'infrastruttura, l'informazione relativa alla profondità di reperimento del substrato roccioso rispetto alla quota del piano della strada che corre in fregio al corso d'acqua.

10. CONSIDERAZIONI IN MERITO AL RISCHIO SISMICO.

La risposta sismica del sito è determinata essenzialmente dalla sismicità dell'area e dalle sue caratteristiche stratigrafiche e topografiche, in rapporto alla tipologia e all'importanza dell'opera in progetto.

Pertanto, con riferimento alla normativa tecnica di settore, costituita dalle Norme Tecniche per le Costruzioni NTC2018, la progettazione del prolungamento della linea metropolitana in Val Bisagno dovrà essere attuata considerando la pericolosità sismica mediante un criterio sito-dipendente, per il quale sono in corso le necessarie indagini ai fini della determinazione della categoria sismica di sottosuolo.

Rispetto alle classi di rischio sismico, i dati disponibili indicano che l'area in esame é inserita nella classe 3 di rischio sismico, come pure sancito dalla D.G.R. n. 216/2017 della Regione Liguria. Infatti, in base alla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (*Ord. P.C.M. 28/04/2006 – D.M. 14/09/2005*), il range di accelerazione massima del suolo, con probabile eccedenza del 10% in 50 anni, nel territorio della Val Bisagno passa da un range 0.050 – 0.075 in zona Foce e Marassi fino a un range tra 0.075 – 0.10 nel tratto mediano e superiore della valle.

L'azione sismica viene valutata in condizioni di campo libero (cioè in assenza di manufatti), su suolo di riferimento rigido (di categoria A), a superficie orizzontale (superficie topografica di categoria T1), riferendosi alla definizione di "pericolosità sismica di base", fornita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) (**Figura 7**).

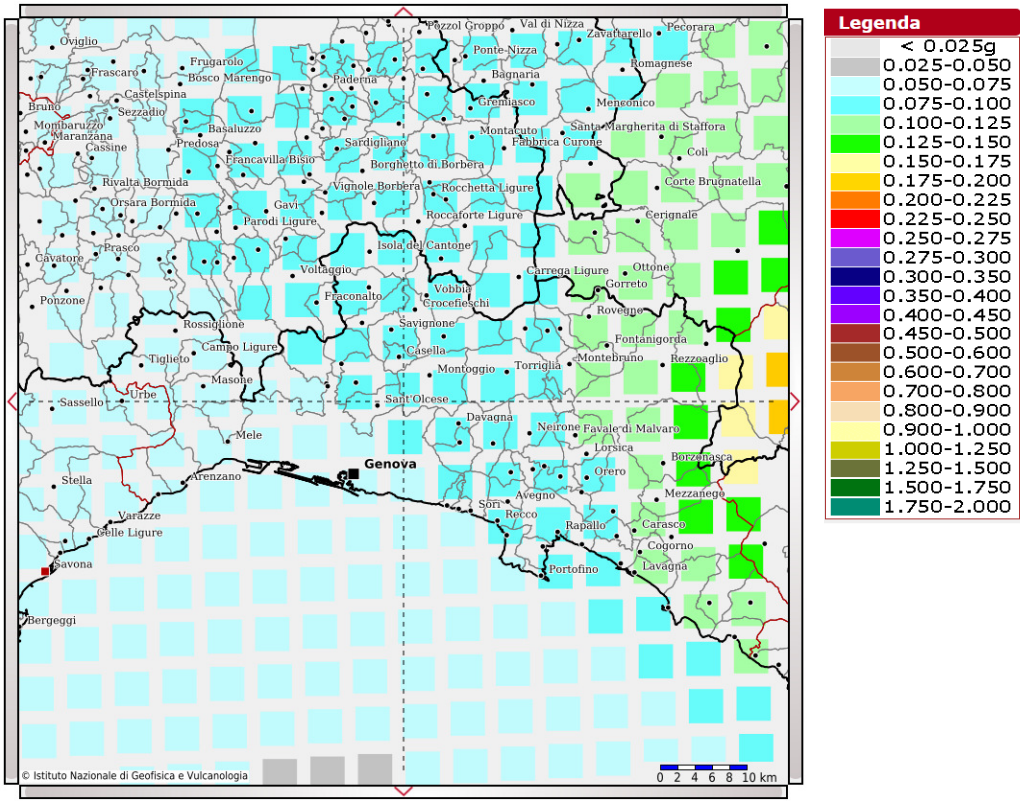


Figura 7. Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo (amax) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (Vs30 > 800 m/s) – da INGV.

In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione, sul territorio nazionale, delle grandezze di seguito elencate, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica "probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR":

a_g: accelerazione massima su suolo tipo A;

F_O: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C*: periodo di riferimento che consente di calcolare il periodo TC corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro.

10.1. Sismicità storica del comparto in esame.

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta, di seguito, un riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti sopra la soglia del danno che hanno interessato storicamente il Comune di Genova (**Figura 8**). Le informazioni derivano dalla consultazione del DBMI15, il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (*Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., Antonucci A. 2022. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4*).

Si elencano terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4 e s'indicano i valori relativi all'intensità al sito, il tempo all'origine (anno, mese, giorno), l'area epicentrale (località, intensità epicentrale e magnitudo momento) e una descrizione degli effetti risentiti a Genova.

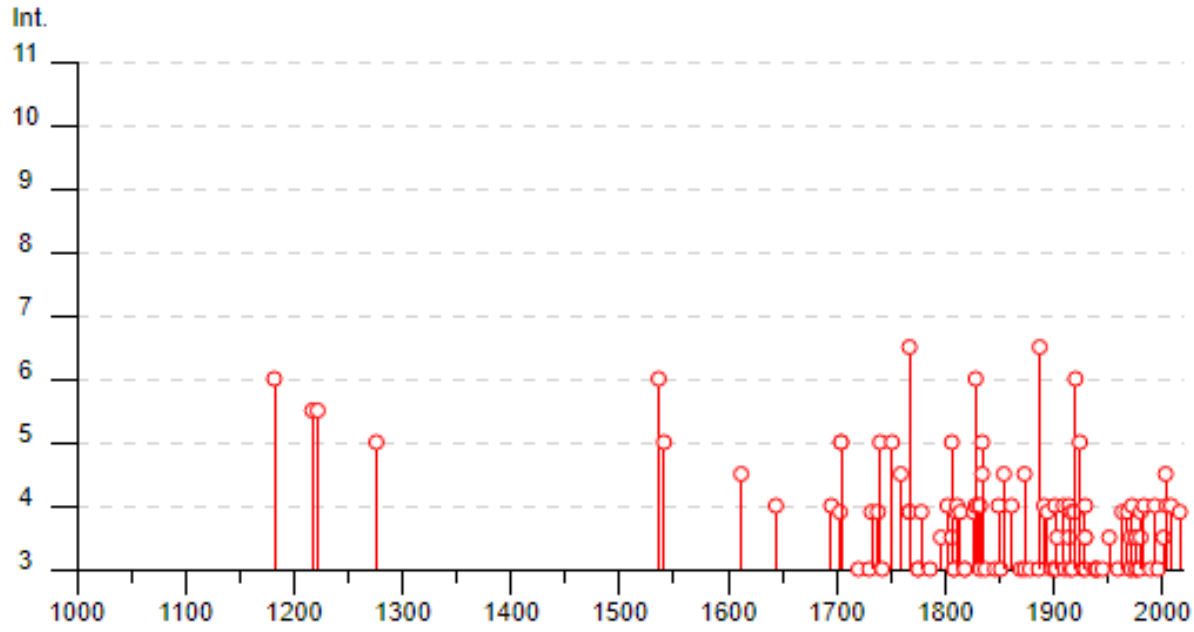


Figura 8. Sismicità storica del Comune di Genova. Si individuano 131 eventi nel periodo compreso tra il 1182 e il 2016, di intensità massima compresa tra 6 e 7.

Dalla consultazione dell'elenco emerge che le intensità sismiche massime osservate sono pari a IS = 6 per gli eventi del 1182, 1536, 1828 e 1920 e IS=6-7 per gli eventi del 1767 e 1887.

Gli eventi per i quali sono noti danni al tessuto urbano nel capoluogo ligure e nelle località limitrofe sono i seguenti:

- 9 ottobre 1828 con epicentro in Valle Staffora (Io 8; M 5,72; IGE 6,5);
- 23 febbraio 1887 con epicentro nel Mar Ligure al largo della costa imperiese (Io 9; M 6,27; IGE 6,5);
- 7 settembre 1920 con epicentro nella Garfagnana (Io 10; M 6,53; IGE 6).

10.2. Sorgenti sismogenetiche e faglie capaci del comparto in esame.

Nel 2021 è stata presentata la nuova versione del Database of individual Seismogenic Sources (DISS) (vers. 3.3.0) che comprende "A compilation of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas", inizialmente divulgato in forma preliminare nel luglio 2000 come versione 1.0 e pubblicato nel dicembre 2001 come versione 2.0 (*Valensise & Pantosti, 2001*). Il Database contiene le sorgenti sismogenetiche individuali e composite ritenute in grado di generare grandi terremoti. La nuova versione del Database elenca oltre 100 sorgenti sismogenetiche identificate attraverso studi geologico - geofisici (70% in più rispetto alla precedente versione), che ricadono sull'intero territorio italiano e su alcune aree confinanti.

L'assetto di queste sorgenti fornisce informazioni sull'andamento dei maggiori sistemi di faglie attive, consentendo, in alcuni casi, di individuare aree di potenziale *gap* sismico. L'obiettivo del Database è quello di rendere quanto più possibile completa l'informazione sulle sorgenti sismogenetiche potenziali del territorio nazionale. Per questa ragione, quindi, oltre ad un numero maggiore di sorgenti individuali, viene proposta la rappresentazione e caratterizzazione di tutte le aree che, pur essendo certamente in grado di generare forti terremoti, sono ancora poco comprese. È stata pertanto istituita una nuova categoria di aree sismogenetiche per le quali, in analogia con quanto proposto dalla zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti & Valensise, 2004), vengono fornite: la localizzazione geografica, la stima del meccanismo di fagliazione, la profondità efficace e la magnitudo massima attesa. Dall'esame del Database, le sorgenti sismogenetiche composite più

vicine al territorio di Genova sono la sorgente Imperia Promontory (ITCS022) e la sorgente Lunigiana (ITCS026) (**Figura 9**). Le principali informazioni di riferimento per ciascuna sorgente sono riportate in **Figura 10** e in **Figura 11**.

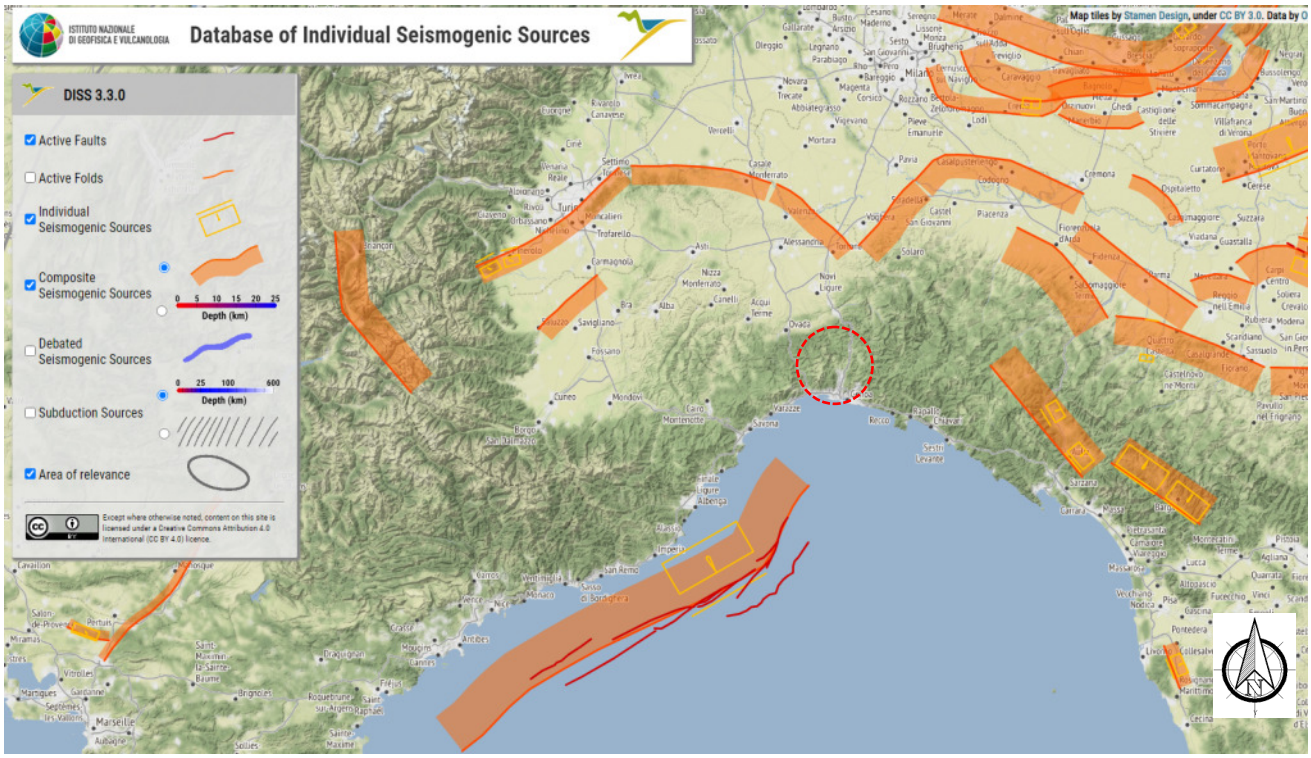


Figura 9. Sorgenti sismogenetiche nella nuova versione del "Database of Individual Seismogenic Sources. Immagine focalizzata sull'ambito ligure. In rosso l'area di studio (http://diss.rm.ingv.it/diss/).

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.5	LD	Based on geological and morphobathymetric data by Larroque et al. (2011).
Max depth [km]	15.0	EJ	Assumed to be about the same as the base of lower crust.
Strike [deg] min... max	200...250	LD	Based on geological and morphobathymetric data by Larroque et al. (2011).
Dip [deg] min... max	25...50	EJ	Inferred from geophysical data.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from active stress data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.25	EJ	Inferred from topographic and geological data (uplift) from various authors.
Max Magnitude [Mw]	6.6	EJ	Inferred from the largest known earthquake in the area.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP;EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Figura 10. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composita Imperia Promontory (ITCS022).

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	1.0	OD	Based on geological and seismological data from Solarino (2007).
Max depth [km]	10.0	OD	Based on geological and seismological data from Solarino (2007).
Strike [deg] min... max	310...330	OD	Based on geological data.
Dip [deg] min... max	30...45	OD	Based on geological and seismological data from Solarino (2007).
Rake [deg] min... max	260...280	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...1.0	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.0	EJ	Assumed from regional seismological data.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP;EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Figura 11. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composita Lunigiana (ITCS026).

Infine, la consultazione del database del progetto ITHACA (ITaly HAzard from CApable faults) ha permesso di verificare la presenza di faglie capaci, cioè di faglie "sismiche" con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni, potenzialmente "capaci" di produrre deformazioni in superficie, quindi fenomeni dagli effetti distruttivi per le opere antropiche. In riferimento allo stralcio cartografico riportato in **Figura 12**, alcune faglie capaci sono posizionate nel Golfo di Genova.

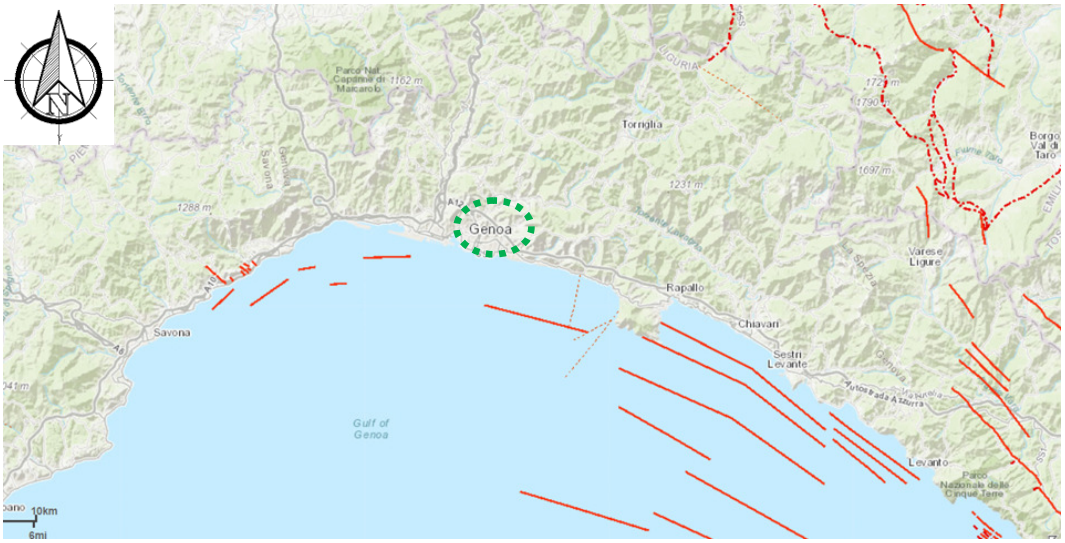


Figura 12. Stralcio cartografico dell'area di interesse (in verde), con l'indicazione delle faglie attive e capaci (*http://sgi2.isprambiente.it).*

11. RISCHIO DI POTENZIALE LIQUEFAZIONE.

Ai sensi della DGR 535/2021 della Regione Liguria, inerente la valutazione del rischio di liquefazione dei terreni, il Comune di Genova è compreso nell'elenco dei comuni suscettibili di liquefazione dei suoli, sulla base dei dati di pericolosità sismica di base (ag e M), considerando un periodo di ritorno di 2475 anni.

Nel caso specifico, l'ambito di piana alluvionale rende la liquefazione probabile sulla base di criteri di tipo geomorfologico e geologico, considerata la presenza di sedimenti recenti. Quindi, si può concludere che la sequenza alluvionale è, teoricamente, altamente vulnerabile alla liquefazione.

Dal punto di vista granulometrico, peraltro, la predominanza di componenti grossolane, ghiaiose e ciottolose, con matrice fine e, complessivamente, la presenza di granulometrie miste, riduce tale vulnerabilità per i sedimenti alluvionali della valle rispetto alle indicazioni contenute nelle NTC 2018.

Ad ogni modo, il tema va affrontato e approfondito nella successiva fase progettuale per la definizione di possibili interventi rimediali di carattere strutturale e/o geotecnico, da subordinare agli esiti delle indagini in situ e specificatamente della completa caratterizzazione dei fusi granulometrici presenti, oltre che delle verifiche alla liquefazione eventualmente conseguenti.

12. CONCLUSIONI.

Sulla base dello studio svolto e commentato nella presente relazione, ai sensi del D.M. 17.01.18 e in osservanza alle prescrizioni delle Norme Geologiche di Attuazione del P.U.C. del Comune di Genova, relativamente alla fase di accertamento di fattibilità dell'infrastruttura in progetto, si ritiene che l'intervento proposto sia compatibile con i lineamenti geologici e geomorfologici del territorio interessato.

L'affinamento del modello geologico ricostruito sulla base della conoscenza geologica del territorio, delle ricerche documentali e bibliografiche effettuate e di dati geognostici preesistenti, prevede il completamento della campagna di indagini geofisiche previste nell'alveo del T. Bisagno e in attesa di permessi per l'accesso e l'occupazione suolo pubblico e alveo e le analisi e prove di laboratorio sui campioni di terreno e di roccia raccolti nel corso delle perforazioni per affrontare le problematiche puntuali e le criticità rilevate lungo il tracciato di progetto, ottimizzare le soluzioni fondazionali e i relativi dimensionamenti, e definire i dettagli della cantierizzazione a salvaguardia delle preesistenze al contorno.

ELENCO ALLEGATI.

- **ALLEGATO 1:** Estratto dalla “Carta dei principali vincoli territoriali” del vigente Piano di Bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico del T. Bisagno (Fuori scala).
- **ALLEGATO 2:** Estratto dalla “Carta del Reticolo Idrografico Regionale” (adottato con D.G.R. 507/2019) (Fuori scala).
- **ALLEGATO 3:** Estratto dalla “Carta della suscettività al dissesto” del vigente Piano di Bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico del T. Bisagno (Fuori scala).
- **ALLEGATO 4:** Estratto dalla “Carta Geologica d’Italia” (PROGETTO CARG) Foglio Genova 213-230 (Fuori scala).
- **ALLEGATO 5:** Estratto dalla “Carta geologica” del vigente PUC 2015 del Comune di Genova (Fuori scala).
- **ALLEGATO 6:** Estratto dalla “Carta geomorfologica” del vigente PUC 2015 del Comune di Genova (Fuori scala).
- **ALLEGATO 7:** Estratto dalla “Carta della zonizzazione geologica e suscettività d’uso del territorio” del vigente PUC 2015 del Comune di Genova (Fuori scala).
- **ALLEGATO 8:** Estratto dalla “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” (MOPS) del vigente PUC 2015 del Comune di Genova (Fuori scala).
- **ALLEGATO 9:** Sovrapposizione tracciato su stralcio della “Carta topografica dei dintorni di Genova” 1851 – Archivio Studio Associato Bellini (Fuori scala).
- **ALLEGATO 10:** Ubicazione indagini geognostiche disponibili da fonti bibliografiche (Scala 1:5000).
- **ALLEGATO 11:** Planimetria delle indagini geognostiche per il Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (Scala 1:5000).
- **ALLEGATO 12:** Carta della profondità del substrato roccioso lungo il tracciato (Scala 1:5000).

Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO
CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
(D.lgs. n. 36 / 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA

Estratto dalla “Carta dei principali vincoli territoriali” del vigente Piano di Bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico del Torrente Bisagno.	**FUORI SCALA**
	ALLEGATO 1

N

MOLASSANA

SAN GOTTARDO

GUGLIELMETTI

STAGLIENO

PARENZO

ROMAGNOSI

BRIGNOLE

Forte di Quezzi

MARASSI

LEGENDA

- aree sottoposte a vincolo idrogeologico
- aree classificate "abitati da consolidare" (L. 64/1974)
- siti di interesse comunitario pSIC (D.G.R. 646/2001)
- parchi naturali regionali
- limite di bacino

Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO
CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
(D.lgs. n. 36 / 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA

Estratto dalla “Carta del Reticolo Idrografico Regionale” (adottato con D.G.R. 507/2019)	**FUORI SCALA**
	ALLEGATO 2

LEGENDA

Reticolo idrografico regionale (D.G.R. 507/2019)

- a cielo aperto
- tombinato

- Tracciato Skymetro e relative stazioni

MOLASSANA

RIO AQUILA

RIO TAGLIATE

SAN GOTTARDO

RIO 1

RIO SCIORBA

GUGLIELMETTI

RIO MERMI

RIO TORRE

RIO VOLPARA

RIO LAIASSA

RIO 2

STAGLIENO

RIO DEL CANTO

PARENZO

RIO DEL MIRTO

RIO DEL VENTO

RIO FERREGGIANO

ROMAGNOSI

BRIGNOLE

0 250 500 m

Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO
CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
(D.lgs. n. 36 / 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA

Estratto dalla “Carta della suscettività al dissesto” del vigente Piano di Bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico del Torrente Bisagno.	**FUORI SCALA** **ALLEGATO 3**

N

MOLASSANA

SAN GOTTARDO

GUGLIELMETTI

STAGLIENO

PARENZO

ROMAGNOSI

BRIGNOLE

LEGENDA

CLASSI DI SUSCETTIVITA' AL DISSESTO		NORME DI ATTUAZIONE
MOLTO ELEVATA	Pg4	Art. 16, c. 2 Art. 16ter
ELEVATA	Pg3a	Art. 16, c. 3 Art. 16ter
ELEVATA	Pg3b	Art. 16, c. 3-ter Art. 16ter
MEDIA	Pg2	Art. 16, c. 4 Art. 16ter
BASSA	Pg1	Art. 16, c. 4 Art. 16ter
MOLTO BASSA	Pg0	Art. 16, c. 4 Art. 16ter
Fenomeni idrogeologici lungo gli alvei torrentizi		Art. 16ter
CLASSI SPECIALI		
TIPO A - Cave attive, miniere attive e discariche in esercizio		Art. 16bis, c. 2
TIPO B_1 - Cave inattive e miniere abbandonate		Art. 16bis, c. 3
TIPO B_2 - Discariche dismesse e riporti antropici		Art. 16bis, c. 5

Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO
CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
(D.lgs. n. 36 / 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA

Estratto dalla “Carta Geologica d’Italia” (PROGETTO CARG) Foglio Genova 213-230.	**FUORI SCALA**
	ALLEGATO 4

MOLASSANA

SAN GOTTARDO

GUGLIELMETTI

STAGLIENO

PARENZO

ROMAGNOSI

BRIGNOLE

FAN

MGG

ORV

a1

b

b2

0 250 500 m

DEPOSITI QUATERNARI

Pleistocene - Olocene

depositi di frana (a_1)
Accumuli gravitativi di materiale eterogeneo ed eterometrico.
OLOCENE

detriti di falda (a_3)
Accumuli gravitativi di materiale eterogeneo, accumulatosi per disfacimento del soprastante versante lapideo.
OLOCENE

coltri eluvio - colluviali (b_2)
Coperture detritiche costituite da clasti eterometrici, a matrice sabbioso-limosa, talora pedogenizzate, sviluppatesi *in situ* a spese del substrato, spesso con inglobati elementi grossolani a volte mobilizzati da processi di versante.
OLOCENE

depositi alluvionali in evoluzione (b)
Depositi ghiaiosi, spesso con blocchi e/o materiali fini, che costituiscono gli alvei attuali dei corsi d'acqua e le aree adiacenti; verso la foce raggiungono spessori considerevoli.
OLOCENE

depositi marini in evoluzione (g)
Depositi prevalentemente ghiaiosi, localmente sabbiosi, di spiaggia emersa.
OLOCENE

depositi periglaciali (e_7)
Accumuli di blocchi subangolari, generalmente monogenici, per lo più *clast supported*, orientati secondo la pendenza del versante, riconducibili a processi periglaciali; le dimensioni variano da 50 a 100 cm e più.
PLEISTOCENE MEDIO SUP.? - OLOCENE

depositi alluvionali terrazzati (b_{n1-4})
Depositi ghiaiosi e subordinati depositi sabbiosi posti a quote più elevate rispetto agli alvei attuali, coperti da una coltre colluviale, spesso volte pedogenizzata, di spessore variabile.
PLEISTOCENE - OLOCENE

depositi marini terrazzati (g_{n1-4})
Depositi ghiaiosi e localmente depositi sabbiosi posti a quote più elevate rispetto all'attuale livello del mare, coperti da una coltre colluviale, spesse volte pedogenizzata, di spessore variabile.
PLEISTOCENE - OLOCENE

brecce di San Pietro ai Prati (PTP)
Brecce residuali a clasti calcareo - dolomitici, a matrice carbonatica; brecce detritiche a clasti calcareo - dolomitici e subordinati clasti quarzoso-filladici, a matrice carbonatica di colore giallastro. Sono presenti intercalazioni di arenarie e siltiti.
PLEISTOCENE - OLOCENE?

DEPOSITI PLIOCENICI

Pliocene

argille di Ortovero (ORV, ORV_b)
argille marnose, marne, siltiti e arenarie fini, di colore da grigio cinereo a grigio-azzurro a giallastro, in strati da centimetrici a pluricentimetrici. Il contenuto paleontologico comprende foraminiferi planctonici, bentonici, diatomee, nannoplancton calcareo.
ZANCLEANO INF.
litofacies a brecce e conglomerati di base.

UNITÀ TETTONICA ANTOLA

Cretacico

formazione del Monte Antola (FAN)
Torbiditi calcareo-marnose, talvolta siltose, in strati di spessore fino a metrico di calcareniti, marne e marne calcaree, alternate ad argilliti emipelagiche in strati centimetrici. Sono frequenti tracce di *Helminthoidea labyrinthica* e *Chondrites*. Oltre agli icnofossili, il contenuto paleontologico comprende foraminiferi planctonici e nannoplancton calcareo.
CAMPANIANO SUP.

argilliti di Montoggio (MGG)
Argilliti emipelagiche di colore nero e verdastro, in strati da centimetrici a decimetrici. Il tetto della formazione è caratterizzato da strati policromi, spesso rosso-vinati. Il contenuto paleontologico comprende nannoplancton calcareo.
CAMPANIANO

UNITÀ TETTONICA RONCO

formazione di Ronco (ROC, ROC_s)
Torbiditi costituite da areniti fini, siltiti marnose e argilliti, in strati da centimetrici a decimetrici. Stratificazione piano-parallela. Il contenuto paleontologico comprende nannoplancton calcareo, mal conservato.
SANTONIANO SUP. - CAMPANIANO INF.
Litofacies a strati da pluridecimetrici a metrici (ROC_s).

UNITÀ TETTONICA MONTANESI

argilliti di Montanesi (MTE, MTE_p)
Argilliti emipelagiche e argilliti siltose nere, solo raramente policrome, con intercalazioni di arenarie quarzose fini, in strati da centimetrici a pluridecimetrici, prive di contenuto paleontologico.
CRETACICO SUP.?
Litofacies a *pebbly mudstone*, con clasti angolosi di dimensioni da millimetriche a pluridecimetriche (MTE_p).

UNITÀ TETTONICA MIGNANEGO

argilliti di Mignanego (MIG)
Torbiditi siltoso arenacee medio-fini in strati da centimetrici a pluridecimetrici, talora con intercalazioni di argilloscisti neri e torbiditi marnose a base calcareo-arenacea sottile in strati da decimetrici a metrici, prive di contenuto paleontologico.
CRETACICO SUP.?

Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO

CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

(D.lgs. n. 36 / 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA

Estratto dalla “Carta geologica” del vigente PUC 2015 del Comune di Genova	**FUORI SCALA**
	ALLEGATO 5

N

SKY-S7 MOLASSANA

SKY-S6 SAN GOTTARDO

SKY-S5 GUGLIELMETTI

SKY-S4

SKY-S3 STAGLIENO

SKY-S2 PARENZO

SKY-L6

SKY-L5

SKY-L4

SKY-L2

SKY-L1 BRIGNOLE

ROMAGNOSI

LEGENDA

DATI STRUTTURALI

- Contatto stratigrafico
- Stratificazione a polarita' indeterminata
- Stratificazione
- Stratificazione orizzontale
- Stratificazione verticale
- Stratificazione rovesciata
- Fabric composito
- Fabric composito verticale
- Asse di piega
- Asse di piega di 1° fase
- Asse di piega di 2° fase
- Faglie e contatti tettonici e loro probabile prosecuzione
- Sovrascorrimento (triangolo dalla parte sovrascorsa)

FORME ANTROPICHE	RIP	Riporti artificiali e discariche Depositi vari rimaneggiati
QUATERNARIO	CD	Coltri eluvio–colluviali di importanza particolare
	DF	Ammassi detritici di falda
	AA	Sedimenti di alveo
	AM	Sedimenti alluvionali e marini Depositi ghiaiosi e sabbiosi posti a quota piu' elevata rispetto agli alvei attuali o all'attuale livello del mare. talvolta terrazzati e/o coperti da coltri eluvio–colluviali di spessore variabile
	SP	Sedimenti di spiaggia
	BPP	Brecce di San Pietro ai Prati Brecce residuali a clasti calcareo dolomitici a matrice carbonatica
DEPOSITI PLIOCENICI		
PLIOCENE	AOR	Argille di Ortovero Argille marnose, marne, siltiti e arenarie fini, di colore da grigio cinereo a grigio–azzurro a giallastro
SUCCESSIONE DEL BACINO TERZIARIO PIEMONTESE		
OLIGOCENE – EOCENE SUP.	MOR	Formazione di Molare Conglomerato eterometrico
	CRA	Brecce della Costa di Cravara Brecce poligeniche
UNITA' TETTONICA ANTOLA		
PALEOCENE – CRETACEO	CMA	Formazione del M. Antola Torbiditi calcareo–marnose,talvolta siltose, calcareniti, marne e marne calcaree, alternate ad argilliti emipelagiche
	AMO	Argilliti di Montoggio Argilliti emipelagiche di colore nero e verdastro
UNITA' TETTONICA RONCO		
SANTONIANO SUP CAMPANIANO INF.	ARO	Formazione di Ronco Torbiditi costituite da areniti fini, siltiti marnose e argilliti
UNITA' TETTONICA MONTANESI		
CRETACICO INF.	AMT	Argilliti di Montanesi Argilliti emipelagiche e argilliti siltose nere, solo raramente policrome con intercalazioni di arenarie quarzose fini
UNITA' TETTONICA MIGNANEGO		
CRETACICO INF.	AMG	Argilliti di Mignanego Torbiditi siltoso arenacee medio fini con intercalazioni di argilloscisti neri e torbiditi marnose a base calcareo–arenacea

Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO

CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

(D.lgs. n. 36 / 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA

Estratto dalla “Carta geomorfologica” del vigente PUC 2015 del Comune di Genova	**FUORI SCALA**
	ALLEGATO 6

N

MOLASSANA
SKY-S7
SKY-S6
SAN GOTTARDO
GUGLIELMETTI
SKY-S5
SKY-S4
SKY-S3
STAGLIENO
SKY-S2
PARENZO
SKY-L6
SKY-L5
ROMAGNOSI
SKY-L4
SKY-L2
SKY-L1
BRIGNOLE
TORRENTE
BISAGNO

LEGENDA

1) ALLUVIONI E SPIAGGE
- Alluvioni attuali
- Alluvioni e/o depositi di spiaggia antichi
- Alluvioni lacustri
- Spiagge attuali

2) VERSANTI IN MATERIALI SCIOLTI
- Coltri eluvio-colluviali e/o miste di spessore da 0,50 a 3 metri
- Coltri eluvio-colluviali e/o miste di spessore da 3 a 5 metri
- Coltri eluvio-colluviali e/o miste di spessore maggiore di 5 metri
- Ammassi detritici
- Depositi periglaciali

3) VERSANTI IN ROCCIA
- Roccia affiorante e/o subaffiorante in buone condizioni di conservazione con disposizione favorevole delle proprie strutture rispetto al pendio
- Roccia affiorante e/o subaffiorante in buone condizioni di conservazione con disposizione sfavorevole delle proprie strutture rispetto al pendio
- Roccia affiorante e/o subaffiorante, in scadenti condizioni di conservazione, alterata e particolarmente fratturata e/o con ricorrente variabilita' giaciturale

4) FORME ANTROPICHE
- Cave in attivita' o dismesse
- Riporti, riempimenti artificiali, discariche
- Superfici spianate di origine antropica
- Limite di ciglio di cave attive e in abbandono
- Scarpata di origine antropica

5) FORME E PROCESSI DOVUTI ALL'AZIONE DELLE ACQUE e FORME COSTIERE
- Terrazzi marini / falesie
- Ruscellamento diffuso
- Conoide di deiezione
- Erosione concentrata di fondo
- Erosione laterale
- Alvei abbandonati, sepolti, pensili
- Radici di terrazzo fluviale
- Orli di terrazzo fluviale o marino

6) FORME E PROCESSI DOVUTI ALL'AZIONE DELLA GRAVITA'
- Frane attive
- Frane quiescenti
- Frane stabilizzate e/o paleofrane
- Aree soggette a franosita' diffusa di tipo superficiale
- Deformazioni gravitative profonde di versante
- Frane di dimensioni non cartografabili
- Cigli di distacco attivi
- Cigli di distacco quiescenti
- Cigli di arretramento morfologico (trattino nella parte in erosione)
- Rotture di pendio (trattino nella parte piu' acclive)

7) FORME GLACIALI
- Valli sospese
- Crestoni limite

8) FORME E PROCESSI DI ORIGINE INCERTA
- Spianate morfologiche

Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO
CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
(D.lgs. n. 36 / 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA

Estratto dalla “Carta della zonizzazione geologica e suscettività d’uso del territorio” del vigente PUC 2015 del Comune di Genova	**FUORI SCALA**
	ALLEGATO 7

N

SKY-S7
SKY-S6
SKY-S5
SKY-S4
SKY-S3
SKY-S2
SKY-L6
SKY-L5
SKY-L4
SKY-L2
SKY-L1

MOLASSANA
SAN GOTTARDO
GUGLIELMETTI
STAGLIENO
PARENZO
ROMAGNOSI
BRIGNOLE

LEGENDA

- Zona A: Aree con suscettivita' d'uso non condizionata
- Zona B: Aree con suscettivita' d'uso parzialmente condizionata
- Zona C: Aree con suscettivita' d'uso limitata
- Zona D: Aree con suscettivita' d'uso limitata e/o condizionata all'adozione di cautele specifiche
- Zona E: Aree con suscettivita' d'uso fortemente condizionata
- Zona urbanizzata
- Limiti amministrativi: Comune e Municipi

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO
CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
(D.lgs. n. 36 / 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA

Estratto dalla “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” (MOPS) del vigente PUC 2015 del Comune di Genova	**FUORI SCALA**
	ALLEGATO 8

N

SKY-S7 MOLASSANA
SKY-S6
SKY-S5 GUGLIELMETTI
SKY-S4
SKY-S3 STAGLIENO
SKY-S2 PARENZO
SKY-L6
SKY-L5
SKY-L4
SKY-L2
SKY-L1 BRIGNOLE
ROMAGNOSI
SAN GOTTARDO

LEGENDA

ZONE STABILI

ZONA A1 — Substrato LAPIDEO NON STRATIFICATO affiorante o subaffiorante con Vs30 > 800 e con acclivita' < 15 gradi

ZONA A2 — Substrato LAPIDEO STRATIFICATO/SCISTOSO affiorante o subaffiorante con Vs30 > 800 e con acclivita' < 15 gradi

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE LOCALE

ZONA B00 — Substrato LAPIDEO NON STRATIFICATO affiorante o subaffiorante con Vs30 > 800 con acclivita' > 15 gradi (amplificazione topografica)

ZONA B01 — Substrato LAPIDEO STRATIFICATO/SCISTOSO affiorante o subaffiorante Vs30 > 800 con acclivita' > 15 gradi (amplificazione topografica)

ZONA B1 — Substrato LAPIDEO NON STRATIFICATO affiorante o subaffiorante con Vs30 < 800 per caratteristiche litostatigrafiche e/o alterazione/fratturazione
B1s – acclivita' < 15 gradi (amplificazione stratigrafica)
B1s/t – acclivita' > 15 gradi (amplificazione stratigrafica e topografica)

ZONA B2 — Substrato LAPIDEO STRATIFICATO/SCISTOSO affiorante o subaffiorante con Vs30 < 800 per caratteristiche litostatigrafiche e/o alterazione/fratturazione
B2s – acclivita' < 15 gradi (amplificazione stratigrafica)
B2s/t – acclivita' > 15 gradi (amplificazione stratigrafica e topografica)

ZONA B3 — Substrato GRANULARE CEMENTATO affiorante o subaffiorante con Vs30 < 800
B3s – acclivita' < 15 gradi (amplificazione stratigrafica)
B3s/t – acclivita' > 15 gradi (amplificazione stratigrafica e topografica)

ZONA B4 — Substrato COESIVO SOVRACONSOLIDATO affiorante o subaffiorante con Vs30 < 800
B4s – acclivita' < 15 gradi (amplificazione stratigrafica)
B4s/t – acclivita' > 15 gradi (amplificazione stratigrafica e topografica)

ZONA B5 — RIPORTI con spessore > 3 metri
B5s – acclivita' < 15 gradi (amplificazione stratigrafica)
B5s/t – acclivita' > 15 gradi (amplificazione stratigrafica e topografica)

ZONA B6 — COPERTURE DETRITICHE con spessore > 3 metri
B6s – acclivita' < 15 gradi (amplificazione stratigrafica)
B6s/t – acclivita' > 15 gradi (amplificazione stratigrafica e topografica)

ZONA B7 — SEDIMENTI ALLUVIONALI E MARINI con spessore > 3 metri
B7s – acclivita' < 15 gradi (amplificazione stratigrafica)
B7s/t – acclivita' > 15 gradi (amplificazione stratigrafica e topografica)

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'

ZONA C1 — CEDIMENTI DIFFERENZIALI
C1s – acclivita' < 15 gradi (amplificazione stratigrafica)
C1s/t – acclivita' > 15 gradi (amplificazione stratigrafica e topografica)

ZONA C2 — FRANE STABILIZZATE e/o AREE SOGGETTE A FRANOSITA' DIFFUSA
C2s – acclivita' < 15 gradi (amplificazione stratigrafica)
C2s/t – acclivita' > 15 gradi (amplificazione stratigrafica e topografica)

ZONA C3 — FRANE QUIESCENTI
C3s – acclivita' < 15 gradi (amplificazione stratigrafica)
C3s/t – acclivita' > 15 gradi (amplificazione stratigrafica e topografica)

ZONA C4 — FRANE ATTIVE
C4s – acclivita' < 15 gradi (amplificazione stratigrafica)
C4s/t – acclivita' > 15 gradi (amplificazione stratigrafica e topografica)

FAGLIE / SOVRASCORRIMENTI
alle quali sono associate zone ad elevato grado di fratturazione

FORME DI SUPERFICIE

PICCHI ISOLATI

CRINALI E CRESTE MAGGIORMENTE SIGNIFICATIVI

CIGLI DI DISTACCO

CIGLI DI CAVA ATTIVA E IN ABBANDONO

CIGLI DI ARRETRAMENTO MORFOLOGICO / ROTTURE DI PENDIO

SCARPATE ANTROPICHE

CONOIDI DI DEIEZIONE

SONDAGGI a) raggiungono il substrato b) non raggiungono il substrato

Limite Zona sismica 4 / Zona sismica 3 (triangoli verso zona 3)

Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO
CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
(D.lgs. n. 36 / 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA

Sovrapposizione tracciato su stralcio della “Carta topografica dei dintorni di Genova” rilevata dagli Ufficiali del Regio Corpo di Stato Maggiore - 1851 Archivio Studio Associato Bellini.	**FUORI SCALA**
	ALLEGATO 9

STAGLIENO

PARENZO

ROMAGNOSI

BRIGNOLE

Studio Associato Bellini
Via Galata 9/1 – 16121 Genova

MOLASSANA

SAN GOTTARDO

GUGLIELMETTI

Studio Associato Bellini
Via Galata 9/1 – 16121 Genova

Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO

CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

(D.lgs. n. 36 / 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA

Ubicazione indagini geognostiche disponibili da fonti bibliografiche	**SCALA 1:5000**
	ALLEGATO 10

1:5000

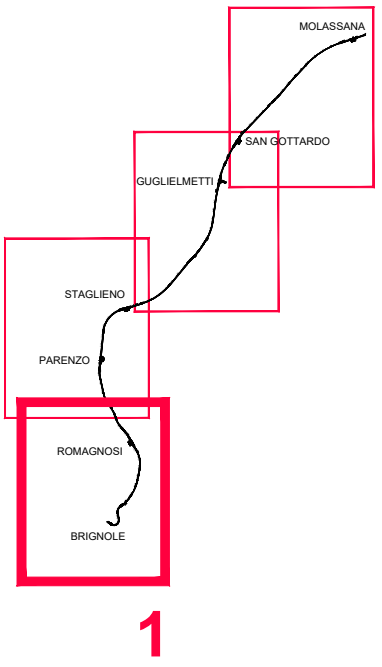
Skymetro Val Bisagno

LEGENDA

Sondaggi pregressi che hanno reperito il substrato roccioso

- S — Sondaggi banca dati Comune di Genova
- S — Sondaggi banca dati Studio Associato Bellini
- S — Sondaggi banca dati Progetto Scolmatore
- S — Sondaggi banca dati Progetto Assi di Forza-Depositi

N



1:5000

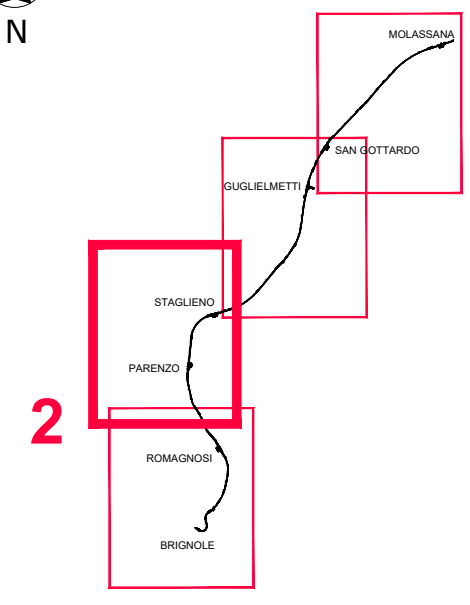
Skymetro Val Bisagno

LEGENDA

Sondaggi pregressi che hanno reperito il substrato roccioso

- S — Sondaggi banca dati Comune di Genova
- S — Sondaggi banca dati Studio Associato Bellini
- S — Sondaggi banca dati Progetto Scolmatore
- S — Sondaggi banca dati Progetto Assi di Forza-Depositi

N



1:5000

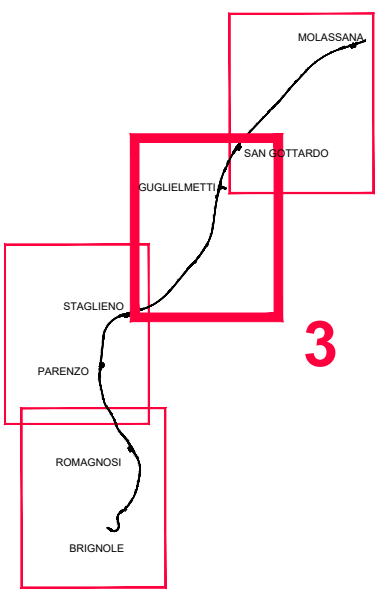
Skymetro Val Bisagno

LEGENDA

Sondaggi pregressi che hanno reperito il substrato roccioso

- S — Sondaggi banca dati Comune di Genova
- S — Sondaggi banca dati Studio Associato Bellini
- S — Sondaggi banca dati Progetto Scolmatore
- S — Sondaggi banca dati Progetto Assi di Forza-Depositi

N



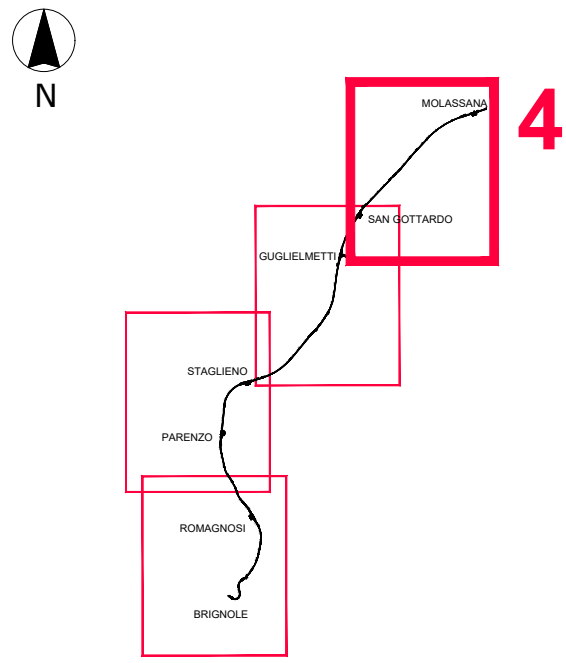
1:5000

Skymetro Val Bisagno

LEGENDA

Sondaggi pregressi che hanno reperito il substrato roccioso

- S Sondaggi banca dati Comune di Genova
- S Sondaggi banca dati Studio Associato Bellini
- S Sondaggi banca dati Progetto Scolmatore
- S Sondaggi banca dati Progetto Assi di Forza-Depositi



Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO
CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
(D.lgs. n. 36 / 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA

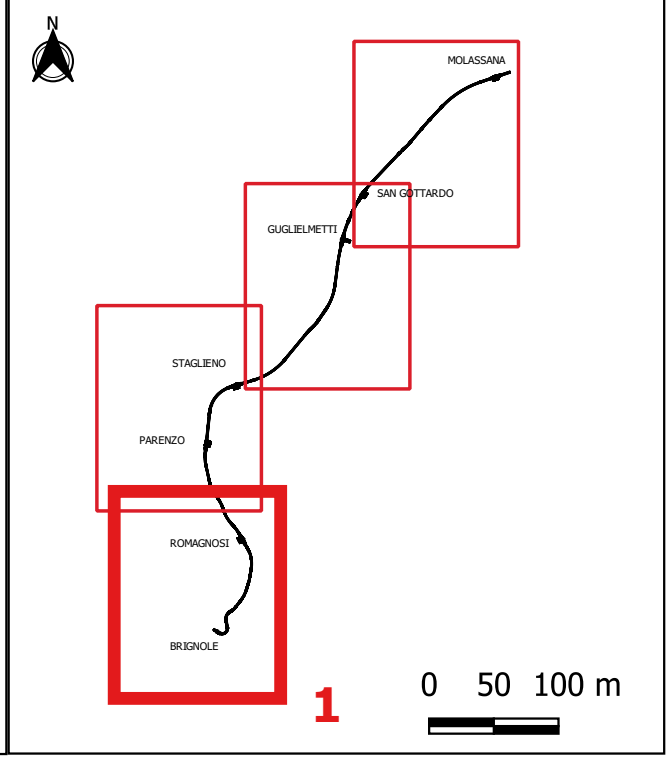
Planimetria delle indagini geognostiche e geofisiche per il Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	**SCALA 1:5000** **ALLEGATO 11**

SKY-L6 (DH)
M6
SKY-S1 (PZ)
SKY-L5
M5
SKY-L7 (DH)
ROMAGNOSI
M4
SR2
SR1
M3
SKY-L4 (PZ)
M2
SKY-L2 (DH)
SKY-L3 (PZ)
M1
SKY-L1 (PZ)
BRIGNOLE
SCALA 1:5000

Skymetro Val Bisagno - Campagna indagini 2023

LEGENDA

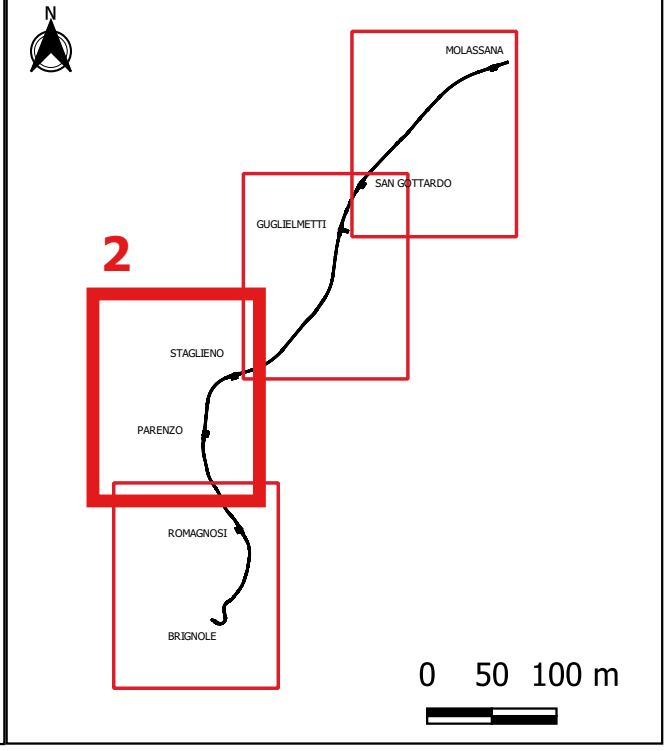
- SKY-L1 — Sondaggi geognostici
  (PZ = foro attrezzato con piezometro)
  (DH = foro attrezzato con tubo per prova down hole)
- M4 — Masw, Remi, HVSR
- SR1 — Stendimento di sismica a rifrazione in onde P/S
- Tracciato Skymetro e relative stazioni



Skymetro Val Bisagno - Campagna indagini 2023

LEGENDA

- SKY-L1 — Sondaggi geognostici
  (PZ = foro attrezzato con piezometro)
  (DH = foro attrezzato con tubo per prova down hole)
- M4 — Masw, Remi, HVSR
- SR1 — Stendimento di sismica a rifrazione in onde P/S
- Tracciato Skymetro e relative stazioni



SKY-L13 (PZ)

SAN GOTTARDO

SKY-L12 (DH)

GUGLIELMETTI

M10

SKY-S5 (PZ)

SKY-L20 (PZ)

SR4

SKY-S4 (PZ)

M9-Adriatico

CADALE

PRELI

SAN SEBASTIANO

MATTATOIO MUNICIPALE

CHIAPPA

CASE SOLARI

BISAGNO

AUTOPARCO A.M.T.

GAVA

GAVETTE

VIADOTTO BISAGNO

TERPI

MONTESIGNANO

CARREGA

GAMBARO

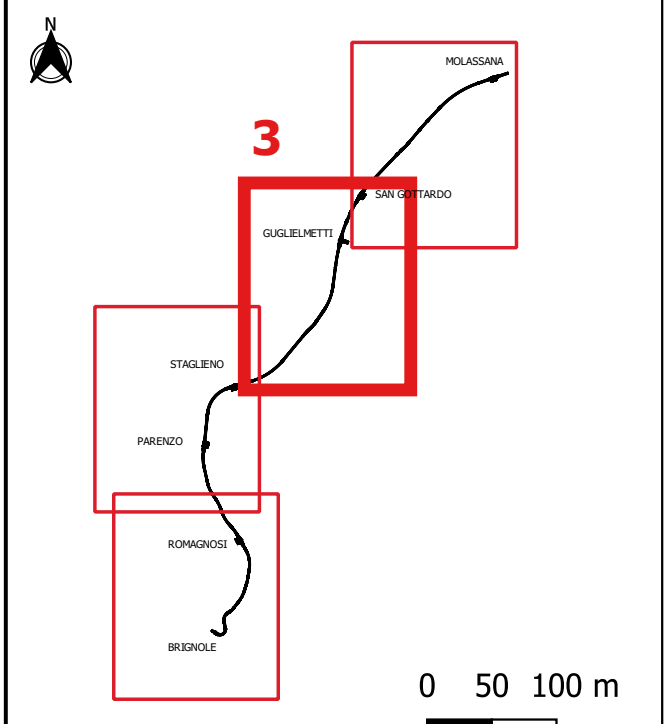
Acquedotto Valle Noci

SCALA 1:5000

Skymetro Val Bisagno - Campagna indagini 2023

LEGENDA

- SKY-L1 — Sondaggi geognostici
  (PZ = foro attrezzato con piezometro)
  (DH = foro attrezzato con tubo per prova down hole)
- M4 — Masw, Remi, HVSR
- SR1 — Stendimento di sismica a rifrazione in onde P/S
- Tracciato Skymetro e relative stazioni



MOLASSANA

SKY-S7 (PZ)

M12

SKY-L17 (PZ)

SKY-L16 (DH)

MOLASSANA

SKY-L18 (PZ)

SKY-L15 (PZ)

SR5

SKY-S6 (PZ)

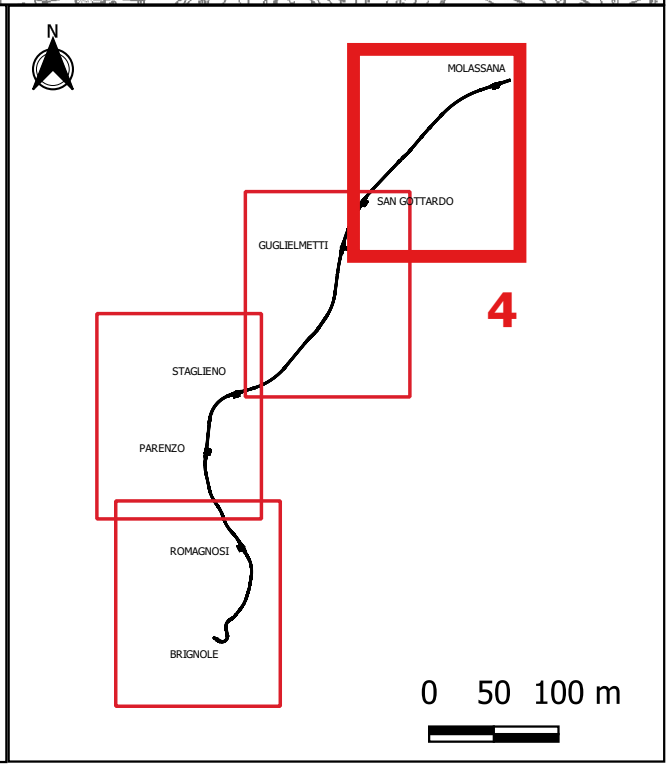
M11

SCALA 1:5000

Skymetro Val Bisagno - Campagna indagini 2023

LEGENDA

- SKY-L1 — Sondaggi geognostici
  (PZ = foro attrezzato con piezometro)
  (DH = foro attrezzato con tubo per prova down hole)
- M4 — Masw, Remi, HVSR
- SR1 — Stendimento di sismica a rifrazione in onde P/S
- Tracciato Skymetro e relative stazioni



Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO
CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
(D.lgs. n. 36 / 2023)

RELAZIONE GEOLOGICA

Carta della profondità del substrato roccioso lungo il tracciato	**SCALA 1:5000**
	ALLEGATO 12

1:5000

Skymetro Val Bisagno

LEGENDA

Profondità substrato roccioso da piano stradale

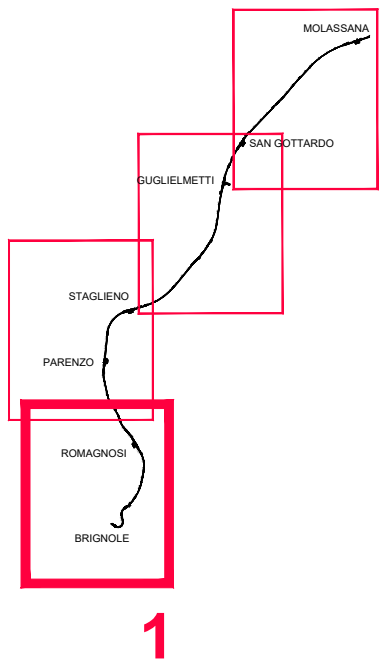
- SUBSTRATO ROCCIOSO 5-10 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 10-15 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 15-20 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 20-25 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 25-30 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 30-35 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO > 35 m

● **SKY** Sondaggi geognostici (campagna indagini 2023)

Sondaggi pregressi che hanno reperito il substrato roccioso

- S Sondaggi banca dati Comune di Genova
- S Sondaggi banca dati Studio Associato Bellini
- S Sondaggi banca dati Progetto Scolmatore
- S Sondaggi banca dati Progetto Assi di Forza-Depositi

N



1:5000

Skymetro Val Bisagno

LEGENDA

Profondità substrato roccioso da piano stradale

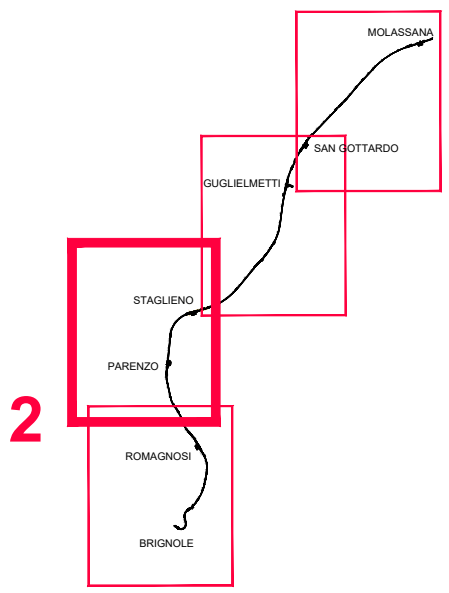
- SUBSTRATO ROCCIOSO 5-10 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 10-15 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 15-20 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 20-25 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 25-30 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 30-35 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO > 35 m

● **SKY** Sondaggi geognostici (campagna indagini 2023)

Sondaggi pregressi che hanno reperito il substrato roccioso

- S Sondaggi banca dati Comune di Genova
- S Sondaggi banca dati Studio Associato Bellini
- S Sondaggi banca dati Progetto Scolmatore
- S Sondaggi banca dati Progetto Assi di Forza-Depositi

N



1:5000

Skymetro Val Bisagno

LEGENDA

Profondità substrato roccioso da piano stradale

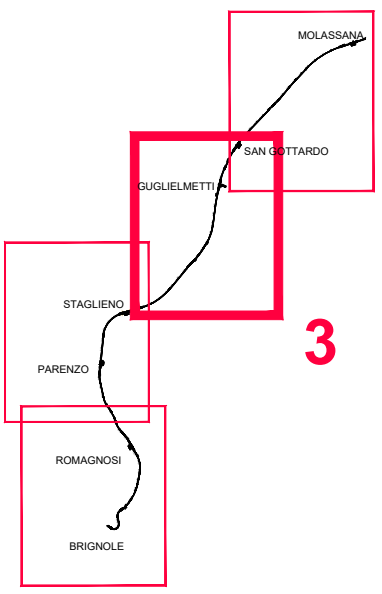
- SUBSTRATO ROCCIOSO 5-10 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 10-15 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 15-20 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 20-25 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 25-30 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 30-35 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO > 35 m

● **SKY** Sondaggi geognostici (campagna indagini 2023)

Sondaggi pregressi che hanno reperito il substrato roccioso

- S Sondaggi banca dati Comune di Genova
- S Sondaggi banca dati Studio Associato Bellini
- S Sondaggi banca dati Progetto Scolmatore
- S Sondaggi banca dati Progetto Assi di Forza-Depositi

N



1:5000

Skymetro Val Bisagno

LEGENDA

Profondità substrato roccioso da piano stradale

- SUBSTRATO ROCCIOSO 5-10 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 10-15 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 15-20 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 20-25 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 25-30 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO 30-35 m
- SUBSTRATO ROCCIOSO > 35 m

SKY Sondaggi geognostici (campagna indagini 2023)

Sondaggi pregressi che hanno reperito il substrato roccioso

- S Sondaggi banca dati Comune di Genova
- S Sondaggi banca dati Studio Associato Bellini
- S Sondaggi banca dati Progetto Scolmatore
- S Sondaggi banca dati Progetto Assi di Forza-Depositi

N

