1	09/2018	REVISIONE	PENNINO	PENNINO	CASSANI
0	11/2017	PRIMA EMISSIONE	PENNINO	PENNINO	CASSANI
Revisione	**Data**	**Oggetto revisione**	**Redatto**	**Verificato**	**Approvato**

REGIONE LIGURIA

#ItaliaSicura
Presidenza del Consiglio dei Ministri

COMUNE DI GENOVA

PIANO STRALCIO PER LE AREE METROPOLITANE E LE AREE URBANE CON ALTO LIVELLO DI POPOLAZIONE ESPOSTA AL RISCHIO DI ALLUVIONI

Presidenza del Consiglio dei Ministri

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
COMMISSARIO STRAORDINARIO
delegato per l'attuazione degli interventi inseriti nell'A.d.P. del 16.09.2010 e ss.ii.
(ex art. 10 del D.L. n. 91 del 24.06.2014)

Commissario straordinario

Dott. Giovanni TOTI

PROGETTISTI

CAPOGRUPPO MANDATARIA:

Rocksoil S.p.A.
CONSULENZA E ASSISTENZA TECNICA
nel campo della GEOINGEGNERIA

MANDANTI:

art ambiente risorse territorio

HYDRODATA INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE

Ing. Mario CANGIANO

Ing. Paolo GALLO

Ing. Francesco DE SANCTIS

Dott.ssa Francesca GIOMI

RESPONSABILE STRUTTURA COMMISSARIALE — **Ing. Luca BERRUTI**

RESPONSABILE UNICO PROCEDIMENTO — **Ing. Stefano PINASCO**

Progettista responsabile integrazioni prestazioni specialistiche e Direttore Tecnico della mandataria.
Rocksoil S.p.A.
Ing. Giovanna Cassani
Ord. Ingg. Milano N° 20997



Progettista/Geologo specialista responsabile elaborato
Rocksoil S.p.A.
Dott. Geol. Fiorenza Pennino
Ord. Reg. Geologi Lombardia N°1575 AP - sezione A



Intervento/Opera

SECONDO LOTTO DEI LAVORI RELATIVI ALLA REALIZZAZIONE DELLA GALLERIA SCOLMATRICE DEL TORRENTE BISAGNO IN COMUNE DI GENOVA

PROGETTO ESECUTIVO

N° Progr. ----

Codice elaborato: BIS2E - R - SDB01 - RE02 - 1

Oggetto della tavola

STUDI DI BASE

IDROGEOLOGIA

Relazione idrogeologica generale

Scala: -

Data: 14 SETT. 2018

Codice FILE: BIS2E-R-SDB01-RE02-1

I DISEGNI E LE INFORMAZIONI IN ESSI CONTENUTE SONO PROPRIETA' ESCLUSIVA DELLA STRUTTURA COMMISSARIALE E NON POSSONO ESSERE MODIFICATI, RIPRODOTTI, RESI PUBBLICI O UTILIZZATI PER USI DIFFERENTI DA QUELLI PER CUI SONO STATI REDATTI, SALVO AUTORIZZAZIONE SCRITTA.

INDICE

1. INTRODUZIONE 2
2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO 3
2.1. Progetto preliminare e Progetto Definitivo 3
2.2. Progetto definitivo ed esecutivo del canale deviatore Fereggiano 3
2.3. Progetto definitivo ed esecutivo del canale deviatore Fereggiano 4
3. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO 8
3.1. Layout generale degli interventi 8
3.2. Finestra di servizio ed opere di imbocco 10
3.3. Camerone di montaggio TBM e camera di lancio 15
3.4. Galleria Scolmatrice – scavo in tradizionale (tratta a monte camerone) 17
3.5. Galleria Scolmatrice – Scavo in meccanizzato 19
4. PIEZOMETRI POZZI E SORGENTI 22
4.1. Piezometri 22
4.2. Sorgenti e pozzi 24
4.3. SORGENTI 25
4.4. POZZI 25
4.5. INTEGRAZIONI AL SIA RICHIESTE DALL'UFFICIO VIA DELLA REGIONE LIGURIA (Lettera Prot. 48(170851) del 15.12.2006) 28
5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 29
6. PROFILO PIEZOMETRICO – PERMEABILITA' DELLA ROCCIA 34
6.1. Profilo piezometrico 34
6.2. Permeabilità della roccia 35
7. VALUTAZIONE IDROGEOLOGICA IN CORSO D'OPERA 40
8. VALUTAZIONE IDROGEOLOGICA IN ESERCIZIO 41
8.1. Note introduttive 41
8.2. Finestra di servizio 41
8.3. Galleria scolmatrice – tratta scavata con metodo tradizionale a monte del camerone di montaggio TBM41
8.4. Galleria scolmatrice – tratta scavata con sistema meccanizzato 42
8.5. Stima delle portate stabilizzate nelle condizioni di esercizio dell'opera 43
8.6. Recapito finale delle acque d'infiltrazione e gestione presso utenze concessionari spiaggia San Giuliano43
9. MONITORAGGIO 44
10. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 45
ALLEGATO 46

1. INTRODUZIONE

Oggetto della presente nota è la valutazione e descrizione delle principali caratteristiche idrogeologiche dei terreni presenti lungo l'asse di progetto.

In base alle informazioni ricavate verranno valutati gli effetti prodotti dalle opere in sotterraneo sull'assetto idrogeologico del territorio attraversato.

Per quanto concerne l'analisi degli aspetti idrogeologici, si rimanda in larga parte a quanto definitivo in PD, in quanto non sono emersi nuovi dati o novità durante questa fase di studio.

Si sottolinea, comunque l'importanza di un piano di monitoraggio idrogeologico che preveda il monitoraggio delle portate drenate in avanzamento dalla galleria, il monitoraggio dei pozzi per acqua censiti nell'intorno dell'opera, da realizzarsi d'intesa con gli enti gestori della risorsa idrica e il monitoraggio del livello piezometrico lungo lo sviluppo della galleria.

Per quanto attiene il livello piezometrico (monitoraggio dei livelli piezometrici lungo la galleria) saranno utilizzati i piezometri installati in sede di progettazione definitiva nei fori di sondaggio e rappresentati nelle carte geologica ed idrogeologica di Progetto, con l'aggiunta dei fori dei sondaggi profondi eseguiti per il PE del canale deviatore Fereggiano (S1ES, S2ES, S6ES e S7ES).

Attualmente, in mancanza di dati piezometrici aggiornati, rimangono sostanzialmente valide le risultanze emerse nel Progetto Definitivo, così come le caratteristiche idrogeologiche dell'ammasso roccioso lungo il tracciato.

L'unico dato piezometrico integrativo è riscontrato in corrispondenza delle opere di monte, area in cui è stato installato il piezometro SEB2bis a partire da ottobre 2017.

2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

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

- progetto preliminare e definitivo dell'opera in oggetto
- progetto definitivo ed esecutivo del deviatore del torrente Fereggiano
- dati ottenuti in fase di scavo dal canale deviatore Fereggiano
- altri progetti minori.

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

2.1. Progetto preliminare e Progetto Definitivo

In sintesi l'analisi dei due progetti riporta negli elaborati il seguente inquadramento geologico:

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

La galleria si sviluppa per la maggior parte del tracciato nel Flysch di Monte Antola, attraversato da faglie in corrispondenza delle quali si prevede la presenza di materiale intensamente fratturato. Le argille di Ortovero sono previste per un'estensione di circa 350 m nell'attraversamento di una "fossa tettonica" (graben di Terralba) posta in corrispondenza dell'Ospedale di San Martino. Nella stessa area, ed in particolare sulla verticale del Forte di San Martino, è previsto l'attraversamento di una limitata tratta (circa 50-60 m) entro le Argilliti di Montoggio.

In fase di Progetto Definitivo è stata eseguita una campagna di indagini costituita da:

- Rilievi geologici e geostrutturali di superficie
- N. 8 sondaggi a carotaggio continuo di profondità variabile tra un minimo di 23 m ed un massimo di 90 m; tutti i sondaggi sono stati attrezzati con piezometro a tuo aperto
- Nel corso dei sondaggi sono state eseguite prove in situ (permeabilità e dilatometriche) e prove geotecniche e geomeccaniche di laboratorio per la caratterizzazione degli ammassi rocciosi interessati dagli scavi.
- Una serie di traverse sismiche a rifrazione lato sbocco a mare

Nel complesso la documentazione relativa al progetto definitivo risulta, dal punto di vista geologico, sufficientemente dettagliata in relazione al livello progettuale richiesto. Questa consente un primo inquadramento ed approccio alla conoscenza del territorio ed evidenzia l'assenza di vincoli di natura geologica all'esecuzione dell'opera.

2.2. Progetto definitivo ed esecutivo del canale deviatore Fereggiano

Il progetto del deviatore del Torrente Fereggiano è stato redatto da Italstrade S.p.A. nel febbraio 1989. Dalla documentazione di progetto, e dal confronto fra questa ed i rilievi condotti in sito ed al fronte di scavo in fase di avanzamento, si evince un inquadramento geologico generale che, almeno per le tratte attraversate, è risultato in accordo con quanto emerso dalla campagna d'indagine. La parte scavata si sviluppa interamente entro il Flysch di Monte Antola variamente fratturato.

Le indagini eseguite per il Fereggiano, complice anche la vicinanza fra quest'opera e la galleria del Bisagno, si sono dimostrate particolarmente utili per caratterizzare l'ammasso nella tratta compresa fra

l'Ospedale di San Martino e lo sbocco a mare.

Per il canale Fereggiano sono stati realizzati n. 6 sondaggi sondaggi in fase di PD (serie SF..) e n. 8 sondaggi realizzati per il PE (serie S.ES).

Oltre alle stratigrafie dei sondaggi sono disponibili le prove in situ, le prove di laboratorio, misure del livello della falda, prove di permeabilità, ed infine una serie di rilievi del fronte di scavo.

2.3. Progetto definitivo ed esecutivo del canale deviatore Fereggiano

Sono infine stati analizzati una serie di dati disponibili riferita a progetti pubblici e privati, generalmente di modesta entità, effettuati nelle aree d'interesse progettuale e reperiti nella banca dati del Comune di Genova. Nel complesso i dati geologici e stratigrafici disponibili sono relativi a perforazioni aventi lunghezza molto modesta (10 – 20 m) in relazione alla profondità della galleria in quanto generalmente finalizzati a progetti di tipo residenziale. Si tratta inoltre di terebrazioni aventi essenzialmente valore geognostico spesso non corredate da prove in sito o su campioni.

A livello generale si dimostrano comunque una ricca fonte di informazioni visto che permettono, in quasi tutti i casi, di ricondurre le litologie attraversate alle relative unità di appartenenza (depositi superficiali, Argille di Ortovero, Flysch di Monte Antola, Argilliti di Montoggio). In particolare le stratigrafie esaminate rappresentano un valido supporto all'inquadramento generale delle aree, confermano i dati disponibili e quelli acquisiti sull'assetto stratigrafico e tettonico del graben di Terralba, forniscono ulteriore conferma circa la presenza delle Argilliti di Montoggio nella zona del Rio Mermi e rappresentano una preziosa fonte d'informazioni per quanto attiene l'area in prossimità dell'opera di presa. Qui in particolare, attraverso i dati reperiti, è stato possibile affinare le conoscenze acquisite e meglio tarare l'indagine sismica eseguita.

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

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

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

4277/S7	523.78	44	8	Progetto di impermeabilizzazione superficie	Calcare marnoso	115.22	Flysch di M. Antola
119/S1	794.82				Marna calcarea e calcare marnoso		Flysch di M. Antola
119/S2	795.79				Marna calcarea e calcare marnoso		Flysch di M. Antola
119/S3	802.40				Marna calcarea e calcare marnoso		Flysch di M. Antola
119/S4	836.73				Marna calcarea e calcare marnoso		Flysch di M. Antola
4276/S3	1056.68	44.6	11.50	Edilizia privata	Limo argilloso	81.59	Depositi Superficiali
4276/S2	1125.88	48.5	10.50	Edilizia privata	Limo argilloso	155.66	Depositi Superficiali
4276/S1	1173.06	50.5	10.50	Edilizia privata	Limo argilloso	185.19	Depositi Superficiali
154/S1	1218.13	54.0	12.80	Edilizia privata	Marna argillosa, calcare deb. marnoso	318.99	Flysch di M. Antola
171/S1	1223.26	57	8	Edilizia privata	Calcare marnoso	29.50	Flysch di M. Antola
154/S3	1234.28	54.1	15.3	Edilizia privata	Argilla limosa marnosa, Marna calcarea, calcare deb. marnoso	291.84	Flysch di M. Antola
154/S2	1237.86	54	14	Edilizia privata	Argilla limosa marnosa, Marna calcarea, calcare deb. marnoso	313.25	Flysch di M. Antola
171/S2	1241.08	59	8.2	Edilizia privata	Calcare marnose	32.15	Flysch di M. Antola
94/S1C-S2C	1939.64	52	8.3 / 10,10	Edilizia privata	Calcare marnoso	145.40	Flysch di M. Antola
3110/S1	2065.46		22.5		Marna e limo argillo-sabbioso		Argille di Ortovero
3110/S2	2090		22.5		Marna e limo argillo-sabbioso		Argille di Ortovero
3121/S1	2117.21	57	8	Collegamento stradale tra via Marsano e Manlasco	Marna	227.04	Argille di Ortovero
94/S3	2300		10.1		Calcare marnoso		Flysch di M. Antola
94/S2	2270		10		Calcare marnoso		Flysch di M. Antola
3121/SS1	2320	57.30	13	Collegamento stradale tra via Marsano e Manlasco	Marna	226.45	Argille di Ortovero
3121/S3	2400		10.50		Riporto		Depositi antropici
3121/SS3	2440		10		Riporto		Depositi antropici
3121/S4	2560		11.50		Riporto		Depositi antropici
3121/S5	2500		12.00		Riporto		Depositi antropici
3121/S6	2520		12.20		Riporto		Depositi antropici
3121/S7	2530		13.00		Riporto		Depositi antropici
3372/S12	2550	78.6	15.00	Indagini per Ospedale	Argilla limosa, marna calcarea, calcare	75.85	Flysch di M. Antola

				S. Martino	marnoso		
3372/S8	2550	81	10.00	Indagini per Ospedale S. Martino	Argilla marnosa, calcare marnoso, marna calcarea	60.71	Flysch di M. Antola
3372/S9	2570	81	13.10	Indagini per Ospedale S. Martino	Argilla limosa, calcare marnoso, argillite	77.93	Flysch di M. Antola
3372/S4	2560	89.2	15.00	Indagini per Ospedale S. Martino	Calcare marnoso, marna calcarea,	59.60	Flysch di M. Antola
3372/S6	2570	85	10.00	Indagini per Ospedale S. Martino	Calcare marnoso	48.63	Flysch di M. Antola
3372/S14	2580	89.2	7.00	Indagini per Ospedale S. Martino	Marna calcarea	61.33	Flysch di M. Antola
3372/S3	2570	83.3	15	Indagini per Ospedale S. Martino	Calcare marnoso, marna calcarea, argillite	85.52	Flysch di M. Antola
3372/S7	2600	87	15	Indagini per Ospedale S. Martino	Marna calcarea, calcare marnoso, argillite	88.18	Flysch di M. Antola
3372/S10bis	2620	89	2	Indagini per Ospedale S. Martino	Calcare marnoso		Flysch di M. Antola
168/S2	2770	62	13	Edilizia privata	Calcari marnosi	70.96	Flysch di M. Antola
168/S1	2780	68	13	Edilizia privata	Calcari marnosi	86.31	Flysch di M. Antola
3195/S3	2830	107.16	15	Edilizia privata	Calcari marnosi	216.20	Flysch di M. Antola
3195/S1	2835	109.15	15	Edilizia privata	Calcari marnosi	232.04	Flysch di M. Antola
3195/S2	2850	110.89	15	Edilizia privata	Calcari marnosi	247.74	Flysch di M. Antola
3092/S30	3970	145	20		Argilla limosa, calcari marnosi	64.22	Flysch di M. Antola
3092/S37	3980	151	20		Argilla limosa, calcari marnosi	49.79	Flysch di M. Antola
3079/S6	4040	130			Calcare marnoso		Flysch di M. Antola
3092/S39	4030	140	25		Argilla limosa, calcari marnosi	72.35	Flysch di M. Antola
3079/S7	4045	163.9			Calcare marnoso		Flysch di M. Antola
3216/S4	4020	29					
3216/S2	4025	36.50	10		Alternanze livelli argillitici e calcarei	141.16	Flysch di M. Antola
3216/S3	4030	37.00	10		Calcare marnoso	162.99	Flysch di M. Antola
3216/S1	4050	37.50	11		Calcare marnoso	146.87	Flysch di M. Antola
3070/S2	5360	90.00	20.20		Argillite	322.61	Argilliti di Montoggio
3070/S1	5370	90.00	20.00		Argillite	296.89	Argilliti di Montoggio
3249/S1	5380	64.23	10.00		Argillite	180.17	Argilliti di Montoggio
3249/S2	5390	76.48	8.70		Argillite	169.07	Argilliti di Montoggio
3249/S3	5400	77.48	10.00		Argillite		Argilliti di Montoggio
32497S4	5420	81.40	10.00		Argillite		Argilliti di Montoggio

3249/S5	5430	85.95	10.00		Argillite		Argilliti di Montoggio
3249/S7	5440	87.71	10.00		Argillite		Argilliti di Montoggio
3249/S6	5450	93.78	10.00		Argillite	216.05	Argilliti di Montoggio
3012/S1	5690	178.90	15		Calcare marnoso	111.46	Flysch di M. Antola
3012/S2	5750	154.80	15		Calcare marnoso	74.11	Flysch di M. Antola
3275/S2	5740	127	14		Argillite		Argilliti di Montoggio
3012/S3	5770	163.20	15		Calcare marnoso	35.86	Flysch di M. Antola
3275/S18	5770	139	15		Calcare marnoso e argilla		Flysch di M. Antola
3275/S1	5780	131	14		Argillite		Argilliti di Montoggio
3169/S5	5860	75	20		Calcare grigio fratturato		Flysch di M. Antola
3169/S4	5880	74	20		Calcare grigio fratturato		Flysch di M. Antola
3169/S3	5900	73.2	15		Calcare grigio fratturato		Flysch di M. Antola
3169/S1	5940	75	20		Calcare grigio fratturato		Flysch di M. Antola
3169/S2	5950	74	15		Calcare grigio fratturato		Flysch di M. Antola
3007/S17	6600	44.70	20		Calcare marnoso		Flysch di M. Antola
3007/S15	6605	44.20	20		Coltre detritica		Depositi Superficiali
3007/S16	6605	55.90	20		Calcare marnoso e arenaceo		Flysch di M. Antola
3007/S25	6630	52.00	30		Calcare marnoso e arenaceo		Flysch di M. Antola
3088/S2	6506.94	45.93	21		Calcare arenaceo		Flysch di M. Antola
3007/S19	6630	46.00	21		Calcare arenaceo		Flysch di M. Antola
3007/S24	6650	44.00	20		Calcare arenaceo fratturato		Flysch di M. Antola
3007/S21	6640	40.80	20		Ghiaia con matrice limosa		Depositi Superficiali
3007/S23	6660	44.00	20		Ghiaia con matrice limosa		Depositi Superficiali
3088/S3	6670	44.35	30		Calcare arenaceo		Depositi Superficiali
3007/S22	6670	44.20	20		Ghiaia con matrice limosa		Depositi Superficiali
3007/S18	6660	48.90	30		Calcare arenaceo		Flysch di M. Antola
3088/S1	6655	44.29	30		Calcare arenaceo		Flysch di M. Antola
3007/S20	6680	43.70	30		Calcare arenaceo fratturato		Flysch di M. Antola
3104/S2	6725	40.20	20		Ghiaia		Depositi Superficiali
3104/S3	6730	38.50	20		Ghiaia		Depositi Superficiali
3104/S1	6770	43.80	20		Ghiaia		Depositi Superficiali
3223/S2	6800				Ghiaia e argilla		Depositi Superficiali
3223/S1	6800	43.6			Ghiaia e argilla		Depositi Superficiali

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

3. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

Lo scolmatore del Bisagno si compone delle seguenti parti:

- opera di presa sul Torrente Bisagno, ubicata in sinistra idrografica tra il ponte Ugo Gallo e la passerella pedonale.
- galleria di adduzione delle acque di piena lunga 6.600 m circa,
- n° 1 gallerie di servizio
- opera di scarico a mare, posta a sud del Forte di San Giuliano e dimensionata in maniera tale da mantenere la fruibilità della costa nel tratto attraversato dalla galleria.

3.1. Layout generale degli interventi

L'impianto progettuale prevede che la galleria Scolmatrice sia scavata per la maggior parte con sistema meccanizzato, impiegando una TBM da roccia di tipo aperto.

Lo stato dei luoghi (limitatezza delle aree disponibili nel contesto densamente urbanizzato), unitamente alle necessità costruttive (allineamento del tracciato) ed alle esigenze strettamente connesse alla logistica di cantiere per l'assemblaggio della fresa hanno determinato la scelta di collocare in sotterraneo gli spazi adibiti all'assemblaggio stesso. In particolare si è reso necessario prevedere un camerone di montaggio posizionato lungo il tracciato della galleria Scolmatrice la cui posizione consentisse di massimizzare il tratto di galleria sul quale avanzare appunto con lo scavo meccanizzato. Tale presupposto ha pertanto dettato l'individuazione del tracciato della Finestra di servizio tramite la quale accedere dall'area di cantiere ubicata presso l'ex- canile comunale al camerone medesimo: la scelta dell'allineamento della finestra ha assecondato altresì le ovvie esigenze legate alla limitazione dello sviluppo dello scavo in tradizionale (in ragione di una riduzione dei tempi e dei costi di realizzazione) nonché la necessità di seguire il corridoio di passaggio preferenziale individuato in corrispondenza dell'edificio scolastico di Via Terpi. La Finestra di servizio presenta pertanto uno sviluppo pari a m 368, sino all'attacco dello scavo del camerone di montaggio TBM.

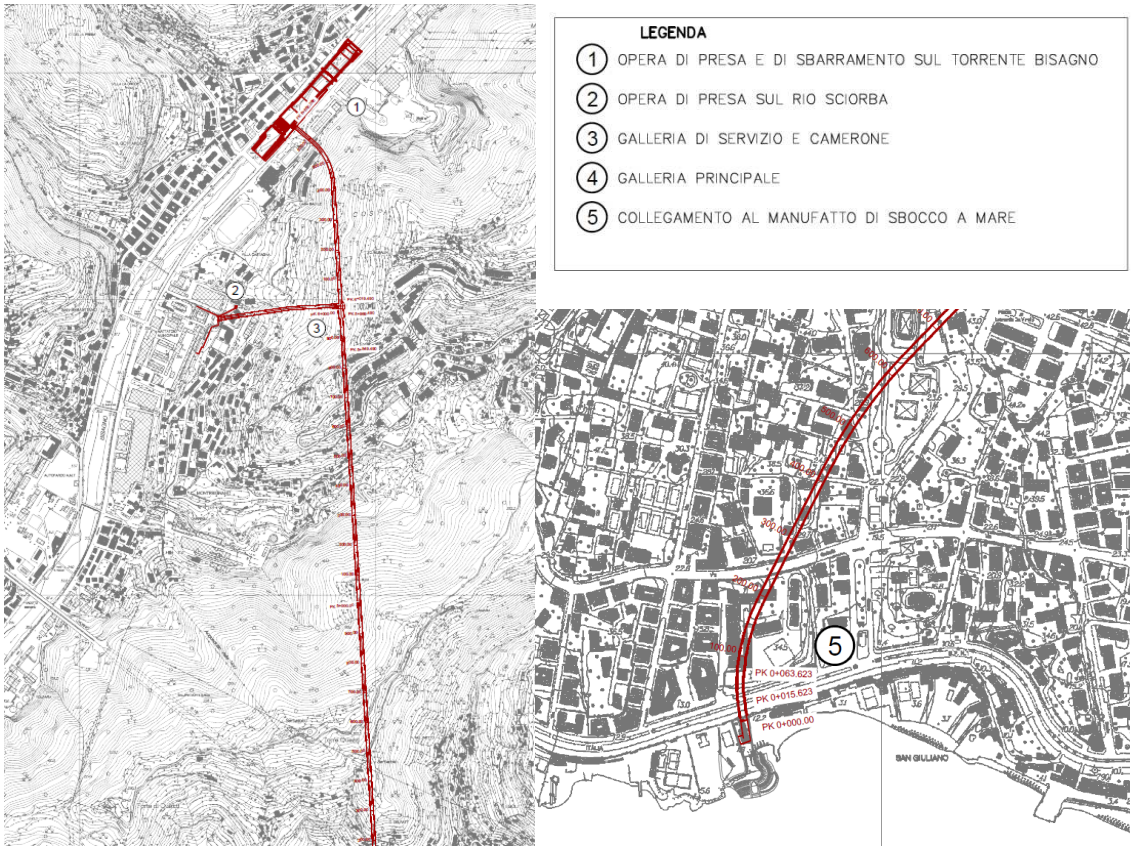


Figura 1 – Inquadramento generale dell'intervento

Le geometrie del camerone di montaggio sono state definite congruentemente con l'esigenza di disporre di idonei spazi e volumi per l'assemblaggio della fresa; è prevista in particolare l'installazione di un carroponte di ingombro trasversale prossimo ai 17.00 m ed altezza nell'ordine dei 16.00-17.00 m. Il lancio della fresa, ad assemblaggio effettuato, richiede l'apprestamento di un tratto di galleria di lunghezza sufficiente ad ospitare il corpo macchina e la serie dei carri di back-up (allestimento con sviluppo complessivo pari a 130-140 m): è stata pertanto prevista la realizzazione con metodo tradizionale di scavo della cosiddetta camera di lancio, per una estensione di 120 m dalla parete sud del camerone di montaggio.

Dal camerone sarà avviato lo scavo del tratto di galleria Scolmatrice sino allo sbocco sul Bisagno (ovvero la cosiddetta tratta di monte), per uno sviluppo complessivo di m 650 circa. Lo scavo in roccia avverrà con metodo tradizionale e prevalente ricorso ad esplosivo, salvo l'applicazione del metodo di scavo denominato SUPERWEDGE nella tratta a più basse coperture in corrispondenza di via Merello; tale metodologia operativa, basata sul principio del cuneo spaccaroccia, è stata specificatamente sviluppata per la demolizione di roccia con minimizzazione delle problematiche connesse all'emissione di rumore, vibrazione e polveri (dinamica di abbattimento basata sull'inserimento di cunei in fori con la conseguente formazione di fratture). Il settore terminale della galleria lungo Via Merello, l'innesto di quest'ultima su Via Adamoli, compreso il sotto attraversamento della stessa Via Adamoli, sarà scavato entro i riporti antropici soprastanti la coltre detritico-alluvionale in posto: lo scavo avanzerà pertanto, mediate mezzi meccanici ordinari, ricorrendo a sezioni tipo caratterizzate da importanti interventi di consolidamento /preconsolidamento e presostegno del cavo, in considerazione del modesto ricoprimento e della presenza della viabilità di superficie. L'abbattimento dell'ultimo diaframma sulla vasca di dissipazione avverrà ad ultimazione delle lavorazioni su tutto lo sviluppo della galleria Scolmatrice fino a mare (incluso la tratta scavata con fresa), eliminando in tale maniera qualsiasi fattore di rischio indotto dalla potenziale connessione idraulica del cantiere in sotterraneo con l'alveo del Bisagno.

Lo scavo con fresa TBM si svilupperà per m 5785 dalla testata della camera di lancio per innestarsi sul breve tratto di galleria scavato con metodo tradizionale, da mare, al di sotto di C.so Italia e del Forte San Giuliano. Quest'ultimo settore si estende per m 50 ca; la scelta progettuale di intervenire con tecnica tradizionale di scavo è discesa dalla delicatezza del contesto, caratterizzato da modestissime coperture in corrispondenza dell'asse stradale di C.So Italia e del Forte San Giuliano, unitamente alla constatazione delle specifiche condizioni geomeccaniche dell'ammasso interessato dallo scavo nonché della natura dei materiali di riporto sotto il sedime di C.so Italia. Sono state infatti previste sezioni di avanzamento caratterizzate da interventi di consolidamento e preconsolidamento/presostegno al contorno ed al fronte, molto più efficacemente attuabili con metodo di scavo tradizionale piuttosto che con sistema meccanizzato.

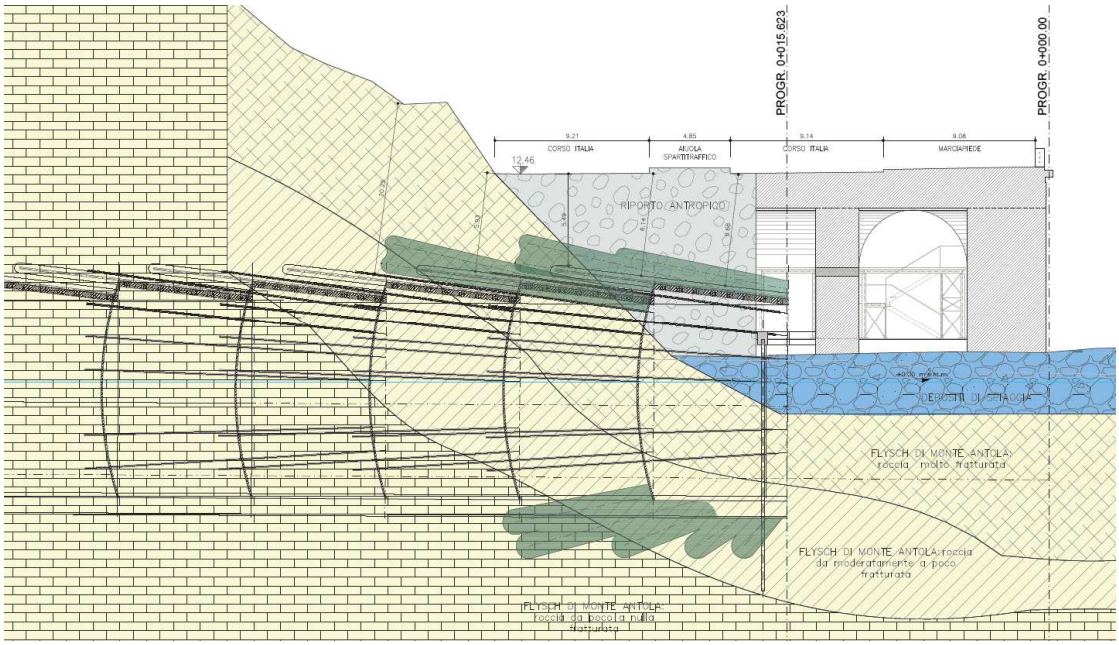


Figura 2 – Profilo longitudinale scavo in tradizionale galleria scolmatrice – tratta a mare (sotto attraversamento Corso Italia)

3.2. Finestra di servizio ed opere di imbocco

L'imbocco della Finestra di Servizio è collocato presso l'ex area canile municipale; tale area è stata individuata dalla committenza come zona di accantieramento principale per la realizzazione di tutte le opere in sotterraneo. Allo stato attuale (ante operam) il sito presenta una morfologia parzialmente pianeggiante (settore inferiore occupato dai fabbricati dell'ex canile), con zona terrazzata superiore destinata a deposito materiali (Aster Genova); verso monte si estende la scarpata naturale parzialmente ricoperta da riporto antropico (come risultato dalle indagini geognostiche condotte in posto nell'ambito della presente fase di redazione del PE) sulla quale si impostano le opere di contenimento dei terrapieni sui quali si è sviluppata la soprastante urbanizzazione di Via Terpi (in particolare l'edificio scolastico di Via Terpi 24 e la parrocchia di San Michele Arcangelo. Vanno segnalati in questa sede gli aspetti di rischio geomorfologico riguardanti il versante di Via Terpi, come riferito dal servizio geologico del Comune e riportato nelle carte del PAI - identificata nello specifico area con franosità quiescente – classe elevata di suscettività al dissesto – Pg3a. In ragione del contesto sopra delineato, per la realizzazione del piazzale di imbocco e l'area di cantiere generale si è individuata nell'esecuzione di una paratia di pali trivellati, multi-tirantata, la soluzione progettuale in grado di offrire idonee garanzie di presidio del versante e dei fabbricati nella possibilità di massimizzare l'area da destinare agli apprestamenti di cantiere, allo stoccaggio temporaneo dello smarino ed agli impianti per il trattamento dello stesso ai fini del riutilizzo

nell'ambito dell'intervento stesso (produzione inerte da calcestruzzo e materiale per ripascimento spiagge litorali di Ponente e Levante).



Figura 3 – Planimetria di inquadramento paratia di imbocco cantiere principale ex - canile

Nella presente fase di progettazione sono state condotte indagini geognostiche, sia di tipo diretto (sondaggio a carotaggio continuo SEB1) che di tipo indiretto (coppia di stendimenti sismici a rifrazione lungo la direzione di sviluppo principale delle opere) per mezzo delle quali è stato possibile ricostruire l'assetto stratigrafico locale, accertando in particolare la profondità del tetto del substrato roccioso costituito dal Flysch del Monte Antola (in facies alterata – cappellaccio). E' emerso nello specifico un quadro particolarmente articolato con riferimento alla potenza delle coltri (sia di natura antropica che originarie, in posto): localmente, in corrispondenza dell'opera di sostegno, si sono rilevati spessori di coltre sino a 8-9 m dal piano campagna; la restituzione tomografica delle onde elastiche di compressione e di taglio ha evidenziato altresì la modesta qualità meccanica del cappellaccio di alterazione del substrato.

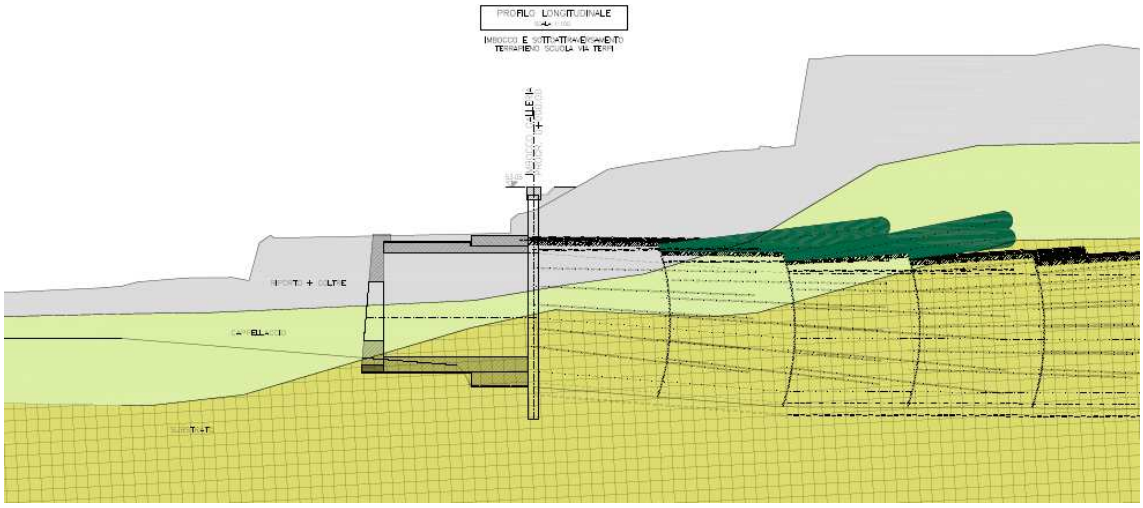


Figura 4 – Profilo longitudinale finestra di servizio - tratta di imbocco

Tali elementi geologici, congiuntamente alla delicatezza del contesto di intervento per quanto attiene al tema pre-esistenze e rischio geomorfologico, hanno determinato il ricorso a paratie di pali di medio-grande diametro in luogo di berlinesi di micropali. Sono stati previsti altresì più ordini di ritegni costituiti da tiranti a 4 trefoli da 0.6", con passo orizzontale di 3 m allo scopo di limitare fortemente il campo deformativo dell'opera sia sotto la condizione di carico statica che sismica.

La geometria dell'opera si presenta essenzialmente lineare in pianta, salvo prevedere specifica rientranza in corrispondenza dell'imbocco della finestra, necessaria al raggiungimento di un adeguato ricoprimento in calotta per l'attacco dello scavo in naturale. Le pareti dell'opera, in tale limitato settore, saranno sostenute da elementi tipo puntone (unico ordine sommitale); tale configurazione è stata dettata altresì dall'adiacenza del muraglione di sostegno a tergo degli spazi logistici di pertinenza dell'edificio delle Poste; tale manufatto rende impraticabile ogni intervento di tirantatura che possa geometricamente interferire con lo stesso, richiedendo bensì la progettazione di idonei interventi di consolidamento del terreno a tergo, operati da piano campagna (trattamenti colonnari di iniezioni con tubi a manchettes), allo scopo di incrementare le doti meccaniche del materiale imposto e ridurne l'effetto spingente sull'ala di paratia adiacente al muraglione in oggetto.

L'opera, nel suo sviluppo, interferisce con i manufatti idraulici presupposti all'intercettazione del rio che solca la scarpata a monte dell'area (immediatamente a valle del muro che sostiene il terrapieno dei locali parrocchiali) nonché con l'esistente intubamento del fosso Sciorba: in corrispondenza di tali manufatti è prevista la limitazione della lunghezza dei pali trivellati e la predisposizione di elementi strutturali di ripartizione / distribuzione delle azioni sollecitanti sui pali limitrofi aventi lunghezza integrale.

Planimetricamente la finestra di servizio presenta un tracciato sostanzialmente rettilineo, con innesto in retto sul camerone di montaggio della TBM. Da un punto di vista altimetrico, la progettazione della livelletta è stata mirata al raggiungimento quanto più rapido di idonei ricoprimenti per il sotto-attraversamento dell'edificio scolastico di Via Terpi e del relativo muraglione di sostegno del terrapieno sul quale esso si imposta. Tale edificio è stato oggetto - negli anni 2001-2002 – di un intervento di sottofondazione operato per mezzo di micropali, posti perimetralmente all'ala sud-est del fabbricato medesimo. Di tale intervento è stato possibile recuperare la documentazione progettuale: gli elementi scaturiti dall'esame della stessa hanno quindi guidato la progettazione del profilo altimetrico dell'opera nel suo primo settore, introducendo una livelletta all'8% su uno sviluppo di m 20, seguita da un tratto con pendenza pari all'1% (per ulteriori 90 m ca), prima di raccordarsi alla livelletta unica del 3% mantenuta sino all'innesto con il camerone di montaggio TBM. Tale configurazione altimetrica della galleria di servizio sarà mantenuta per una prima fase operativa di transito dei mezzi per il trasporto dei componenti della TBM (sino al camerone di montaggio), mentre una livelletta più dolce (con primo tratto al 4%, in

sostituzione della discenderia all'8% originario) sarà approntata per l'allestimento operativo del cantiere per lo scavo meccanizzato, dovendosi predisporre la sede per l'alloggiamento del doppio binario che servirà la macchina durante l'avanzamento. Tale profilo longitudinale sarà mantenuto anche nell'esercizio della finestra di servizio che, come da richiesta della committenza, fungerà contestualmente da accesso per manutenzione dell'opera idraulica e recapito alla galleria Scolmatrice delle acque derivate dal Fosso Sciorba durante gli eventi di piena.

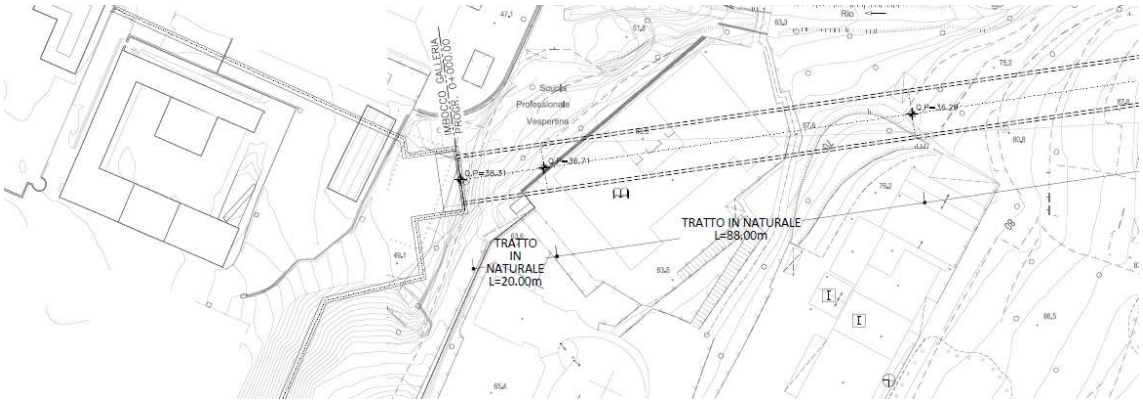


Figura 5 – Planimetria finestra di servizio

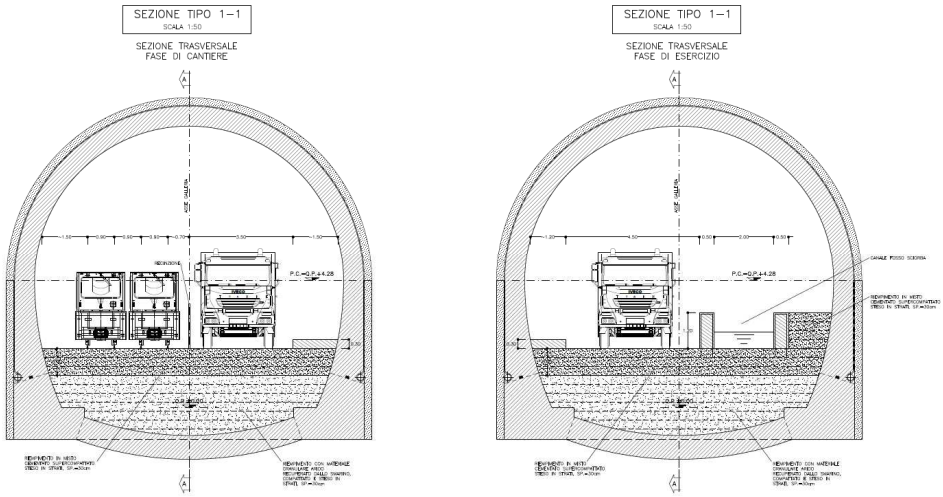


Figura 6 – Sezioni trasversali funzionali finestra di servizio – fase di cantiere

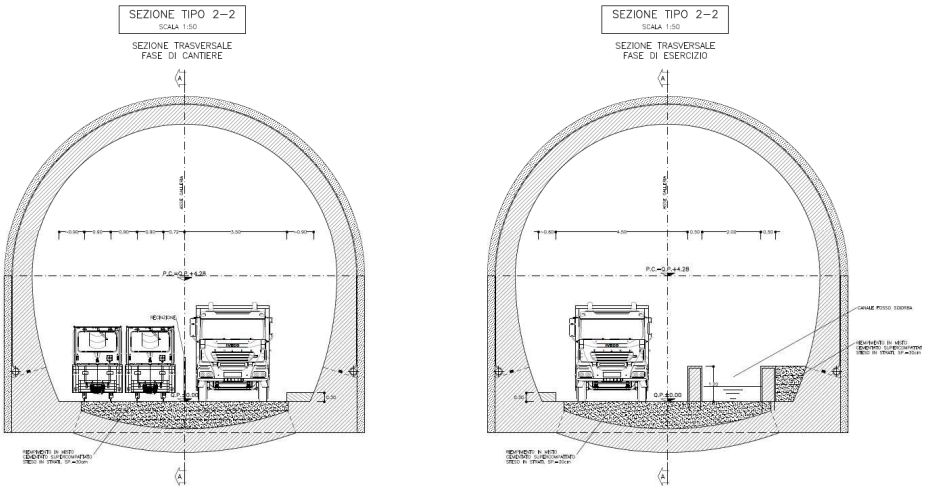


Figura 7 – Sezioni trasversali funzionali finestra di servizio – fase di esercizio

Per il completamento dell'opera è prevista la realizzazione di un tratto di galleria artificiale in prosecuzione della finestra di accesso, su uno sviluppo di m 20 ca (ad occupare la rientranza presente lungo il profilo della paratia di sostegno del versante) entro la quale sarà approntato il manufatto a pozzo per il collegamento del canale di scolmo superficiale (che staccandosi dall'incisione del Fosso Sciorba si porta sulla verticale del pozzo medesimo) ed il sottostante bacino di dissipazione dal quale prende avvio la canalizzazione di recapito delle acque verso la confluenza localizzata all'innesto della Finestra sul camerone.

L'opera di sostegno e la conformazione del nuovo piazzale ricavato a valle della medesima (su due livelli, il principale alla quota +41.00 m slm e l'appendice di Sud-est alla quota +43.50 m slm) saranno restituite con funzionalità di opere definitive al termine dei lavori, come da richiesta della committenza. Sono stati pertanto previsti - in questa sede - specifiche lavorazioni per il completamento e la finitura dei paramenti dell'opera, costituite in particolare da getti in opera per il placcaggio delle palificate tirantate, in allineamento con l'aggetto del cordolo di testa. Saranno predisposte apposite tasche per il ritesaggio eventuale delle tirantature, durante la vita utile dell'opera (assunta nello specifico pari a 100 anni, coerentemente con la natura strategica dell'intervento in oggetto).

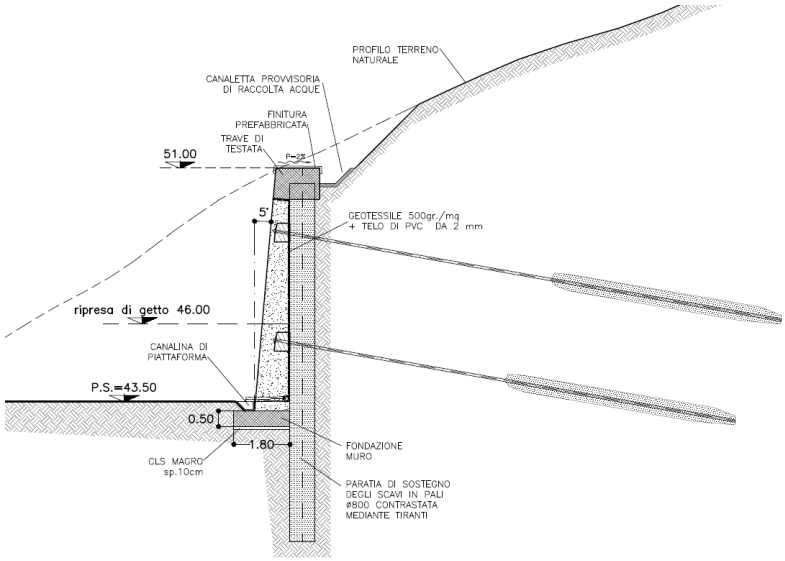


Figura 8 – Paratia di imbocco – sezione trasversale tipo – sistemazione finale

Preliminarmente all'attacco dello scavo della finestra sarà portato a termine specifico intervento di consolidamento della coltre detritica (caratterizzata da composizione da granulare grossolana – più superficiale - ad argillo-sabbiosa nella parte basale sino alla profondità di ca 8-9 m da p.c.), realizzato da piano campagna sull'impronta dello scavo, ovvero nell'area compresa fra la paratia di testa e la base del muraglione di sostegno del terrapieno (laddove si estende fisicamente il concio di attacco dello scavo). Sono previste nello specifico trattamenti colonnari con iniezioni operate da tubi a manchettes, estesi sino al tetto del cappellaccio di alterazione.

Con riferimento alle attività di scavo si precisa come la realizzazione del concio di attacco richiederà l'installazione di elementi di presostegno della calotta (tubi metallici valvolati) e di consolidamento del fronte, specialmente nella porzione medio alta dello stesso interessata dalla presenza dei detriti a composizione granulometrica medio –fine. I successivi campi di scavo, estesi sino all'altezza del muraglione di sostegno del soprastante terrapieno, prevedono - ad integrazione degli interventi precedentemente descritti - la realizzazione di una doppia corona di iniezioni al contorno finalizzate al consolidamento preventivo del terreno di fondazione del muraglione. A tale proposito si segnala come nell'ambito delle attività propedeutiche alla progettazione esecutiva siano stati condotti saggi di scavo mirati a portare alla luce la zattera di fondazione dell'opera nonché alla verifica dell'eventuale presenza di pali di fondazione connessi alla medesima. Gli scavi completati hanno esposto l'intradosso della zattera, restituendo spessori strutturali del manufatto pari a ca 1.50 m. Le attività di indagine hanno previsto quindi lo scalzamento alla base della zattera, su un settore limitato (sviluppo nell'ordine del metro), spinto sino alla profondità di 1.50 m rispetto al filo di valle della zattera stessa. Il saggio realizzato come sopra descritto non ha nello specifico restituito alcuna evidenza che lasciasse presupporre la presenza di pali di fondazione.

3.3. Camerone di montaggio TBM e camera di lancio

L'opera predisposta per l'assemblaggio della fresa è stata calibrata geometricamente sulle necessità logistiche specifiche per il montaggio della macchina, ovvero sulle dimensioni del carroponte per la movimentazione dei singoli componenti. L'impianto progettuale prevede che tale funzione venga esplicata all'interno della cavità rivestita con mezzi di sostegno provvisionali (bullonatura radiale costituita da barre dywidag autoperforanti e spritz beton di spessore congruo con le dimensioni dello scavo): in tal senso si è considerato come la qualità media dell'ammasso interagente con l'opera, nonché l'assetto strutturale geomeccanico dello stesso, restituito dalla coppia di stendimenti sismici a riflessione appositamente realizzati a cavallo dell'opera, fossero compatibili con tale soluzione tecnica, anche nel prosieguo delle attività di scavo della tratta di galleria Scolmatrice verso monte (con metodo tradizionale) e verso valle (con sistema meccanizzato). Il completamento dei rivestimenti definitivi al termine delle attività di scavo della galleria Scolmatrice (cls gettato in opera su spessori strutturali commisurati alle dimensioni dell'opera) consente importanti ottimizzazioni in termini di volumi di scavo (in ragione dei ben precisi vincoli geometrici richiesti alla sagoma interna per il montaggio TBM), ovvero di tempi e costi per il completamento del camerone stesso.

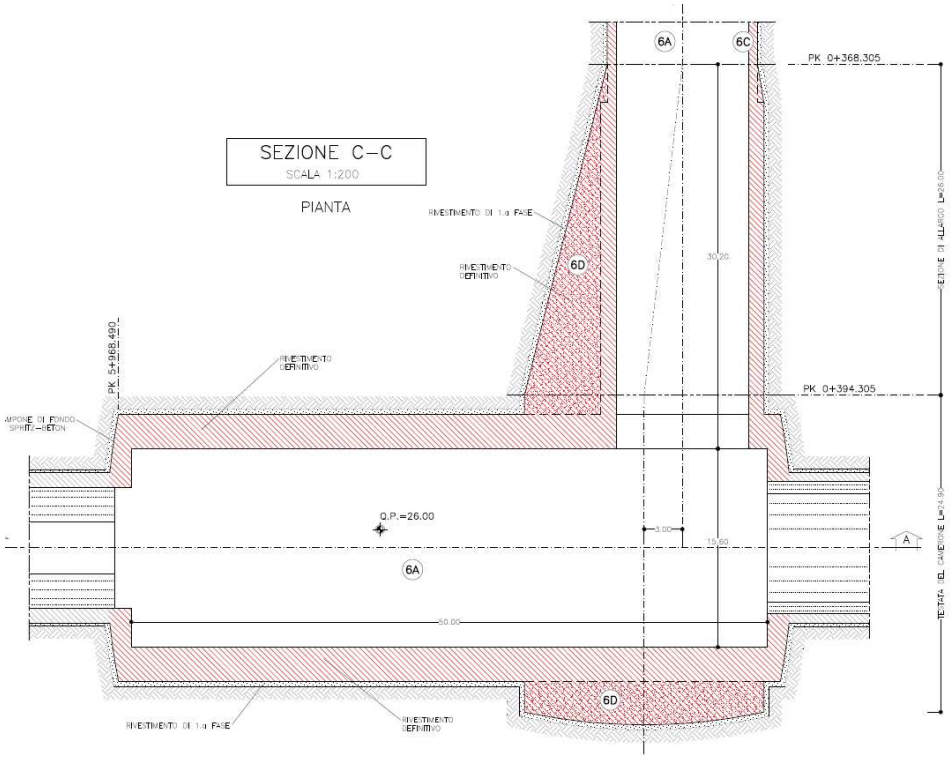


Figura 9 – Camerone di montaggio TBM – Planimetria d'insieme

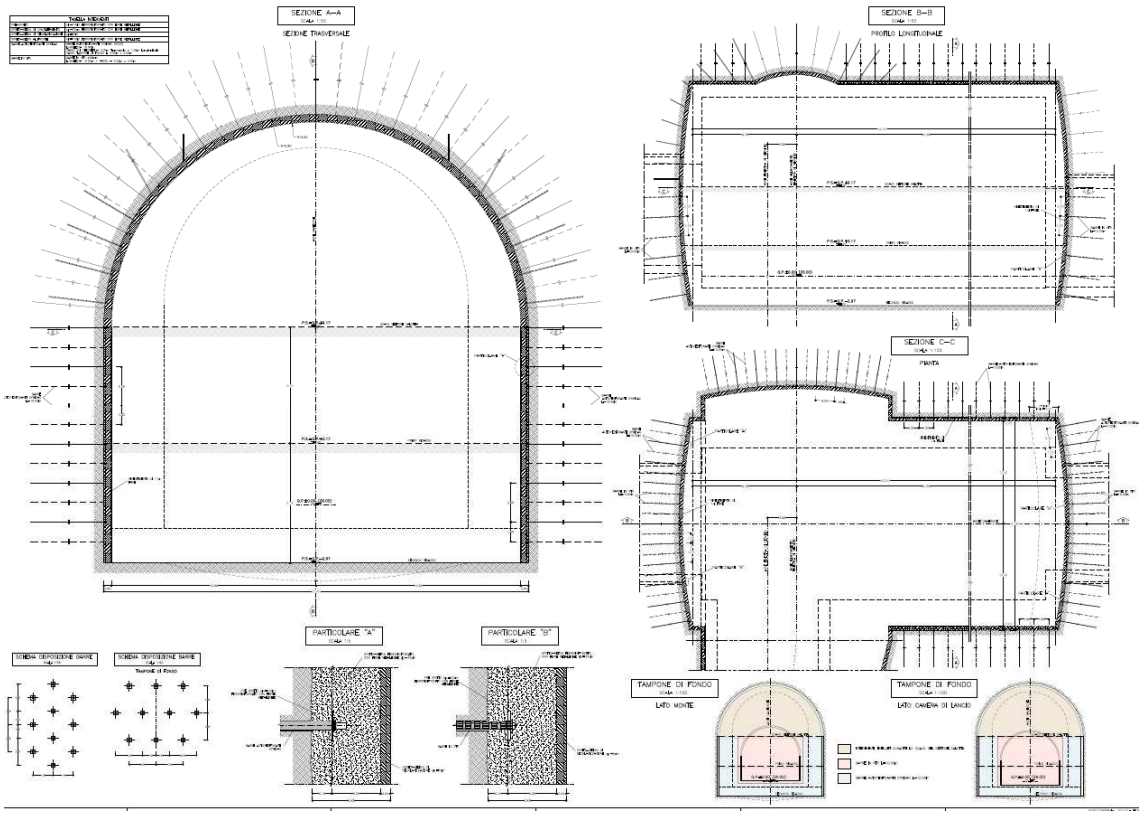


Figura 10 – Camerone di montaggio TBM – sezione tipologica interventi di sostegno – fase provvisionale

Ad assemblaggio TBM completato, all'interno del camerone sarà allestita la centrale di betonaggio per la produzione dei calcestruzzi dei rivestimenti definitivi dell'intera galleria Scolmatrice (sia tratta di monte verso l'alveo Bisagno che la tratta di valle verso lo sbocco a mare).

La camera di lancio, necessario per l'approntamento della TBM nella sua configurazione operativa di scavo (compressiva quindi dei carri di back-up in linea), presenta uno sviluppo nell'ordine dei 120 m. Il rivestimento definitivo della stessa sarà realizzato dopo il passaggio della fresa, secondo le modalità ordinarie previste per il getto dei rivestimenti definitivi nella tratta scavata con sistema meccanizzato (si veda in seguito).

3.4. Galleria Scolmatrice – scavo in tradizionale (tratta a monte camerone)

La tratta di galleria Scolmatrice posta a monte del camerone di montaggio sarà scavata prevalentemente entro la formazione del Fliysch del Monte Antola, su una lunghezza prossima ai 650 m, ricorrendo alla sezione tipo prevalente semplicemente bullonata (sezione tipo Ab).

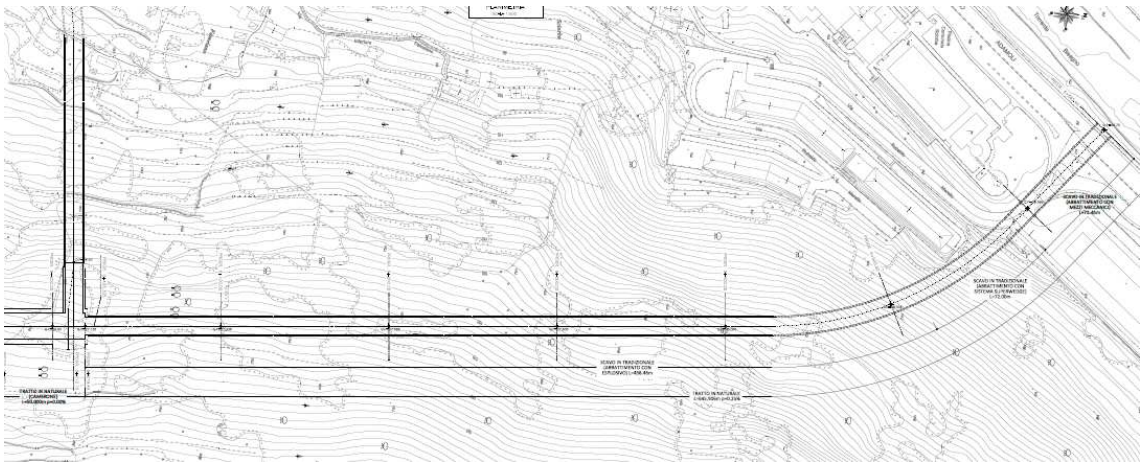


Figura 11 – Galleria scolmatrice – tratta di monte

Lo scavo avverrà prevalentemente ricorrendo a sistema di abbattimento con esplosivo; solamente in corrispondenza del passaggio sotto gli edifici residenziali di Via Merello si adotterà la tecnica del superwedge, minimizzando in tal modo l'impatto in termini di propagazione delle onde sonore e vibrazionali verso la superfice. Di particolare delicatezza è il passaggio della gallelria al di sotto della arteria stradale di Via Adamoli. Il sotto attraversamento avviene con ricoprimenti nell'ordine dei 3-4 m, ed interesserà la successione stratigrafica che vede, superficialmente, la presenza dei riporti antropici risalenti alle pregresse fasi di urbanizzazione della sponda sinistra della valle Bisagno, quindi, con profondità crescente gli orizzonti di origine detritico alluvionale e, alle maggiori profondità (indicativamente la parte bassa del fronte e l'arco rovescio), il cappellaccio di alterazione del substrato. Lo scavo procederà pertanto applicando 5 campi caratterizzati da intensità di interventi di consolidamento / preconsolidamento del contorno del cavo e del fronte crescente, con l'aumentare della porzione di galleria interagente con i riporti antropici e le coltri. L'intervento di preconsolidamento e presostegno in avanzamento è costituito da un ombrello di jet grouting colonnare diametro 600 mm coadiuvato da infilaggi metallici valvolati. Solamente l'ultimo campo in corrispondenza delle due corsie direzione centro città prevedrà il ricorso ad iniezioni al contorno (doppia coronella) a bassa pressione tramite tubi a manchettes, stante la presenza del cunicolo impianti che corre lungo la medesima carreggiata direzione sud di via Adamoli.

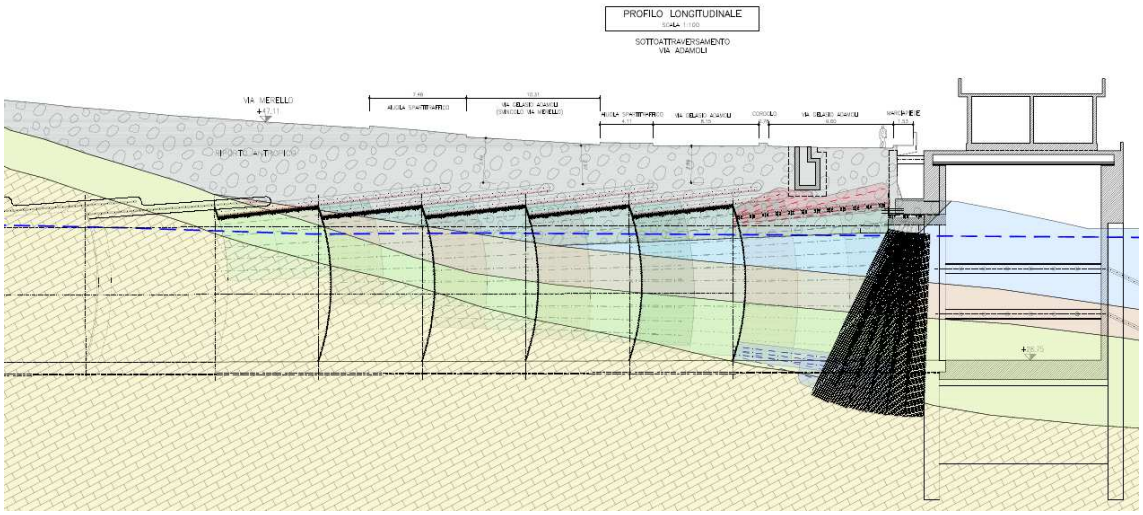


Figura 12 – Galleria scolmatrice – tratta di monte – profilo interventi di scavo e consolidamento

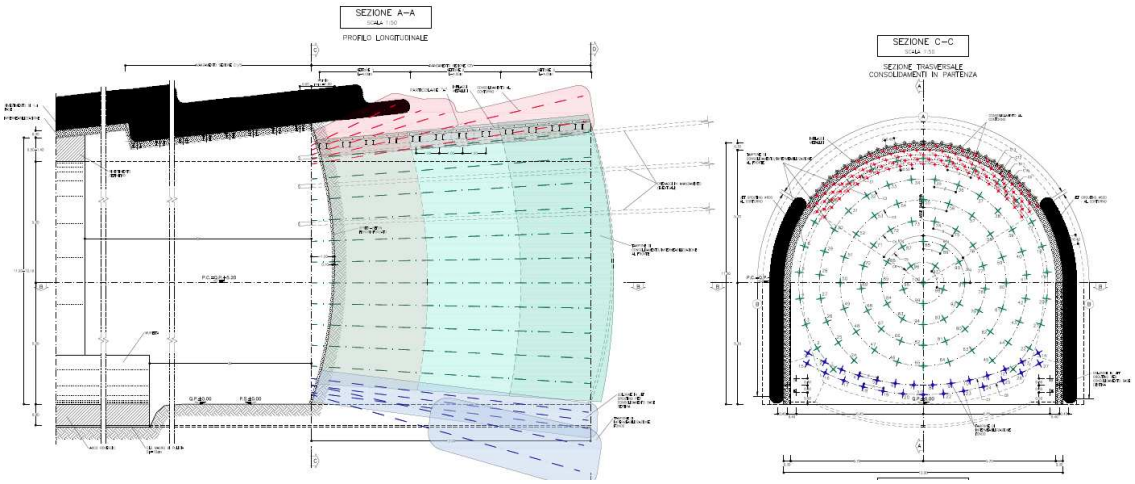


Figura 13 – Galleria scolmatrice tratta di monte – sezione tipologica di scavo e consolidamento sotto la carreggiata stradale di Via Adamoli



Figura 14 – Galleria scolmatrice tratta di monte – stralcio planimetria su fotopiano

L'abbattimento dell'ultimo diaframma per il completamento della tratta da camerone al Bisagno avverrà ad opera ultimata fino allo sbocco a mare e relativo cantiere TBM / opere di sbocco a mare completate, onde evitare qualsiasi tipo di rischio alluvione per il cantiere in sotterraneo. Va segnalato come lo scavo dell'ultimo diaframma interferisca con l'opera di sostegno presente lungo via Adamoli e costitutente il miro spondale. Lo scavo richiederà in particolare la demolizione della zattera di fondazione e di una porzione del paramento frontale, pertanto , preliminarmente al completamento della galleria nel suo ultimo tratto, si rende necessaria l'attuazione di un consolidamento dal piano alveo al di sotto della fondazione del muro medesimo (trattamento colonnare jet grouting) ed il trasferimento del carico dall'attuale fondazione ad un cordolo superiore innestato sul paramento da un lato e rigidamente connesso alla testata della paratia che delimita il bacino di dissipazione dall'altro. E' previsto altresì un ordine di puntoni a contrasto della testa del muro spondale.

3.5. Galleria Scolmatrice – Scavo in meccanizzato

La tratta di galleria Scolmatrice che si estende dalla camera di lancio allo sbocco a mare sarà scavata con metodo meccanizzato adottando una fresa da roccia di tipo aperto, su uno sviluppo di 5876 m. Si raggiungono coperture massime dell'ordine dei 280 m in corrispondenza del rilievo di torre Quezzi. Gran parte della tratta cittadina presenta ricoprimenti prossimi ai 30 m, fatta eccezione per gli ultimi 2000 m verso lo sbocco a mare laddove lo spessore di roccia in calotta scende su valori prossimi ai 10 m in corrispondenza del complesso di edificazioni insistenti sull'area del forte San Giuliano. E' previsto il passaggio al di sotto della linea storica RFI Genova – La Spezia, con spessore di roccia compresa fra la calotta dello scolmatore ed il basamento dei piedritti della doppia galleria attorno agli 8 m. In previsione futura si segnala il sovrappasso dello scolmatore ad opera delle gallerie ferroviarie del quadruplicamento ferroviario Genova – La Spezia (ricoprimento in roccia fra calotta scolmatore ed arco rovescio delle gallerie ferroviarie dell'ordine di 2 m); esso ricade nel conteso geologico del graben di Terralba; tale elemento progettuale richiederà la predisposizione di sezioni speciali in quanto ad armatura dei rivestimenti definitivi dell'opera oggetto della presente progettazione.

La scelta della macchina di tipo aperto è discesa dall'esame delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso ritenute congrue con il campo di applicazione tipico di tale tipologia di macchine. In particolare la qualità dell'ammasso e le caratteristiche di fratturazione dello stesso per la maggior parte dell'estensione della tratta consentono di considerare una tipologia di intervento prevalente costituito dall'applicazione di chiodatura radiale tipo bullone superswellex e rete elettrosaldata pertanto ottimizzando l'avanzamento con tale tipologia di macchina. L'adozione di una macchina di tipo aperto da roccia, resa possibile dal presupposto geomeccanico di cui sopra, porta con se la possibilità di regolare efficacemente la gestione dello smarino ed in particolare il riutilizzo dello stesso ai fini della produzione dell'inerte per calcestruzzo (non possibile nel caso dell'utilizzo di frese ti tipo monoscudato/doppio scudato che presuppongono l'avvio della produzione dei conci con largo anticipo rispetto all'avanzamento dell'attività di scavo, impossibilitando pertanto il riutilizzo del materiale proveniente e dallo smarino). In tal senso si precisa come la litologia scavata, in particolare la facies calcarea del Flysch del monte Antola abbia caratteristiche idonee alla produzione di inerte per cls, soddisfacendo appieno il fabbisogno dello stesso. Altro elemento migliorativo caratterizzante l'impiego della fresa di tipo aperto rispetto alle frese di tipo scudato è l'eliminazione della necessità di approvvigionare il cantiere TBM con conci nonché lo stoccaggio dei medesimi nell'area del cantiere di imbocco; nel caso specifico del cantiere principale ubicato presso l'ex canile comunale si è ritenuto assai difficoltoso il poter procedere con un approvvigionamento costante dei conci che consentisse di seguire le esigenze della produzione né si sarebbe riuscito a garantire idonei spazi per lo stoccaggio del materiale.

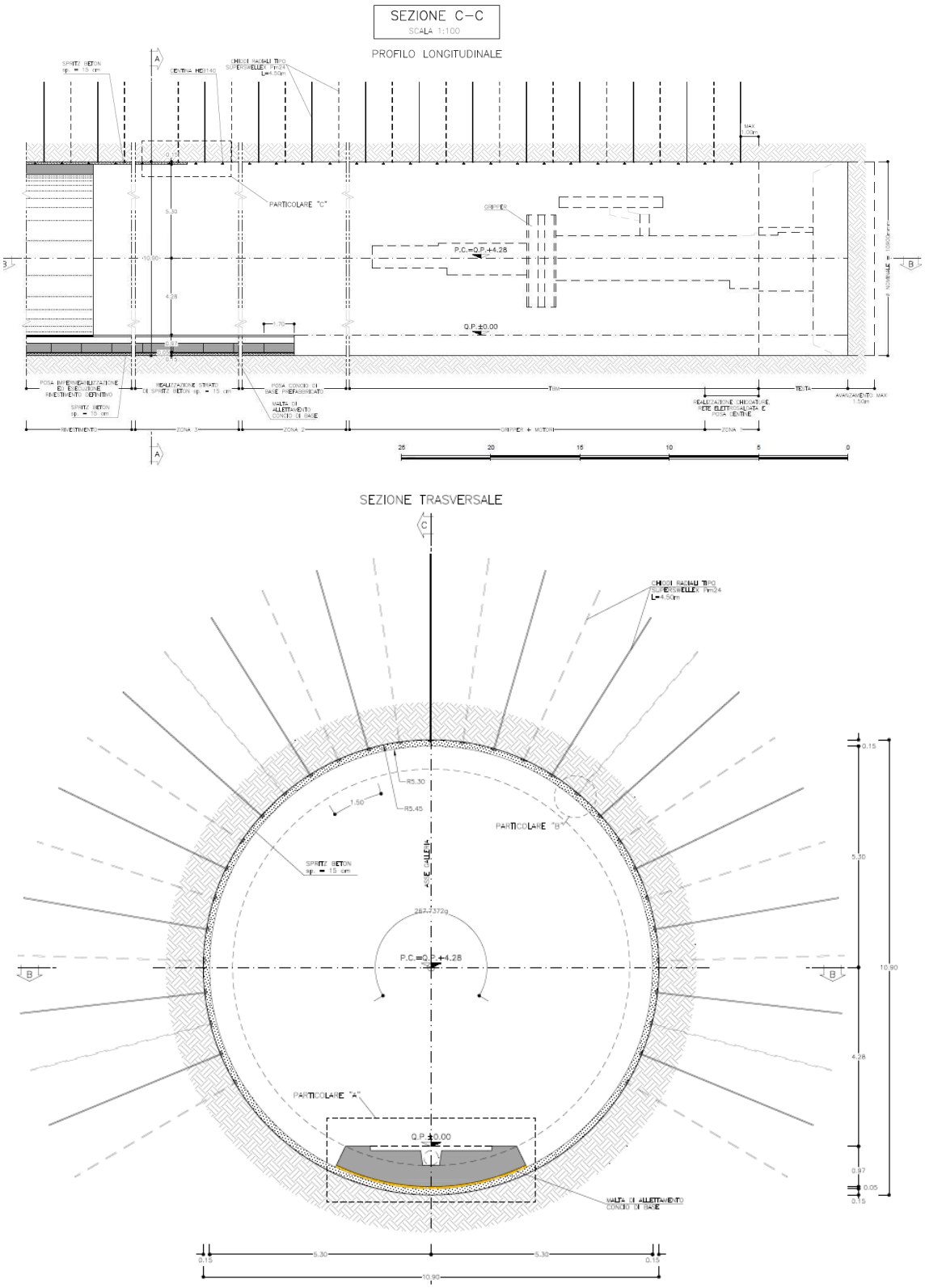


Figura 15 – Galleria Scolmatrice – tratta scavata con sistema meccanizzato – Profilo longitudinale e sezione tipo interventi di sostegno – fase provvisionale

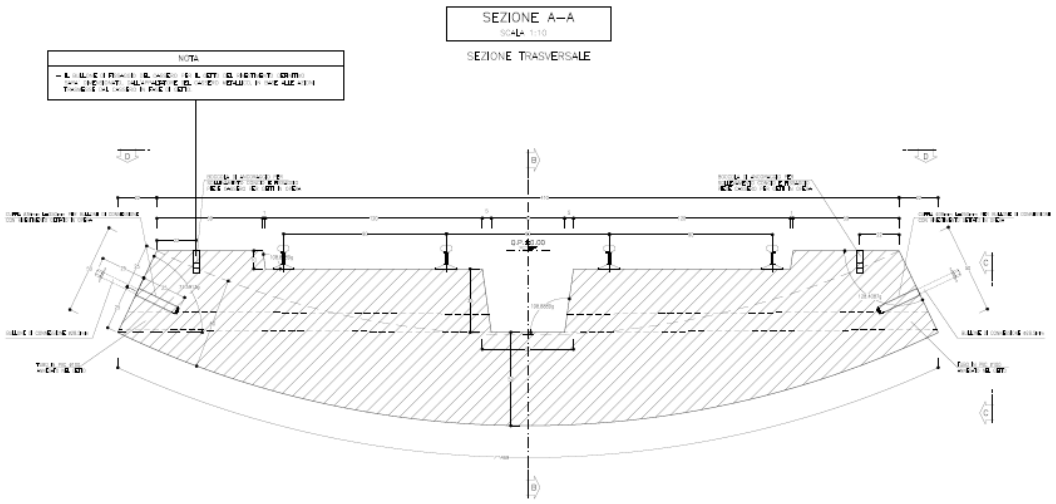


Figura 16 – Galleria scolmatrice – tratta scavata con sistema meccanizzato – carpenteria concio di base

Lo scavo con fresa (diametro nominale della testa pari a 10700 mm) è previsto procedere con una velocità di avanzamento media attorno ai 20 m giorno. La sezione tipo principale applicata è prevista essere quella bullonata con rete elettrosaldata. Localmente, laddove il contesto geomeccanico possa determinare fenomeni di convergenza del cavo più sensibili, sarà fatto ricorso a sostegni full round per la chiusura del cavo a tergo della testa di scavo, in particolare a centine e blindaggi metallici tipo *Liner plates*. In corrispondenza della tratta da scavarsi nelle formazione delle argilliti di Montoggio e delle faglie presenti a lungo il percorso saranno applicate sezioni di scavo e consolidamento più pesanti che prevedono il ricorso ad interventi di consolidamento dell'ammasso in avanzamento rispetto alla testa di scavo. Trattasi di coronelle di iniezioni cementizie operate da tubi a manchettes, spinti per una lunghezza di 20 m dalla posizione di perforazione. Sistematicamente lo spritz beton di completamento, per tutte le sezioni tipo, sarà applicato con sistemi robotizzati alla distanza di circa 40-50 m dal fronte di scavo, successivamente all'installazione del concio di base in c.a. (lunghezza del singolo concio 1.70 m). Il concio di base presente geometria e conformazione superficiale funzionale alla installazione del doppi o binari a servizio della fresa. E' presente inoltre una canala centrale per la raccolta delle acque di infiltrazione dall'ammasso ed il collettamento delle stesse versi il fronte di avanzamento (la pendenza della galleria è infatti a scendere nella direzione di avanzamento dello scavo). Al fronte sarà presente idonea stazione di pompaggio per l'allontanamento delle acque verso il portale di imbocco, finestra di servizio.

Il rivestimento definitivo della galleria sarà gettato in opera e seguirà con velocità media stimata in di 12 m/giorno di getto la fresa ed i carri di back-up. Le operazioni di installazione del manto in PVC, dell'assemblaggio della gabbia di armatura e della casseratura saranno attuate per mezzo di uno speciale carro. Le operazioni di getto saranno servite dalla centrale di betonaggio installata all'interno del camerone; l'approvvigionamento avverrà tramite una coppia di treni composti da un numero di train mixer sufficiente alla fornitura di 190 mc di cls. Lo spessore ordinario dei rivestimenti definitivi è di 50 cm; un incremento a 55 cm è previsto in corrispondenza dei medesimi passaggi geologici entro i quali si rende necessario il ricorso a supporti temporanei full round quali centine e blindaggio metallico.

4. PIEZOMETRI POZZI E SORGENTI

Di seguito si riporta una sintesi descrittiva dei piezometri e delle sorgenti e pozzi riscontrati nell'intorno delle opere in progetto.

4.1. Piezometri

S6D – S7D (PD)

I piezometri, ubicati a poca distanza l'uno dall'altro, si trovano a monte dell'opera di presa e di corso Adamoli, al margine di una strada a cui si accede da via Morello e posta a servizio di alcuni capannoni. La falda è ad una quota media di circa 38 m.s.l.m. ed è soggetta ad una escursione variabile in relazione al periodo stagionale ed all'intensità dei prelievi.

SEB2bis (PE)

Il piezometro, ubicato in prossimità dello sbocco a monte dell'opera principale, all'interno dell'area verde degli impianti sportivi "La Sciorba", a cui si accede da Via Adamoli, in sponda sinistra del Torrente Bisagno. Le prime due letture eseguite hanno fornito una quota di falda posta circa a 10.60 m (la prima lettura) ed a 9.20 m dal p.c. (la seconda lettura). La seconda lettura è stata eseguita successivamente ad episodi di pioggia intensa ed ha evidenziato una ricarica quasi immediata.

S8D (PD)

Il piezometro è ubicato sulla sponda destra del Rio Mermi ed è raggiungibile attraverso la strada che conduce al vicino cimitero di Montesignano. Poco a monte dello strumento in occasione di forti piogge è visibile una piccola ed effimera sorgente posta al contatto fra la coltre detritica ed il sottostante substrato. La falda, posta a circa 3,5m dal p.c. si dimostra sostanzialmente costante nel tempo.

S4D (PD)

Il piezometro, non era già più disponibile nella fase di PD; era ubicato sul margine sinistro dell'incisione del Torrente Fereggiano, al limite di un piccolo spiazzo condominiale in prossimità della progressiva 3.750 m. Durante la perforazione, raggiunta la profondità di 66,00 m da p.c,. è stata intercettata una falda idrica con risalienza pari a circa +3,00 m da p.c. e portata valutata in circa 1,5 l/sec. Ultimata la perforazione ed estratta la batteria di aste, dopo un fine settimana durante il quale i lavori venivano interrotti e l'acqua poteva fuoriuscire liberamente, al momento della posa del piezometro la falda sembrava essersi assestata a pochi centimetri di profondità dal piano campagna. Installata la strumentazione dopo solo pochi giorni si sono manifestate alcune macchie d'umidità sulle pareti degli scantinati di un'abitazione posta a pochissimi metri di distanza in linea d'aria dal piezometro, ma ad una quota di alcuni metri più in basso. Per risolvere tale problematica il piezometro è stato estratto ed il foro completamente sigillato con boiacca di cemento. Dopo poco tempo l'acqua ha iniziato a sgorgare, anche se in modestissima quantità, lungo le pendici rocciose dell'incisione del Fereggiano.

S3D (PD)

Il piezometro è ubicato lungo il Rio Rovare, alla progressiva 2.900 m circa in un'area delimitata lateralmente da evidenti alti strutturali. Anche in questo caso raggiunta la profondità di circa 65,50 metri è stata intercettata una falda idrica con risalienza sino a circa +3,00 m da p.c. Ultimata la perforazione, e vista l'esperienza del sondaggio S4D, si è provveduto a sigillare la parte inferiore del foro mettendo in opera un piezometro limitatamente alla tratta compresa fra la profondità di 30 m e piano campagna. I rilievi eseguiti segnalano un livello idrico prossimo al p.c. senza variazioni apprezzabili nel tempo.

S2D (PD)

Il piezometro è ubicato in corrispondenza di un piccolo spiazzo al margine dell'accesso del pronto soccorso dell'Ospedale San Martino, a monte del tracciato ed all'altezza della progressiva 2.350 m. circa.

La falda, riscontrata ad una profondità di circa 3 m da p.c., si dimostra moderatamente variabile nel tempo ed in sostanziale accordo con i rilievi idrici relativi alle numerose indagini pregresse disponibili in zona.

S5D (PD)

Il piezometro, il cui pozzetto si trova oggi coperto da una pavimentazione stradale di recente realizzazione, è ubicato all'interno del perimetro dell'Ospedale ma a valle del tracciato, all'altezza della progressiva 2.100m circa. La falda, posta a profondità variabili fra 5 e 6 m da p.c. mostra oscillazioni aventi il medesimo andamento riscontrato nel vicino piezometro S2D.

S1D (PD)

Il piezometro è ubicato all'interno dell'area del Forte di San Martino in prossimità della progressiva 1.500 m circa. Fra tutti i piezometri è quello in cui il livello idrico, sostanzialmente poco variabile nel tempo, si trova a profondità maggiore (55 m da p.c.).

In Tabella 1 – Letture piezometriche sui sondaggi del PD tabella 6 sono riportate le letture effettuate sui piezometri sopra citati nel corso della campagna d'indagine e, successivamente, dopo un periodo di circa un anno solare.

Tabella 1 – Letture piezometriche sui sondaggi del PD

Sigla sondaggio	Profondità della falda (m da p.c.)									
	29/3/05	21/4/05	5/5/05	19/5/05	14/6/05	15/7/05	5/8/05	23/9/05	29/9/05	15/5/06
S1D		55,00				55,80	55,32	55,00		Inaccessibile
S2D		3,56	2,80	3,42	3,21	3,03	2,95		3,00	3,20
S3D							0,10	0,00		0,10
S4D					> p.c.	Sigillato	Sigillato	Sigillato	Sigillato	Sigillato
S5D		6,80	5,13	6,25	5,98	6,03	5,24	4,37		Coperto
S6D	12,83	12,93	10,30	13,04	12,85	13,45	13,50	13,50		13,50
S7D	11,21	10,15	9,22	11,25	11,33	11,78	11,63	12,12		12,70
S8D	3,30	3,42	3,32	3,56	3,48	3,28	3,41	3,66		3,70

Per il piezometro SEB2bis sono state eseguite solo 2 letture, ad oggi, in ottobre (2017):

- 10.60 m dal p.c.
- 9.10 m dal p.c.

SONDAGGI PREGRESSI

Le informazioni relative ai livelli idrici sulle indagini pregresse non sempre provengono da rilievi piezometrici; in alcuni casi infatti si tratta di informazioni estrapolate da misurazioni effettuate nel corso delle perforazioni.

Le indagini ubicate in prossimità dell'opera di presa evidenziano livelli idrici perfettamente compatibili con quelli deducibili dai sondaggi S6D, S7D e SEB2bis, con una falda di subalveo soggetta a forte escursione e livello medio posto alla quota di 38 m.s.l.m.m.

Anche in corrispondenza dell'Ospedale San Martino i rilievi disponibili si dimostrano compatibili con quanto ricavato dai sondaggi S2D ed S5D segnalando la presenza di una falda a modesta profondità da p.c.

Particolarmente utili si dimostrano i rilievi idrici disponibili per la tratta compresa fra il Forte di San Martino (quindi fra il sondaggio S1D) e lo sbocco a mare. Qui i riscontri relativi al sondaggio SF8 del

Fereggiano e quelli dei sondaggi 171/S1; 119/S4 e 4277/S5, si dimostrano fra loro congruenti ed in linea con il quadro generale delle informazioni disponibili.

Le altre verticali d'indagine, ubicate generalmente ad W del tracciato in condizioni morfologiche ed a quote sensibilmente diverse, causa anche gli elevati gradienti, risultano sostanzialmente di modesta utilità pratica anche se confermano, comunque, la presenza di livelli idrici a modesta profondità. In ogni caso la tabella 7 riassume i livelli idrici riscontrati nel corso delle diverse indagini pregresse.

Tabella 2 – Livelli piezometrici riscontrati nelle indagini pregresse al PD

Sigla Sondaggio	Liv.falda (m da p.c.)	Sigla Sondaggio	Liv.falda (m da p.c.)	Sigla Sondaggio	Liv.falda (m da p.c.)
SF8	1.20	3121/S6	11.00	3249/S4	14.24
4277/S5	11.50	SF5	3.00	3249/S5	14.24
119/S4	2.50	3372/S12	5.10	3249/S7	3.50
4276/S3	21.36	3372/S8	5.00	3249/S6	19.12
4276/S2	5.40	3372/S9	3.30	3169/S5	4.00
171/S1	2.03	3372/S4	1.00	3169/S3	4.00
171/S2	1.08	3372/S6	5.20	3169/S1	7.50
3110/S1	5.00	3372/S3	14.24	3169/S2	4.00
3110/S2	7.20	3372/S7	5.40	3007/S17	8.00
SF6	11.00	3195/S3	8.20	3007/S15	6.00
3121/S1	3.50	SF4	12.00	3007/S16	19.12
3121/SS1	7.20	3092/S37	3.25	3104/S2	2.00
3121/S3	4.00	3092/S39	6.30	3104/S3	4.50
3121/SS3	5.00	3249/S1	16.48	3104/S1	1.50
3121/S4	19.12	3249/S2	6.40	SA3	>25
3121/S5	6.50	3249/S3	20.09		

In giallo sono indicate le indagini per il deviatore del Fereggiano

4.2. Sorgenti e pozzi

Le informazioni relative a pozzi e sorgenti sono state dedotte dalla carta idrogeologica allegata all'Atlante Cartografico Geologico del Comune di Genova, dalla carta idrogeologica allegata al Piano di Bacino del Torrente Bisagno e dallo studio relativo ai bacini idrografici liguri (AMGA 1995). Ulteriori informazioni sono state fornite da alcuni Enti territoriali fra cui, in particolare, la Società Genova Acque che gestisce, per l'area d'interesse progettuale, il servizio idropotabile, di fognatura e depurazione.

Infine sono state effettuati alcuni sopralluoghi in sito che, data la natura del terreno e l'elevata estensione delle aree densamente urbanizzate, non hanno comunque portato a fatti nuovi.

In breve le sorgenti censite sono poco numerose e sostanzialmente coincidenti in tutta la documentazione esaminata.

Molto più complessa è la situazione dei pozzi, con sensibili discrepanze fra le diverse fonti. In ogni caso, a conferma di una modesta disponibilità idrica garantita dai Calcari del Flysch di Monte Antola, praticamente tutti i pozzi censiti entro e nell'intorno dell'area studiata, siano essi per uso idropotabile o

industriale, pubblici o privati, sono localizzati lungo l'alveo del Bisagno e pescano nei depositi alluvionali del corso d'acqua. Le maggiori concentrazioni si hanno fra il Ponte Ugo Gallo e la foce, e più in particolare nel tratto terminale fra Piazza Giusti e la costa, ove spessore e larghezza del materasso alluvionale raggiungono i valori massimi mentre una soglia naturale "sepolta" impedisce l'ingresso del cuneo salino.

Sorgenti e pozzi sono ubicate nella carta idrogeologica allegata al progetto.

4.3. SORGENTI

La Formazione del Flysch di Monte Antola è costituita da un'alternanza di calcari, calcari marnosi a diverso grado di fratturazione ed argilliti. Contatti fra litotipi a diversa permeabilità possono determinare la comparsa di sorgenti per limite di permeabilità lungo i versanti.

Sono state censite circa 130 sorgenti nella Val Bisagno; di queste quelle ricadenti nella aree di pertinenza del progetto, complice forse anche l'elevata antropizzazione, sono solo 5.

Tabella 3 - Sorgenti

n° Ordine	Coordinate UMTS		Alt. m.slm	t°	pH	Portata (l/sec)
SG 1	1498941	4920917	234	12	7,61	0,08
SG 2	1499631	4919997	386	12,3	8,02	0,01
SG 3	1499501	4920703	303	12,5	7,82	0,12
SG 4	1498106	4916187	205	18,6	7,11	na
SG 5	1498452	4916870	36,6			

La sorgente più vicina al tracciato è la SG4, che si trova nel giardino di un'abitazione privata alla progressiva 4.250 m circa. Come per tutte le altre sorgenti si tratta di una presenza idrica molto modesta quando non addirittura stagionale.

Tutte le sorgenti indicate sono riportate nell'allegata carta idrogeologica ad eccezione delle sorgenti SG2 ed SG3, esterne alla cartografia ed ubicate rispettivamente sul torrente Molinetto e lungo il fosso Lagoscuro (affluente del Molinetto).

Le caratteristiche stratigrafiche del Flysch di Monte Antola, una formazione torbiditica caratterizzata da elevata eteropia laterale e verticale, unitamente alle condizioni morfologiche e giaciturali, determinano per contro la presenza di un certo numero di sorgenti lungo la sponda sinistra del Torrente Sturla. Esse si concentrano in particolare a monte di Quinto e Nervi, nell'intorno di Monte Bastia e della S.P. 67 di Monte Fascia, a distanze piuttosto significative rispetto all'area in studio.

4.4. POZZI

Effettuare un censimento dei pozzi è spesso un'impresa difficile causa la difficoltà di reperire le informazioni direttamente da rilievi sul territorio. Nel caso in argomento la difficoltà è fortemente accresciuta dall'elevato grado di urbanizzazione di buona parte delle aree. Il lavoro di ricerca è stato quindi svolto essenzialmente attraverso la raccolta di dati disponibili.

L'allegata Carta Idrogeologica rappresenta un documento molto utile in quanto vengono rappresentati, se non tutti i pozzi presenti (spesso i privati non provvedono alla regolare denuncia) almeno quelli ritenuti più importanti e produttivi.

I pozzi di cui si è avuta notizia sono ubicati all'interno della piana alluvionale del Bisagno a quote assolute, nella maggior parte dei casi, comprese fra 7 e 40,00 m.s.l.m.m. In particolare una serie di pozzi

è ubicata nell'intorno del ponte Ugo Gallo e del complesso della Sciorba, oltre che della confluenza del Rio Mermi nel Bisagno. Altri ancora sono nell'intorno del Viadotto Bisagno e del Ponte Bezzecca.

Proseguendo verso valle una nutrita concentrazione di pozzi si ha nell'intorno di Piazza Giusti, nonché fra la stessa piazza e la confluenza del Fereggiano nel Bisagno. Numerosi sono infine i pozzi nel tratto compreso fra la ferrovia e la foce, anche se in carta sono stati ubicati solo quelli di Via Casaregis e Via Montesuello riscontrati in tutte le fonti esaminate.

Dalle stratigrafie dei pozzi disponibili, allegate al presente documento, si evince come gli stessi attraversino materiali alluvionali per spessori compresi fra 24 ed oltre 40 m raggiungendo poi, ma solo in alcuni casi, il sottostante substrato roccioso. Si evince altresì, nel tratto terminale del corso d'acqua, la presenza di interstrati argillosi che determinano la presenza di una falda confinata risaliente. Le portate indicate nelle colonne stratigrafiche variano dai 0,27 l/sec del pozzo 8W1 ai 47,5 l/sec del pozzo 8W4.

Tabella 4 - Pozzi

N° Ordine	Località	Coord. Gauss - Boaga X (est)	Y (nord)	Tavola CTR	Alt m.slm	Tipologia di pozzo	Portata (L/S)
PZ1	L.B. Dalmazia	1497792	4921604	GE 213.2	43	-	-
PZ2	S. Gottardo	1497356	4921460	GE 213.2	48	-	-
PZ3	S. Gottardo	1497451	4921416	GE 213.2	41	-	-
PZ4	Sciorba	1497583	4921344	GE 213.2	42	-	-
PZ5	Sant'Eusebio	1498518	4920700	GE 213.2	160	-	-
PZ6	Volpara	1497151	4920547	GE 213.2	33	-	-
PZ7	Volpara	1497093	4920350	GE 213.2	33	-	-
PZ8	Gavette	1496868	4920106	GE 213.2	30	-	-
PZ9	L.B. Istria	1496782	4919763	GE 213.2	29	-	-
PZ10	L.B. Istria	1496666	4919520	GE 213.2	27	-	-
PZ11	C.so Sardegna	1496539	4917695	GE 213.2	13	-	-
PZ12	S. Fruttuoso	1497150	4917344	GE 213.2	31	-	-
PZ13	V. Casaregis	1496250	4916553	GE 213.2	7	-	-
8 w1	V. Montesuello	1496274	4916523	GE 213.2	10	Potabile	0,5
8 w2	C.so de Stefanis	1496588	4916039	GE 213.2	12,3	Industriale	1
8 w3	V. Pisacane	1495994	4916320	GE 213.2	3,5	Industriale	1,00
8 w4	V. Terpi	1497203	4920344	GE 213.2	101,8	Industriale	47,5
8 w5	C.so Sardegna	1496358	4917277	GE 213.2	7,05	Potabile/ Industriale	2,5
8 w7	C.so Sardegna	1496700	4917983	GE 213.2	15	Potabile	0,12
8 w8	V. Paverano	1497125	4917346	GE 213.2	40	Potabile	-
8 w10	P.zza Giusti	1496269	4917135	GE 213.2	7	Potabile	-
8 w11	P.zza Giusti	1496340	4917101	GE 213.2	7	Potabile	-
8 w13	C.so Sardegna	1496454	4917580	GE 213.2	10	Potabile	-
8 w14	V. de Paoli	1496450	4917148	GE 213.2	8	Potabile	-

A conclusione del presente capitolo si ritiene necessario citare la Società Genova Acque, che gestisce il servizio idropotabile per la zona centro, Ponente e Val Polcevera. Nello specifico le risorse idriche utilizzate, sulla base delle informazioni acquisite, sono le seguenti:

- Lago del Brugneto, con capacità di 25 milioni di m3;
- Lago del Val di Noci con capacità di 3,3 milioni di m3;
- Presa d'acqua fluente sul torrente Laccio, con portata massima derivabile di 5 milioni di m3 anno;
- Presa d'acqua fluente sul torrente Bisagno, con derivazione d'acqua di circa 14 milioni di m3 anno;
- Pozzi di subalveo del torrente Bisagno, da cui vengono estratti sino a 10 milioni di m3 anno;
- Sorgenti e captazioni sparse nel territorio Comunale.

I dati sopra esposti consentono di evidenziare l'importanza del contributo dato dal torrente Bisagno, con apporti di superficie o sotterranei, all'approvvigionamento idrico della città. I pozzi e le prese hanno l'importante compito di ridurre i prelievi in corrispondenza degli invasi, preservandoli per i periodi di maggiore necessità.

Nel dettaglio le acque fluenti del Bisagno, intercettate e incanalate verso l'impianto di potabilizzazione di Prato, alimentano l'acquedotto Civico, il più antico della città.

I principali impianti che tramite pozzi pescano direttamente dalla subalvea del Bisagno alimentano invece l'acquedotto Genovese. Fra i pozzi in argomento va citato l'impianto di Via Trebisonda, ammodernato nel 1975 ed avente una potenzialità estrattiva di 100 l/sec, ed il più importante impianto di Piazza Giusti, ricostruito e potenziato nel 1987 con una capacità sino a 360 l/sec.

4.5. INTEGRAZIONI AL SIA RICHIESTE DALL'UFFICIO VIA DELLA REGIONE LIGURIA (Lettera Prot. 48(170851) del 15.12.2006)

Le informazioni relative a pozzi e sorgenti ricadenti nella Val Bisagno sono state, in una prima fase, ricavate attraverso le informazioni fornite da alcuni Enti ed attraverso l'ausilio di documentazione bibliografica. In particolare:

Carta idrogeologica allegata all'Atlante Cartografico Geologico del Comune di Genova;

Carta idrogeologica allegata al Piano di Bacino del Torrente Bisagno;

Studio relativo ai bacini idrografici liguri (AMGA 1995);

Regione Liguria. Osservatorio permanente dei corpi idrici. Ha fornito le stratigrafie dei pozzi rappresentati nella carta idrogeologica. Le stratigrafie sono allegate alla relazione idrogeologica;

Società Genova Acque. Gestisce, per l'area d'interesse progettuale, il servizio idropotabile, di fognatura e depurazione. Ha fornito indicazioni sull'opera di presa delle acque fluenti sul Bisagno, sugli invasi, sulle sorgenti captate, e sui pozzi (in particolare quelli di Via Trebisonda e Via Giusti) che attingono dalla subalvea del Bisagno ed integrano, attraverso l'acquedotto Genovese, l'alimentazione idrica della città.

I dati raccolti sono stati successivamente verificati ed integrati durante l'esecuzione dei rilievi geologici e geomorfologici condotti sul terreno.

Le sorgenti individuate nella Val Bisagno sono 130; quelle ricadenti nell'area d'interesse progettuale sono solo 5. Quest'ultime hanno portate modeste (0,01 – 0,1 l/sec), sono spesso stagionali, prive di opere di presa e sostanzialmente coincidenti in tutta la documentazione esaminata. Le caratteristiche stratigrafiche del Flysch di Monte Antola, una formazione torbiditica dotata di elevata eteropia laterale e verticale, unitamente alle condizioni morfologiche e giaciturali, determinano per contro la presenza di un buon numero di sorgenti lungo la sponda sinistra del Torrente Sturla. Esse si concentrano in particolare a monte di Quinto e Nervi, nell'intorno di Monte Bastia e della S.P. 67 di Monte Fascia, a distanze piuttosto significative rispetto all'area in studio.

Più complessa è la situazione dei pozzi, con sensibili discrepanze fra le diverse fonti esaminate. In ogni caso, a conferma di una modesta disponibilità idrica garantita dai Calcari del Flysch di Monte Antola, praticamente tutti i pozzi censiti entro e nell'intorno dell'area studiata, siano essi per uso idropotabile o industriale, pubblici o privati, sono localizzati lungo l'alveo del Bisagno e pescano nei depositi alluvionali del corso d'acqua. Le maggiori concentrazioni si hanno fra il Ponte Ugo Gallo e la foce, e più in particolare nel tratto terminale fra Piazza Giusti e la costa, ove spessore e larghezza del materasso alluvionale raggiungono i valori massimi mentre una soglia naturale "sepolta" impedisce l'ingresso del cuneo salino. Dalle stratigrafie dei pozzi disponibili si evince come gli stessi attraversino materiali alluvionali per spessori compresi fra 24 ed oltre 40 m raggiungendo poi, ma solo in alcuni casi, il sottostante substrato roccioso.

5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

In generale si è osservato che i litotipi prevalenti nel settore in esame del Torrente Bisagno sono rappresentati dalla sequenza flyschoide di Monte Antola con calcari e calcari marnosi prevalenti e subordinate marne calcaree ed argilliti. i calcari e le argilliti:

- Il litotipo calcareo, generalmente fratturato e fessurato, è facilmente aggredibile dagli agenti atmosferici che favoriscono l'allargamento delle fessure e degli interstizi delle rocce da cui deriva una facile alterabilità e quindi una scarsa resistenza all'azione erosiva delle acque di ruscellamento.
- Il litotipo argillitico, generalmente impermeabile o semipermeabile per fratturazione, favorisce per contro il ruscellamento superficiale.

L'attuale forma della rete idrografica è senza dubbio dovuta all'adattamento in misura varia della stessa rete all'assetto tettonico generale: si può constatare infatti che alle principali linee tettoniche corrispondono le anomalie del reticolo.

Nel definire il diverso grado di permeabilità relativa si sono analizzate le diverse caratteristiche litologico-strutturali nonché la presenza o meno di contatti di permeabilità o particolari zone d'impregnazione idrica.

In particolare sono state così individuate quattro classi fondamentali di permeabilità associate alle diverse litologie, in particolare sono state classificate generalmente «impermeabili» le litologie a prevalente comportamento argilloso.

Le litologie a prevalente comportamento calcareo sono state invece classificate come «permeabili per fratturazione e localmente per carsismo», mentre i litotipi appartenenti alla Formazione di Ronco sono stati considerati, rispetto ad una scala relativa di permeabilità, «semipermeabili per fratturazione».

La formazione di Monte Antola può essere considerata, a grande scala, permeabile per fratturazione e caratterizzata da un grado di carsismo, ove presente, estremamente blando e superficiale.

In presenza di una spiccata disomogeneità litologica i termini calcarei presentano permeabilità variabile in funzione del diverso grado di fratturazione. In caso di fessurazione e fratturazione intensa la permeabilità può risultare localmente elevata ed i circuiti idrici presenti sono fortemente condizionati dall'andamento (orientazione e densità) e dalla persistenza delle discontinuità presenti. Le discontinuità possono però essere cementate o presentare un riempimento di materiale fine, ed in tal caso la permeabilità dell'ammasso si riduce in maniera sensibile.

In base a riferimenti bibliografici al Flysch di Monte Antola viene normalmente attribuita una permeabilità media isotropa variabile fra 1*e-7 – 1*e-8 m/sec, che risulta in linea con quanto ottenuto sperimentalmente dalle prove Lugeon eseguite nelle diverse fasi progettuali.

Gli interstrati argillitici in seno al flysch, e le Argilliti di Montoggio alla base dello stesso, rappresentano materiali a permeabilità estremamente modesta. Costituiscono quindi soglie impermeabili che determinano localmente, a contatto con i calcari, la comparsa di locali emergenze idriche. Allo stesso modo a bassissima permeabilità sono le argille di Ortovero ubicate all'interno del graben di Terralba.

Gli ammassi argillitici poco permeabili (k dell'ordine di 1*e-8/-10 m/s) possono essere considerati degli acquiclude.

I depositi alluvionali presenti lungo l'alveo del Bisagno, con spessori crescenti da monte verso valle, sono permeabili per porosità e sede di una importante falda idrica sfruttata a scopo idropotabile ed industriale. Interstrati e livelli argillosi presenti nel tratto terminale del materasso alluvionale differenziano la falda superficiale freatica da quella confinata sottostante. La permeabilità media dei depositi alluvionali, sulla base di dati reperiti in letteratura, delle evidenze in sito, delle analisi granulometriche e di quanto riportato nel Piano di Bacino, può essere ritenuta nell'ordine di 1*e-4 m/s.

Le litologie caratterizzate da elevata permeabilità per fratturazione sono sede di circuiti idrici fortemente condizionati dall'andamento (orientazione e densità) e dalla persistenza delle discontinuità presenti.
In rapporto al tipo di circolazione è importante segnalare che il meccanismo e la dinamica d'infiltrazione influenzano la genesi di movimenti franosi. In particolare, mentre in condizioni di precipitazioni di normale entità si determina un'elevata infiltrazione d'acqua, in condizioni di piogge intense e concentrate la capacità d'infiltrazione si riduce notevolmente e, lungo le discontinuità, si generano incrementi di pressione interstiziale che possono essere causa scatenante di movimenti franosi.
Nei litotipi semipermeabili ed impermeabili la circolazione idrica lungo le discontinuità è fortemente influenzata da fenomeni d'alterazione che interessano i materiali argillosi; i prodotti d'alterazione, infatti, tendono ad intasare le discontinuità presenti rallentando e limitando i processi di circolazione idrica.
Nell'ambito dell'area in esame, quindi, l'infiltrazione in tali litologie va ad alimentare una circolazione idrica prevalentemente superficiale caratterizzata da una rete di flusso discontinua. In particolare nelle argilliti e nell'ambito delle coperture detritiche eluvio-colluviali a prevalente matrice fine argillosa sono possibili circolazioni idriche di ridotta entità riconducibili ad uno schema di flusso limitato che si realizza lungo orizzonti ben determinati, discontinui e spesso isolati. In prossimità del substrato roccioso fenomeni di impregnazione idrica del terreno di copertura possono essere connessi con sorgenti poste nel substrato stesso mentre, in corrispondenza del piano campagna, la circolazione idrica è in stretta connessione con gli apporti meteorici. Al verificarsi di eventi intensi e concentrati gli strati più superficiali dei terreni di copertura vengono, generalmente, a trovarsi in condizioni di elevata saturazione: tale condizione, oltre a ridurre l'infiltrazione verso orizzonti più profondi, è la principale causa innescante di fenomeni franosi superficiali.

Per quanto riguarda i depositi alluvionali si evidenzia che questi sono sede di un importante acquifero attualmente sfruttato ad uso idropotabile.

Durante il corso delle indagini ed al fine di ricostruire il profilo della falda lungo lo sviluppo della galleria sono stati messi in opera piezometri a tubo aperto in corrispondenza di tutti i sondaggi eseguiti. Il monitoraggio effettuato evidenzia come la falda idrica, nelle tratte indagate, stazioni generalmente a ridotta profondità dal p.c. con oscillazioni stagionali evidenti in prossimità dell'opera di presa e modeste negli altri casi. Solo nel tratto compreso fra il Forte di San Martino e la costa la falda si allontana dal piano campagna approfondendosi in maniera evidente.

Al termine delle perforazioni si è provveduto a prelevare, in corrispondenza di piezometri equamente distribuiti lungo il tracciato, alcuni campioni d'acqua. Le analisi chimiche effettuate su tali campioni, riassunte in tabella 10 ed allegate alla documentazione relativa alle prove di laboratorio, indicano la presenza di acque poco mineralizzate i cui parametri misurati rientrano, fra l'altro, nei limiti di potabilità.

Trattasi in particolare di acque compatibili con una prevalente permanenza all'interno di materiali calcarei (o calcareo marnosi) per tempi non eccessivamente lunghi, a conferma dell'esistenza di un certo flusso idrico entro l'ammasso roccioso.

I valori riscontrati nelle diverse analisi sono fra loro simili con differenze modeste o relativamente modeste. Valori più elevati rispetto alla media dei campioni si riscontrano per bicarbonati e manganese nel campione del sondaggio S8D, l'unico dei quattro che corrisponde ad acque poste nella porzione più superficiale, alterata e decompressa, delle Argilltiti di Montoggio.

Tabella 5 – Analisi chimiche

PARAMETRO	U.M.	S4D	S5D	S7D	S8D
Nitrato	mg/l	1,2	3,3	6,3	5,4
Alluminio	ug/l	74	19	<LR	<LR
Ammonio	mg/l	0,907	0,063	0,055	0,025
Cloruro	mg/l	17,1	5,7	9,3	44,2
Ferro	ug/l	42	6	12	62
Manganese	ug/l	5	8	29	220
Solfato	mg/l	4,6	35,1	31,8	58,5
Sodio	mg/l	199,2	8,3	13,1	151,6
Alcalinità	mg/l	405	99,5	222	374
Bicarbonati	mg/l		121,39	270,84	456,28
Calcio	mg/l	7,3	36,5	92,3	76,3
Magnesio	mg/l	1,2	7,2	11,4	6,1
Potassio	mg/l	1,5	15,2	1,1	2,8
Silice	mg/l	14,7	10,2	10,5	10,7

Tabella 6

Spurghi effettuati nei piezometri e velocità di risalita della falda.

Piezometro	Tempo (min)	Livello dinamico (m da pc)	Portata (l/sec)	Piezometro	Tempo (min)	Livello dinamico (m da pc)	Portata
S3D	0	0 (pc)		S7D	0	12,12	
	3	4,10	0,20		3	12,90	1,25
	6	5,40	0,20		5	14,50	1,25
	9	6,05	0,20		8	14,74	1,25
	12	6,12	0,20		11	15,20	1,25
	15	6,12	0,20		13	15,70	1,25
	18	4,20			16	14,40	
	21	3,20			19	13,22	
	24	2,33			22	12,90	
	27	1,40			25	12,70	
	30	1,10			28	12,55	
	33	0,90			31	12,30	
	36	0,45			34	12,22	
	39	0,15			37	12,12	
S5D	0	4,37		S8D	0	3,66	
	3	6,50	1,32		3	4,88	0,25
	6	10,70	1,32		6	5,60	0,25

	9	13,00	1,32		9	6,65	0,25
	12	14,25	1,32		12	8,20	0,25
	15	14,30	1,32		15	8,35	0,25
	18	13,70			18	9,50	0,25
	21	13,60			21	10,95	0,25
	24	13,55			24	14,00	0,25
	27	13,45			27	12,00	
	30	13,40			30	11,90	
	33	13,30			33	11,75	
	36	13,20			36	11,70	
	39	13,05			39	11,65	
	75	10,20			42	11,60	
	0	13,50			45	11,50	
	3	14,40	1,32		48	11,45	
	6	14,47	1,32		51	11,40	
	9	14,74	1,32		54	11,34	
	12	14,74	1,32				
S6D	15	14,00					
	18	13,70					
	21	13,60					
	24	13,55					
	25	13,50					

Il prelievo dei campioni d'acqua è stato effettuato solo dopo aver provveduto a spurgare il foro mediante una pompa sommersa, misurando poi velocità e tempi di risalita in corrispondenza di ogni piezometro. La velocità di risalita della falda nel piezometro è direttamente proporzionale alla permeabilità del terreno.

Nei sondaggi S6D, S7D e SEB2bis, posti al limite o in corrispondenza del passaggio roccia – alluvioni, è stata osservata una risalita della falda più veloce rispetto a quanto avviene nei sondaggi S8D ed S5D; nel sondaggio S3D, dove è presente una falda in pressione che staziona a p.c., si registra una situazione intermedia.

I dati acquisiti confermano una spiccata variabilità della permeabilità dell'ammasso roccioso i cui valori sono comunque conformi con il range fornito e con quanto evidenziato dalle prove in sito.

I rilievi ed i riscontri sul terreno, unitamente ai dati reperiti da più fonti, segnalano una evidente scarsità di sorgenti naturali nelle aree poste nell'intorno dell'asse progettuale e/o del torrente Bisagno.

La circolazione idrica nell'ammasso roccioso è compartimentata, e le sorgenti presenti hanno portate modeste che seguono l'andamento annuale delle piogge in quanto i serbatoi di alimentazione presentano volumi ridotti.

L'ammasso viene alimentato attraverso l'infiltrazione efficace. In base ai dati raccolti da diverse

fonti bibliografiche nell'area in studio, a fronte di precipitazioni medie annue comprese tra 1.000 mm e 1.500 mm (minimi in prossimità della costa e massimi alle quote più elevate del bacino) viene identificata, su base ventennale, un'infiltrazione compresa tra 400 e 750 mm/anno. Per contro valori più cautelativi possono essere desunti sulla base di recenti dati sperimentali ottenuti attraverso la misura delle portate, in entrata ed uscita, in corrispondenza di bacini appenninici aventi caratteristiche geologiche, morfoaltrimetriche ed idrogeologiche paragonabili al caso in studio.

L'alimentazione dell'importante falda contenuta nella subalvea del Bisagno avviene essenzialmente grazie all'infiltrazione diretta ed agli apporti del corso d'acqua principale (alveo disperdente) e dei suoi affluenti. Non a caso tutti i pozzi elencati nella carta idrogeologica sono ubicati entro le alluvioni del Bisagno, sono più frequenti procedendo da monte verso valle (dove lo spessore del materasso alluvionale è maggiore) e si trovano spesso in corrispondenza della confluenza dei vari corsi d'acqua con il Bisagno.

Visti i riscontri effettuati, le caratteristiche dei materiali nonchè l'insieme dei dati disponibili, si ritiene che la profonda incisione creata dal Bisagno, e colmata da depositi alluvionali ad elevata permeabilità, rappresenti anche un asse di drenaggio naturale nei confronti dell'ammasso roccioso. Questa ipotesi viene condivisa dai relatori del Piano di Bacino ed infatti, nel fascicolo 2 – vol. 1 testualmente si legge: "la ricarica dell'acquifero (del Torrente Bisagno) avviene con modalità diverse che possono essere così schematizzate:

- alimentazione diretta per infiltrazione delle acque defluenti nell'alveo;
- alimentazione del sistema acquifero dovuta al contributo laterale sotterraneo delle acque circolanti nel substrato roccioso;
- contributo delle falde di subalveo degli affluenti minori

In sintesi, pur ritenendo la ricarica dell'acquifero contenuto nel materasso alluvionale essenzialmente imputabile ad alimentazione diretta ed agli apporti del corso d'acqua e relativi affluenti, va ammessa la presenza di un contributo dato dalla circolazione sotterranea che ha sede nei rilievi essenzialmente calcareo marnosi compresi all'interno dello spartiacque del Bisagno la cui entità è funzione della locale permeabilità della roccia.

6. PROFILO PIEZOMETRICO – PERMEABILITA' DELLA ROCCIA

6.1. Profilo piezometrico

Il profilo piezometrico lungo il tracciato della galleria costituisce il riferimento primo per le necessarie valutazioni relative ai rapporti esistenti tra opere ed acquifero. Per fissarne la posizione si è fatto ricorso a tutte le informazioni disponibili di seguito elencate:

Letture piezometriche – Sono state utilizzate le letture eseguite nei piezometri installati nei sondaggi per il progetto definitivo e le informazioni ricavate dalle indagini pregresse, una volta valutata per quest'ultime l'attendibilità e la congruenza con le indagini più recenti.

Sorgenti – Sono stati ispezionate le sorgenti indicate in carta e poste lungo l'asse di progetto. I dati disponibili ed i riscontri effettuati sul terreno, in luoghi spesso scarsamente accessibili, non hanno permesso di verificarne la continuità di erogazione durante l'anno, così come non è possibile escludere che le stesse sorgenti siano ubicate al contatto fra il basamento roccioso e le coltri di copertura. Pur considerata la modesta portata erogata, e la posizione spesso defilata rispetto all'opera, cautelativamente le sorgenti censite sono state considerate come punti di emergenza dell'acquifero.

Pozzi – E' stato constatato come i pozzi censiti siano sempre posizionati all'interno del materasso alluvionale ed attingono dall'importante falda di subalveo del Bisagno.

Reticolo idrografico di superficie – Durante il sopralluogo sono stati ispezionati gli alvei di torrenti e rii che interessano i versanti nell'intorno dell'opera.

Nel Rio Mermi durante l'esecuzione del sondaggio S8D, ed anche successivamente, durante periodici sopralluoghi, è stata riscontrata una costante presenza d'acqua; è probabile che il corso d'acqua sia, almeno parzialmente, alimentato da emergenze dell'acquifero.

In ambito cittadino i rilievi effettuati restano purtroppo gravemente incompleti in quanto larga parte dei corsi d'acqua è tombata e non permette osservazioni di alcun tipo. La ricostruzione del profilo idrogeologico della galleria mostra comunque come il livello della falda sia spesso molto prossimo all'alveo dei vari corsi d'acqua, motivo per cui è tutt'altro da escludere la possibilità di un mutuo rapporto di dipendenza.

Tutti i dati sopra citati sono stati utilizzati per tracciare il profilo piezometrico riportato nell'allegato profilo geologico, geomeccanico ed idrogeologico.

Il profilo piezometrico è stato tracciato sulla base delle informazioni puntuali disponibili (sondaggi con piezometro, punti di emergenza della falda ecc) lungo e nell'intorno del tracciato. In corrispondenza dei rilievi montuosi e delle quote più elevate, in mancanza di dati specifici, la ricostruzione riportata nei diversi elaborati grafici è stata impostata in maniera cautelativa. L'andamento del profilo piezometrico segue, addolcendone le asperità, la topografia di superficie e mostra gradienti anche elevati compatibilmente con la presenza di un ammasso roccioso a modesta permeabilità.

Dall'esame delle informazioni disponibili si può osservare come la superficie freatica in corrispondenza dell'opera di presa sia caratterizzata da una discreta escursione variabile in relazione al periodo stagionale ed all'entità dei prelievi idrici eseguiti in zona. Nel corso delle indagini è stato riscontrato un livello idrico corrispondente alla quota di circa 38 mslm che può essere ritenuto un valore medio annuo; a seguito di intensi eventi piovosi e piene del corso d'acqua è probabile che la falda possa arrivare sino a piano campagna.

In corrispondenza della galleria principale e delle gallerie di collegamento la falda si trova a

profondità modesta rispetto al piano campagna e generalmente compresa fra 3 – 7 m, con punte di 11 – 20 m in corrispondenza di alcune indagini pregresse. Si approfondisce però nel tratto compreso fra il Forte di San Martino e la costa, come evidenziato sia dal sondaggio S1D dove viene rilevata a 55 m di profondità, sia dal sondaggio SA3 il cui piezometro profondo 25 m era asciutto al momento del rilievo. Il profilo evidenzia inoltre come la stessa falda sia sempre prossima al fondo degli alvei attraversati.

6.2. Permeabilità della roccia

La campagna d'indagine per il progetto definitivo è stata programmata con lo scopo di fornire informazioni di maggior dettaglio sulla natura e sulle caratteristiche idrogeologiche e geomeccaniche delle formazioni incontrate.

L'istallazione all'interno dei fori di sondaggio di piezometri del tipo a tubo aperto ha permesso la misura del livello medio di falda in differenti istanti di tempo. Tali informazioni, unite alle evidenze idriche rilevate nel corso dei sopraluoghi, sono state utilizzate nella definizione del profilo piezometrico che interessa l'asse della galleria.

Più in dettaglio la tabella 1 riassume i sondaggi eseguiti nella recente campagna geognostica dettagliando le caratteristiche dei piezometri installati, mentre la tabella 2 è relativa alle indagini pregresse di cui si dispone di dati piezometrici. Per un elenco completo dei sondaggi pregressi si rimanda alla relazione geologica.

L'ubicazione planimetrica di tutte le verticali d'indagine è riportata nelle specifiche tavole ubicazioni indagini, integrative e pregresse, allegate al progetto.

Campagna d'indagine progetto definitivo – Installazioni piezometriche		
Sondaggio	Lunghezza	Note sul piezometro (a tubo aperto).
S1D	85	Fenestrato da 70 a 80m
S2D	70	Fenestrato da 67 a 70m
S3D	90	Fenestrato da 3 a 30m
S4D	80	Fenestrato da 65 a 75m
S5D	65	Fenestrato da 62 a 65 m
S6D	33	Fenestrato da 18 a 28m
S7D	23	Fenestrato da 8 a 18m
S8D	70	Fenestrato da 55 a 65 m

Indagini pregresse – Sondaggi con misurazione del livello della falda

Sigla Sondaggio	Profondità perforazione (m da p.c.)	Sigla Sondaggio	Profondità perforazione (m da p.c.)	Sigla Sondaggio	Profondità perforazione (m da p.c.)
SF8	25	3121/S6	12.20	3249/S4	10
4277/S5	13	SF5	60	3249/S5	10
119/S4		3372/S12	15	3249/S7	10
4276/S3	11.50	3372/S8	10	3249/S6	10
4276/S2	10.50	3372/S9	13.10	3169/S5	20

171/S1	8	3372/S4	15	3169/S3	15
171/S2	8.2	3372/S6	10	3169/S1	20
3110/S1	22.5	3372/S3	15	3169/S2	15
3110/S2	22.5	3372/S7	15	3007/S17	20
SF6	60	3195/S3	15	3007/S15	20
3121/S1	8	SF4	90	3007/S16	20
3121/SS1	13	3092/S37	20	3104/S2	20
3121/S3	10.50	3092/S39	25	3104/S3	20
3121/SS3	10	3249/S1	10	3104/S1	20
3121/S4	11.50	3249/S2	8.70	SA3	25
3121/S5	12.00	3249/S3	10		

In giallo sono indicate le indagini relative al deviatore del Fereggiano

Il piezometro di PE SEB2bis profondo 16 m dal p.c., piezometro a tubo aperto, tratto fenestrato da m 3 a m 15 da p.c.

Tutti i piezometri disponibili lungo l'area d'interesse progettuale, ed in particolar modo quelli ubicati sulla verticale della galleria, sono riportati nelle tavole relative al profilo geologico, al profilo geomeccanico ed idrogeologico. In particolare è stato raffigurato, in corrispondenza del profilo della galleria, il tratto investigato dalla perforazione ed il livello medio della falda misurato nel tempo.

Come già anticipato per le diverse indagini pregresse sono talvolta disponibili dati relativi a diverse prove in sito fra cui, in particolare, prove d'assorbimento d'acqua in foro di sondaggio (prove Lugeon) condotte all'interno dei calcari marnosi del Flysch di Monte Antola.

Secondo specifica nelle indagini di progetto definitivo (anno 2005) le prove Lugeon sono state eseguite in avanzamento, con un solo packer, in modo da garantire una maggiore attendibilità del risultato. In questo modo, infatti, l'eventuale "aggiramento" del packer stesso da parte dell'acqua iniettata viene segnalato da una risalita del livello idrico nel foro, evento questo che determina l'annullamento della prova. Il tratto testato ha una lunghezza compresa fra 3 – 5 m, ed è pari ad 1 m in un solo caso. Le pressioni d'iniezione sono comprese fra un minimo di 10,99 ed un massimo di 36,6 t/m2. In quasi tutti i casi la curva portate assorbite – pressioni evidenzia una concavità che segnala l'aumento degli assorbimenti all'aumentare delle pressioni; tale comportamento è correlabile con un allargamento delle fratture o, più probabilmente, con una pulizia delle stesse. E' evidente altresì come il grafico dei gradini di portata in ritorno sia generalmente superiore a quello in andata, a conferma dell'avvenuta pulizia delle fessure. La tabella 3 riporta i risultati delle prove in argomento con i valori relativi alle Unità Lugeon ed ottenuti non matematicamente bensì per interpolazione grafica dei diagrammi di prova.

I dati acquisiti possono essere integrati dagli esiti delle prove Lugeon eseguite nell'ambito della campagna geognostica eseguita per la progettazione della galleria del Fereggiano e riassunte in Tabella 7.

Nel complesso ed in linea generale è possibile osservare un'ottima correlazione fra i risultati ottenuti nelle due distinte campagne d'indagine.

Tabella 7

Prove Lugeon effettuate per il progetto definitivo della galleria del Bisagno						
Sondaggio	Profondità (m)	Formazione	RQD (%)	UL (Unità Lugeon)	K m/sec	Note
S1D	80 – 83	Flysch di Monte Antola	54 - 78	0,37	3,70E-08	Materiale moderatamente fratturato
S2D	58 – 61	Flysch di Monte Antola	85 - 90	0,79	7,90E-08	Materiale integro o poco fratturato
S3D	68 – 73	Flysch di Monte Antola	29 - 71	3	3,00E-07	Materiale da poco a molto fratturato con intercalazioni argillitiche
Sondaggio	Profondità (m)	Formazione	RQD (%)	UL (Unità Lugeon)	K m/sec	Note
S3D (*)	68 - 73	Flysch di Monte Antola	29 - 71	0,23	2,30E-08	Prova ripetuta dopo cementazione
S 8D	54,5 – 55,5	Flysch di Monte Antola	34 - 61	6,4	6,40E-07	Materiale fratturato, localmente molto fratturato
S 8D	64 – 67	Flysch di Monte Antola	49 - 10	4,85	4,9E-07	Materiale molto fratturato a tratti brecciato
(*) Lugeon ripetuta dopo prova di cementazione del foro						

Tabella 8

Prove Lugeon effettuate per conto Italstrade nel 2/1989.						
Sondaggio	Profondità (m)	Formazione	RQD (%)	UL (Unità Lugeon)	K m/sec	Note
SF 4	60 – 65	Flysch di Monte Antola	75	0,42	4,2E-08	Perforazione a distruzione; RQD stimato
SF 4	71 – 76	Flysch di Monte Antola	30 - 68	0,05	5E-09	Intercalazioni di marna; materiale fratturato per 3 m
SF 4	80 – 85	Flysch di Monte Antola	60 - 80	0,22	2,2E-08	Materiale moderatamente fratturato
SF 5	31 - 36,7	Flysch di Monte Antola	60	0,13	1,3E-08	Materiale poco fratturato
SF 5	42,5 – 47,5	Flysch di Monte Antola	75 - 85	0,7	7E-08	Materiale poco fratturato
SF 5	50 – 55	Flysch di Monte Antola	15 - 25	0,93	9,3E-08	Materiale fratturato lungo tutta la tratta
SF 5	55 – 60	Flysch di Monte Antola	36 - 44	1	1E-07	Materiale fratturato lungo tutta la tratta
SF 6	46 – 51	Argille di Ortovero	86 - 95	0,048	4,8E-09	Materiale da integro a poco fraturato
SF 6	55 – 60	Flysch di Monte Antola	40 - 45	13	1,3E-06	Materiale fratturato con presenza di livelli di breccia
SF 8	6,5 – 11,5	Flysch di Monte Antola	70	35,5	3,6E-06	Materiale poco fratturato ma in condizioni di modesta copertura
SF 8	15 – 20	Flysch di Monte Antola	65 - 79	0,88	8,8E-08	Materiale poco fratturato
SF 8	20 – 25	Flysch di Monte Antola	50 - 93	3,4	3,4E-07	Materiale da fratturato (20-22,5) a poco fratturato

Le Tabella 7 e Tabella 8 riportano, per ciascuna prova, anche il valore dell'RQD come elemento per la valutazione dello stato di fratturazione della roccia. Com'è logico attendersi permeabilità dell'ammasso e stato di fratturazione sono strettamente correlati, ed infatti alle tratte maggiormente fratturate (RQD minore) corrispondono le maggiori permeabilità. Questo però non è sempre vero ed in alcuni casi si hanno valori di permeabilità elevati, o relativamente tali in relazione al tipo di materiale, anche in presenza di materiale poco fratturato. Tale condizione può essere spiegata con la presenza di un numero ridotto di fratture (al limite anche solo una) in corrispondenza delle quali, se sufficientemente aperte, può esservi un discreto assorbimento d'acqua.

L'insieme dei dati acquisiti evidenzia come possano esservi locali contesti a maggiore permeabilità anche al di fuori delle zone di maggior fratturazione (faglie) la cui esatta ubicazione, punto per punto, lungo il profilo della galleria, non è determinabile a priori.

Durante il corso dell'indagine è stata individuata, a seguito della prova Lugeon nel sondaggio S3D, una tratta la cui permeabilità può essere ritenuta rappresentativa dell'alternanza calcareo marnosa del Flysch di Monte Antola in facies molto fratturata. In corrispondenza di questo intervallo di profondità, compreso fra le profondità di 68 – 73 m da p.c., è stata eseguita una prova d'iniezione in foro con cemento ultrafine registrando gli assorbimenti indicati in Tabella 9.

Tabella 9

Prove di cementazione				
Sondaggio S3D			Prova di cementazione in foro	
Data: 02/08/2005			Tratto di prova: 68 - 73m da p.c.	
Cemento: Portland 425 ultrafine			Rapporto a/c: 1/5	
Tempo (min)	Miscela assorbita (l)	Portata (l/min)	Miscela totale (l)	Portata unitaria (l/min/m)
5	105	21,00	105	4,20
10	90	18,00	195	3,60
15	85	17,00	280	3,40
20	75	15,00	355	3,00
25	65	13,00	420	2,60
30	60	12,00	480	2,40
35	50	10,00	530	2,00
40	30	6,00	560	1,20
45	20	4,00	580	0,80
60	10	0,67	590	0,13
65	5	1,00	595	0,20
70	5	1,00	600	0,20

La prova, in particolare, ha dimostrato la buona iniettabilità della roccia.

Effettuando infine una seconda prova Lugeon sulla stesa tratta si è potuta verificare sperimentalmente la riduzione della permeabilità attesa a seguito dell'iniezione. Come si evince dai risultati riportati in Tabella 9 la riduzione della permeabilità è di almeno un ordine di grandezza.

In una prima fase i coefficienti di permeabilità degli ammassi rocciosi sono stati desunti dall'insieme delle prove Lugeon disponibili, ovvero quelle relative alle indagini del progetto definitivo e quelle eseguite da Italstrade per il Fereggiano .

La permeabilità a livello di ammasso nel Flysch di Monte Antola risulta generalmente compresa fra 1*e-8 – 1*e-9 m/sec, ed è correlabile con lo stato generale di fratturazione; aumenta sino ad 1*e-7 m/sec in presenza delle tratte maggiormente fratturate con punte che, eccezionalmente, in presenza di fratture aperte, con poco riempimento ed in condizioni di modesta copertura, raggiungono valori di 1*e-6 m/sec.

Per le Argilliti di Montoggio ubicate, nel caso in studio, in una tratta di modesta estensione compresa fra due faglie importanti, constatate le caratteristiche del materiale riscontrato nel sondaggio S8D, l'estesa presenza di brecce assimilabili a materiale sciolto, l'elevatissimo stato di fratturazione, la probabile presenza in profondità di fessure da accostate ad aperte, la presenza di frammenti e blocchi arenacei, a vantaggio di cautela si sono assunti valori di permeabilità dello stesso ordine di grandezza di quelli riscontrati nell'Antola

Sono ad oggi n fase di elaborazione le prove Lugeon e Lefranc eseguite nei sondaggi di PE (2017): SEB1, SEB2, SEB3, SEB4, SEB5 E SEB6.

Per l'ottimizzazione e distribuzione dei valori di permeabilità da attribuire all'ammasso roccioso è stata effettuata:

- una back analisys sul tratto realizzato della galleria del Fereggiano utilizzando un procedimento analitico derivato dalla letteratura tecnico scientifica (Fernandez 1994). Considerando la presenza di un rivestimento costituito da spritz e calcestruzzo per uno spessore medio di 50 cm, ed assegnando diversi valori di permeabilità alla roccia basati sui risultati delle prove in sito, si è cercata la soluzione per la quale la portata ottenuta dal modello di calcolo coincide o si approssima a quella realmente misurata all'uscita della galleria;
- una verifica del bilancio idrogeologico in corrispondenza della stessa galleria ove la portata drenata, da informazioni raccolte in sito, si mantiene costante nel tempo. Il modello matematico utilizzato, ricavato da un lavoro pubblicato da F. Federico su una rivista tecnica specializzata, si basa sui modelli di filtrazione La verifica effettuata con i valori di permeabilità assegnati all'ammasso, ed in presenza del drenaggio operato dalla galleria, dimostra come il livello della piezometrica rimanga sostanzialmente costante in presenza di un valore (cautelativo) di infiltrazione efficace.

I valori dei coefficienti di permeabilità k assegnati alle formazioni rocciose lungo il tracciato ed utilizzati in questo studio sono riportati nell'allegato profilo geomeccanico-idrogeologico.

7. VALUTAZIONE IDROGEOLOGICA IN CORSO D'OPERA

E' possibile prevedere, in fase di scavo e per le tratte all'interno del FMA da fratturato a poco fratturato, condizioni generali di stillicidio, localmente anche diffuso con portate che, valutate su un tratto di galleria di lunghezza pari a 100 m, saranno comprese fra 0,1 – 0,5 l/sec. Venute concentrate sono possibili, localmente, nelle aree interessate dal FMA in facies molto fratturata e/o brecciata, quindi in corrispondenza delle principali faglie e dislocazioni tettoniche. Qui potranno attendersi portate che, valutate su un tratto di galleria non rivestita lunga circa 50 m (estensione stimata delle zone di faglia) avranno punte massime nell'ordine di 1,5 – 2,5 l/sec.

La falda idrica presente lungo lo sviluppo dell'opera è contenuta all'interno delle bancate calcareo marnose del Flysch di Monte Antola, e pertanto eventuali variazioni del livello idrico imputabili agli scavi non determineranno ripercussioni sulle strutture in superficie. E' importante osservare come in fase costruttiva, prima quindi della messa in opera del rivestimento definitivo, il drenaggio operato dalla galleria assuma valori tali da non soddisfare il bilancio idrogeologico; potrà quindi attendersi in via transitoria un abbassamento della falda successivamente compensato dalla naturale ricarica. In questo frangente potrebbe esservi un minor apporto idrico da parte dei versanti nei confronti della falda di subalveo contenuta nelle alluvioni del Bisagno; tale minor apporto, estremamente modesto rispetto al contributo totale, non dovrebbe comunque determinare ripercussioni evidenti sulle opere di presa (pozzi) ivi esistenti.

Le considerazioni esposte andranno in ogni caso integrate con le informazioni che proverranno dalle attività di monitoraggio necessariamente previste in corso d'opera, per mezzo delle quali affinare il modello idrogeologico.

Indipendentemente dalle esigenze meno restrittive dedotte dalle verifiche strutturali sulla stabilità del cavo e dei rivestimenti sarà possibile ridurre le portate drenate dal cavo, durante l'avanzamento, attraverso la messa in opera del rivestimento definitivo, con relativa sezione di impermeabilizzazione e drenaggio, nel più breve tempo possibile. Pertanto il rivestimento definitivo seguirà a modesta distanza il fronte di scavo, e dovrà essere gettato ogni qualvolta si hanno venute d'acqua concentrate o comunque condizioni diverse da stillicidio pur diffuso.

8. VALUTAZIONE IDROGEOLOGICA IN ESERCIZIO

8.1. Note introduttive

In relazione alle evidenze raccolte dalle indagini e studi sul contesto idrogeologico in cui si colloca l'opera, sono discese le scelte progettuali inerenti tipologia e criteri di applicazione delle sezioni di drenaggio lungo lo sviluppo della galleria scolmatrice e della galleria di servizio.

La presenza di carichi idraulici significativi lungo gran parte dello sviluppo dell'opera rende necessaria la predisposizione di sezioni drenanti per la riduzione dei carichi medesimi su livelli compatibili con le capacità strutturali dei rivestimenti definitivi; localmente, laddove gli specifici contesti di intervento richiedono la predisposizione di un'opera non impattante sull'equilibrio idrogeologico originario, non saranno previste sezioni drenanti.

Dalle analisi svolte si evince in definitiva come, una volta ultimata la galleria, non siano da attendersi interferenze significative con il reticolo idrografico superficiale. In corrispondenza delle maggiori coperture si è assunto – in fase di verifica dei rivestimenti definitivi – un abbattimento della piezometrica originaria nell'ordine del 70%. A cavallo della galleria si avrà un locale abbassamento della falda che potrebbe risultare evidente in corrispondenza dei rii minori dell'area cittadina, spesso comunque tombati lungo buona parte del percorso. Per tale ragione si è prevista la completa impermeabilizzazione della galleria in tali contesti.

Viste anche le distanze in gioco si ritiene che non vi saranno effetti sui pozzi e sulle sorgenti, ad eccezione della sorgente SG4 posta praticamente sulla verticale della galleria. Tale sorgente, di cui non è possibile garantire la sopravvivenza, ha comunque portate molto contenute, non continue e non è ad oggi in alcun modo utilizzata.

A seguire si illustrano le soluzioni previste per le differenti porzioni di opera.

8.2. Finestra di servizio

Non è previsto l'allestimento di sezioni tipo drenanti lungo la tratta che si estende dall'imbocco della finestra stessa sino al raggiungimento di coperture minime dell'ordine dei 60-70 m; l'eventuale estensione di tale tratta a zero impatto, anche alle progressive superiori della finestra di servizio, sarà valutata in corso d'opera in relazione alle evidenze raccolte durante la fase di scavo (fenomeni idrici rilevati al fronte/cavo). Al contorno dei rivestimenti definitivi sarà applicato un manto di impermeabilizzazione composto da TNT + PVC, con installazione al piede di tubi PVC ciechi.

La restante tratta dell'opera prevedrà la posa in opera di un pacchetto di impermeabilizzazione costituito da tessuto non tessuto (grammatura 500 gr/mq) unito a telo in PVC sp. 2 mm, sulle superfici di piedritto e calotta; al piede del manto di impermeabilizzazione saranno collocati tubi longitudinali in PVC finestrati, per la raccolta delle acque di infiltrazione dall'ammasso. Da questi le acque saranno recapitate al tubo collettore centrale in arco rovescio mediante tubazioni laterali di scarico poste ad interasse non inferiore a 25 m, da definirsi in relazione alle evidenze idriche riscontrate in fase di scavo.

8.3. Galleria scolmatrice – tratta scavata con metodo tradizionale a monte del camerone di montaggio TBM

Non è previsto l'allestimento di sezioni tipo drenanti lungo la tratta che si estende dallo sbocco sull'alveo Bisagno sino al raggiungimento di coperture minime dell'ordine dei 60-70 m; l'eventuale estensione di tale tratta a zero impatto (200 m nella configurazione associata alla configurazione progettuale sopra descritta), anche alle progressive superiori della galleria, sarà valutata in corso d'opera in relazione alle evidenze raccolte durante la fase di scavo (fenomeni idrici rilevati al fronte/cavo).

La configurazione non drenante dell'opera prevede che al contorno dei rivestimenti definitivi sarà applicato un manto di impermeabilizzazione composto da TNT + PVC, con installazione al piede di tubi PVC ciechi.

Nella restante tratta dell'opera – prevista in configurazione drenante, sarà prevista la posa in opera di un pacchetto di impermeabilizzazione costituito da tessuto non tessuto (grammatura 500 gr/mq) unito a telo in PVC sp. 2 mm, sulle superfici di piedritto e calotta; al piede del manto di impermeabilizzazione saranno collocati tubi longitudinali in PVC finestrati, per la raccolta delle acque di infiltrazione dall'ammasso. Da questi le acque saranno recapitate al tubo collettore centrale in arco rovescio mediante tubazioni laterali di scarico poste ad interasse non inferiore a 25 m, da definirsi in relazione alle evidenze idriche riscontrate in fase di scavo.

8.4. Galleria scolmatrice – tratta scavata con sistema meccanizzato

E' previsto l'allestimento di una configurazione della galleria drenante su tutta la tratta allo scopo di ridurre eventuali carichi idrostatici non compatibili con le capacità statiche dei rivestimenti della galleria, fatta eccezione per le tratte a minore copertura (e corrispondenti battenti idrostatici) laddove la galleria non sarà drenante. Tali tratte sono state individuate, in questa fase, in corrispondenza dei seguenti:

- settore di 150 m di sviluppo nel sotto-attraversamento valle Q.re Terpi - valle del Rio Mermi;
- settore di 150 m di sviluppo nel sotto-attraversamento zona V. Ginestrato (impluvio Fereggiano);
- settore di 3000 m di sviluppo dal sotto-attraversamento del complesso ospedaliero di San Martino sino allo sbocco a mare

L'intervento tipico prevede dunque l'installazione del manto di impermeabilizzazione costituito da TNT + PVC, la predisposizione al piede dello stesso di tubazioni longitudinali in PVC finestrato/cieco (si vedano considerazioni a seguire) e tubazioni trasversali di scarico delle medesime verso il tubo centrale collettore che corre all'interno del concio di base, sino allo sbocco a mare.

In sede di progettazione esecutiva, per le tratte di galleria scolmatrice previste drenanti, si è proceduto con l'adozione del medesimo allestimento del sistema di raccolta e smaltimento delle acque di infiltrazione previsto dal Progetto Definitivo generale redatto nell'anno 2007. Tale assunzione discende dalla validità degli studi e valutazioni formulate in seno allo studio idrogeologico del Progetto Definitivo stesso. In particolare si sono considerati determinati intervalli di installazione di tratti di tubazioni laterali di piedritto finestrate, con relative tubazioni di scarico trasversale verso il collettore centrale inglobato nel concio di base:

- **intervallo tipo 1**: tratto finestrato tubazioni longitudinali + tubazioni trasversali di scarico verso collettore centrale: collocazione ogni 50-80 m, con lunghezza del tratto finestrato e interasse specifico da definirsi in corso d'opera in relazione alle evidenze raccolte in fase di scavo in termini di manifestazioni idriche (entità e stato di pressione delle venute);
- **intervallo tipo 2**: tratto finestrato tubazioni longitudinali + tubazioni trasversali di scarico verso collettore centrale: collocazione ogni 80-120 m, con lunghezza del tratto finestrato e interasse specifico da definirsi in corso d'opera in relazione alle evidenze raccolte in fase di scavo in termini di manifestazioni idriche (entità e stato di pressione delle venute) – tale intervallo di applicazione è definito in particolare per le tratte caratterizzate da ammasso in condizioni più fratturate rispetto alla prevalente condizione di ammasso a basso grado di fratturazione;
- **intervallo tipo 3**: tubazione longitudinale finestrata continua + tubazioni trasversali di scarico verso collettore centrale ogni 20 - 25 m – tale intervallo di applicazione è definito in particolare per le tratte poste in corrispondenza delle maggiori coperture ovvero dei maggiori battenti idrostatici teorici (indicativamente carico idraulico iniziale maggiore di 100 m, con abbattimento stimato nella misura del 70% circa del carico iniziale stesso). Trattasi nello specifico del settore di galleria compreso fra le pk 4+000 e 5+150 ca.

Laddove la galleria non sarà drenante, si provvederà all'installazione di tubazioni longitudinali cieche al piede dell'impermeabilizzazione, in luogo di tubazioni in PVC finestrato.

8.5. Stima delle portate stabilizzate nelle condizioni di esercizio dell'opera

Nella configurazione idraulica generale sopra descritta, stanti le ipotesi sull'assetto idrogeologico (PD) e l'allestimento del sistema drenante della galleria (frequenza delle tubazioni laterali di scarico dall'ammasso al collettore centrale in arco rovescio), si prevede che l'intero sistema produca nella sezione di C.so Italia una portata drenata nell'ordine dei 4.5 l/s. Contribuiscono a tale portata le acque drenate dagli ultimi 150 m della Finestra Sciorba e relativo camerone, confluenti nella galleria scolmatrice.

8.6. Recapito finale delle acque d'infiltrazione e gestione presso utenze concessionari spiaggia San Giuliano

In sede di PE si è sviluppata una specifica soluzione tecnica basata sull'introduzione di un pozzo di accumulo delle acque d'infiltrazione collettate lungo la galleria scolmatrice dalla tubazione alloggiata entro il concio di base. Il pozzo è previsto essere ubicato in corrispondenza della galleria artificiale che precede il manufatto di sbocco a mare, per l'esattezza all'altezza della sezione immediatamente a valle degli archi di Corso Italia, e potrà essere equipaggiato con pompa sommersa per l'emungimento dell'acqua di falda ivi accumulatasi, a fruizione dei concessionari della spiaggia San Giuliano.

Il pozzo come concepito consente di mantenere le acque di falda separate dall'acqua salata. In assenza di emungimento, lo scarico del pozzo avviene senza il ricorso ad organi meccanici che richiedano alimentazione, semplicemente per gravità da sfioro superiore che restituisce le acque al mare.

Tale manufatto consente pertanto di scaricare, in ogni caso, la portata raccolta dal sistema di tubazioni installato in galleria per rendere efficace il drenaggio e la conseguente riduzione delle pressioni d'acqua sui rivestimenti (esigenze statiche della galleria).Qualora ve ne sia necessità, è comunque possibile utilizzare tale afflusso come risorsa per alimentare utenze concessionari spiaggia San Giuliano.

9. MONITORAGGIO

La costruzione della galleria avrà un effetto sul profilo della falda che interesserà non solo il tratto posto sulla verticale della stessa ma anche un intorno valutabile in circa un centinaio di metri.

La galleria modifica l'equilibrio idrogeologico del tratto attraversato nelle seguenti fasi di realizzazione:

in regime transitorio, ossia durante le fasi di scavo ed avanzamento;

durante la fase di esercizio della struttura.

L'attività di monitoraggio prevista deve perciò procedere nelle seguenti direzioni:

All'esterno della galleria:

dovranno essere posti sotto controllo, in termini di portata le sorgenti, e in termini di livello idrico i piezometri ed i pozzi esistenti e riportati sulle tavole allegate. Tale operazione verrà effettuata prima, durante e dopo la costruzione dell'opera. In questo modo sarà possibile verificare l'interferenza nel tempo della galleria con l'acquifero e con l'ambiente idrogeologico. Le misurazioni sui piezometri permetteranno in particolare di verificare puntualmente l'abbassamento della falda confrontandone i valori con quanto riportato nei calcoli. Se necessario per le fasi successive si potrà prevedere la messa in opera di ulteriori piezometri, anche in corrispondenza delle opere di presa, per integrare e/o sostituire quelli esistenti e nel frattempo danneggiati o comunque non più operativi.

All'interno della galleria:

l'operazione di monitoraggio avverrà attraverso la misura delle portate emunte sia in fase di avanzamento del fronte di scavo sia dopo la posa in opera del rivestimento definitivo. Il controllo avverrà anche attraverso celle piezometriche installate tra il rivestimento e la roccia. Con tali accorgimenti sarà possibile verificare la posizione della superficie piezometrica ipotizzata in fase di studio, valutare la necessità di interventi di impermeabilizzazione e/o l'avanzamento sino al fronte dei rivestimenti definitivi, e controllare e confrontare i dati reali ottenuti sul campo con quelli teorici dedotti dai calcoli. Sarà possibile altresì, attraverso una analisi a ritroso, determinare con maggior precisione la permeabilità degli ammassi rocciosi.

Monitoraggio geologico:

bisogna infine provvedere ad un monitoraggio geologico durante l'avanzamento, in modo da essere in grado di prevedere, con un certo anticipo, la possibilità di incontrare zone particolarmente fratturate e permeabili;

sulla base di tale monitoraggio geologico potranno essere previste le venute di acqua concentrate nonché le tratte di galleria più significative per l'installazione di piezometri ed anche di sezioni strumentate in galleria (attrezzate con celle di carico e martinetti piatti) finalizzate al monitoraggio dell'interazione roccia/rivestimento .

10. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

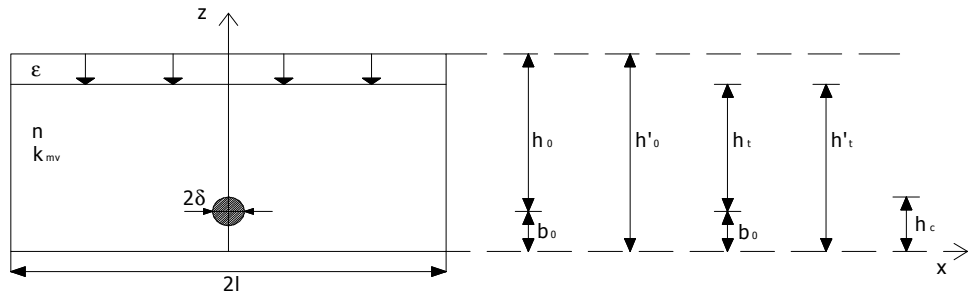
- Federico F. (1985) “Il processo di drenaggio da una galleria in avanzamento” Rivista Italiana di Geotecnica
- Fernandez G. (1994) “Behaviour of pressure tunnels and guidelines for liner design” – Journal Geotechnical Engineering ASCE – Vol. 120 – N° 10
- Fernandez G., Tirso A. Alvatrez (1994) “Seepage induced effective stresses and water pressures around pressure tunnels” – Journal Geotechnical Engineering ASCE – Vol. 120 – N° 1
- Harr M.E. – Groundwater and seepage McGraw – Hill
- Sato K. (1983) – Hydraulic character of discharge hydrograph for tunnelling – Soil and Foundation Vol. 23 n. 4, pp. 27-33
- Stagg – Zienkiewics (1968) – Rock mechanics in Engineering Practice.

ALLEGATO

Valutazione del bilancio idrogeologico

Moto prevalentemente verticale

Schematizzazione del problema



Simbologia utilizzata nella schematizzazione e nelle formule

- ↔ = intensità di infiltrazione (m/anno)
- ↔ = raggio della galleria (m)
- b_o = (7) distanza del centro della galleria da una superficie piana impermeabile al flusso, che delimita inferiormente la regione del moto (m)
- l = distanza del centro della galleria da una superficie piana verticale impermeabile al flusso, che delimita lateralmente la regione del moto (m)
- n = porosità dell'ammasso roccioso
- k_{mv} = permeabilità modificata (m/s)
- h_o = quota piezometrica iniziale, misurata dal centro della galleria (m)
- $h'_0 = h_o + b_0$
- h(t) = quota piezometrica al tempo t (m), misurata dal piano z = 0
- $h'(t) = h(t) + b_0$
- h_c = (b_0+) quota piezometrica al contorno della galleria (m)
- q(t) = portata filtrante in un tronco di galleria di lunghezza 1m ((l/s)/m)
- q_o = portata filtrante in un tronco di galleria di lunghezza 1m al tempo t=0
- F = fattore di forma
- G = coefficiente numerico

Formule

Soluzione analitica

Caso a: presenza di pioggia $\varepsilon \neq 0$

$$q(t) = q_0 \cdot e^{-T} + 2 \cdot \varepsilon \cdot l \cdot (1 - e^{-T})$$

$$h_t^{'} = h_0^{'} \cdot e^{-T} + \frac{2 \cdot \varepsilon \cdot l}{F \cdot k_{mv}} \cdot (1 - e^{-T})$$

con:

$$q_0 = F \cdot k_{mv} \cdot h_0^{'}$$

$$T = \frac{F \cdot k_{mv} \cdot t}{2l \cdot n}$$

$$F = \frac{h'_0 - h_c}{h'_0} \cdot \frac{4\pi}{\ln\left[sh\frac{\pi \cdot (h'_0 - b_0)}{l} \cdot sh\frac{\pi \cdot (h'_0 + b_0)}{l} \right] - G}$$

$$G = \ln\left[\frac{2 \cdot \pi \cdot \delta}{l} \cdot \frac{\pi \cdot b_0}{l} \right]$$

$$h_c = b_0 + \delta$$

Limiti

$$\lim_{t \to \infty} T(t) = \infty$$

$$\lim_{t \to \infty} q(t) = 2l\varepsilon$$

$$\lim_{t \to \infty} h_t^{'} = \frac{2l\varepsilon}{F \cdot k_{mv}}$$

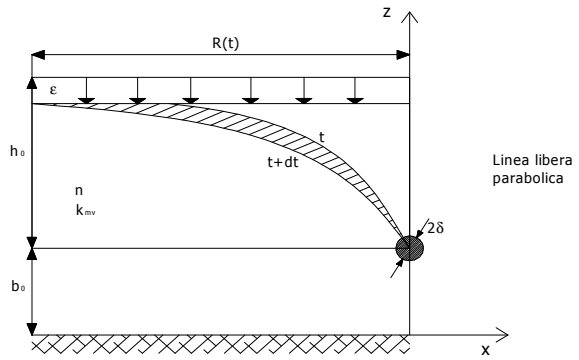
Caso b: assenza di precipitazioni $\varepsilon = 0$

$$q(t) = q_0 \cdot e^{-T}$$

$$h_t^{'} = h_0^{'} \cdot e^{-T}$$

Moto prevalentemente orizzontale

Schematizzazione del problema



Simbologia utilizzata nella schematizzazione e nelle formule

- 0 intensità di infiltrazione (m/anno)
- 0 raggio della galleria (m)
- b_o = (70) distanza del centro della galleria da una superficie piana impermeabile al flusso, che delimita inferiormente la regione del moto (m)
- n = porosità dell'ammasso roccioso
- k_{mv} = permeabilità modificata (m/s)
- h_o = quota piezometrica iniziale, misurata dal centro della galleria (m)
- q(t) = portata filtrante in un tronco di galleria di lunghezza 1m ((l/s)/m)
- 0 = coefficiente
- 0 = coefficiente funzione del tempo t

Formule

Soluzione analitica

Caso a: presenza di pioggia $\varepsilon \neq 0$

$$\varepsilon \neq 0$$

$$R(t) = \sqrt{\frac{k_m}{2 \cdot \varepsilon}\left(h_0^2 + 2b_0 \cdot h_0\right) \cdot \beta^2}$$

$$q(t) = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot k_m}{\beta^2}\left(h_0^2 + 2b_0 \cdot h_0\right)}$$

con:

$$\alpha = \frac{6 \cdot \varepsilon}{n \cdot h_0}$$

$$\beta = \sqrt{1 - e^{-\alpha \cdot t}}$$

Limiti

$$\lim_{t \to \infty} R(t) = \sqrt{\frac{k_m}{2 \cdot \varepsilon}\left(h_0^2 + 2b_0 \cdot h_0\right)}$$

$$\lim_{t \to \infty} q(t) = \sqrt{2 \cdot \varepsilon \cdot k_m \left(h_0^2 + 2b_0 \cdot h_0\right)}$$

Caso b: assenza di precipitazioni $\varepsilon = 0$

$$\varepsilon = 0$$

$$R(t) = \sqrt{3k_m \cdot \left(h_0 + 2b_0\right) \cdot \frac{t}{n}}$$

$$q(t) = h_0 \cdot \sqrt{k_m \cdot n \cdot \left(h_0 + 2b_0\right) \cdot \frac{1}{3t}}$$

Limiti

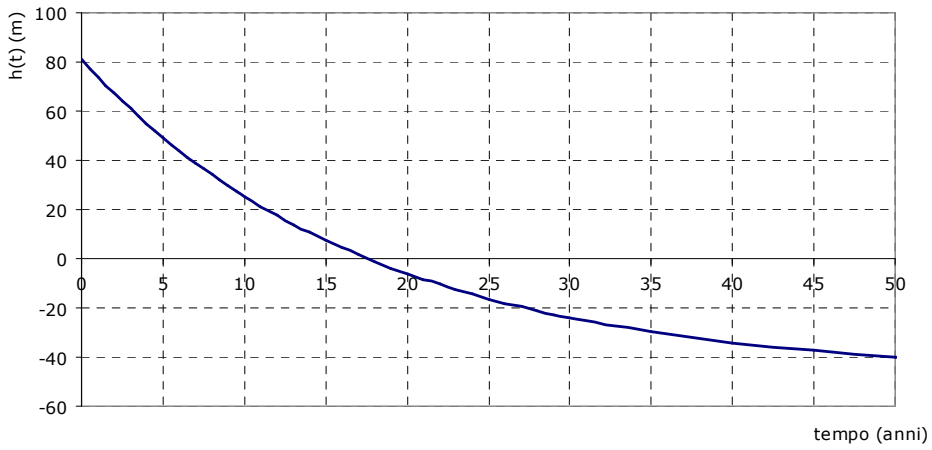
$$\lim_{t \to \infty} R(t) = \infty$$

$$\lim_{t \to \infty} q(t) = 0$$

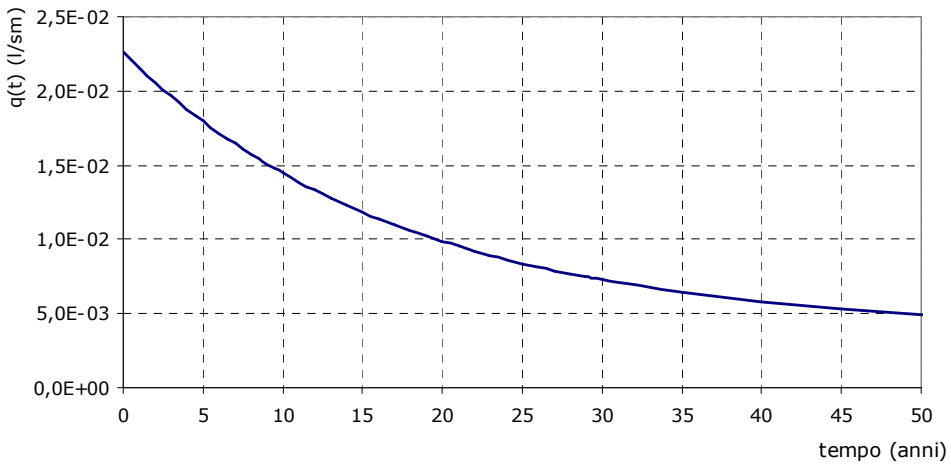
Bisagno. Condizioni in fase di avanzamento; progressiva 2750.

Dati di input per la verifica del bilancio idrogeologico mediante i modelli di filtrazione								
				Caratteristiche dell'ammasso			Battente piezometrico	Raggio della galleria
Galleria	Modello	Infiltrazione efficace η		Coefficiente di premeabilità k_{mv}		Porosità	h_0	η
		[m/anno]	[m/s]	[m/anno]	[m/s]	[-]	[m]	[m]
Bisagno progressiva 2760m in scavo	Flusso verticale	0,3	9,51E-09	3,47E+00	1,10E-07	0,2	81	10,5
Bisagno progressiva 2760m in scavo	Flusso orizzontale	0,3	9,51E-09	3,47E+00	1,10E-07	0,2	81	10,5

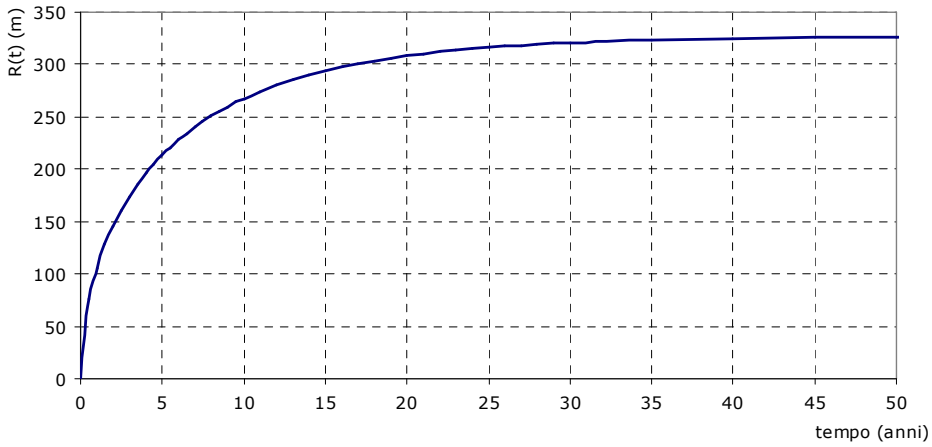
Andamento del carico piezometrico in funzione del tempo



Andamento della portata in funzione del tempo



Andamento di R in funzione del tempo



Andamento della portata in funzione del tempo

