

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI
PROGETTO ESECUTIVO

**GALLERIA NATURALE SERRAVALLE – IMBOCCO SUD - RELAZIONE
GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI	
Consorzio Cociv Ing. P.P. Marcheselli		

COMMESSA

I G 5 1

LOTTO

0 2

FASE

E

ENTE

C V

TIPO DOC.

R O

OPERA/DISCIPLINA

G A 1 K 0 0

PROGR.

0 0 1

REV.

A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	GDP	15/07/2013	Rocksoil	15/07/2013	A. Palomba	19/07/2013	

n. Elab.:

File: IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00

CUP: F81H92000000008

GENERAL CONTRACTOR  CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Foglio 3 di 28
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00	

INDICE

INDICE	3
1. PREMESSA.....	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3. ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO	5
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
4.1. Evoluzione tettonostratigrafica del Bacino Terziario Piemontese (BTP)	7
4.2. Caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche delle unità del Bacino Terziario Piemontese interessate dall'opera in progetto	9
4.2.1. Formazione di Costa Aresca	9
4.2.2. Marne di Cessole.....	9
4.3. Depositi alluvionali del bacino alessandrino	10
4.3.1. Depositi alluvionali recenti (fl3)	10
4.4. Depositi colluviali.....	11
4.5. Depositi antropici di riporto.....	11
5. ASSETTO GEOMORFOLOGICO.....	11
5.1. Attività antropica.....	12
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	13
7. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	14
7.1. Contesto Idrogeologico generale	14
7.1.1. Marne di Cessole.....	16
7.1.2. Formazione di Costa Aresca litofacies torbiditica (fc)	17
7.1.3. Depositi alluvionali recenti (fl3)	19
7.1.4. Depositi colluviali (c)	19
7.1.5. Depositi antropici di riporto.....	20
7.2. Piezometria e sistemi di flusso	20
8. CONDIZIONI GEOLOGICHE ATTESE IN CORRISPONDENZA DELL'OPERA.....	24
8.1. Condizioni geologico-geomorfologiche	24
8.2. Condizioni idrogeologiche	24
8.2.1. Modello idrogeologico	24
9. BIBLIOGRAFIA.....	26

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00 Foglio 4 di 28

1. PREMESSA

Il presente rapporto riguarda la realizzazione dell'opera identificata dal codice WBS GA1K, relativa all'imbocco Sud della galleria naturale Serravalle. L'intervento si inserisce nel quadro delle opere di linea previste dal Progetto Esecutivo del nuovo collegamento AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi".

La presente nota costituisce una revisione e un aggiornamento degli studi geologici eseguiti in fase di Progetto Definitivo, rispetto alla quale sono stati eseguiti *ex novo* alcuni rilievi geologici integrativi di superficie. Al momento dell'emissione del presente rapporto non sono ancora disponibili tutti i risultati delle nuove indagini geognostiche previste in fase di Progetto Esecutivo per l'affinamento della caratterizzazione geologica e geotecnica dell'opera.

Le parti generali relative all'inquadramento geologico ed idrogeologico sono state redatte considerando le caratteristiche del settore di pianura situato lungo la sinistra idrografica del fiume Scrivia, in prossimità del comune di Arquata Scrivia (AL) al fine di rendere più esauriente la trattazione dal punto di vista del contesto geologico-strutturale e idrogeologico in cui si inseriscono le opere oggetto del presente rapporto.

Questo rapporto descrive quanto rappresentato negli elaborati grafici allegati:

- profilo geologico generale;
- sezioni geologico-stratigrafiche trasversali;
- carta geologica, geomorfologica e idrogeologica.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente rapporto fa riferimento alla seguente documentazione:

- R.D. 3267/1923 "Boschi e foreste" (vincolo idrogeologico).
- D.M. 11/03/1988 e s.m.i. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e le scarpate, i criteri generali, e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Circ. LL.PP. 24/09/1988 n. 30483 "Norme tecniche per terreni e fondazioni Istruzioni applicative".
- OPCM 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Variante Generale di P.R.G.C. del Comune di Arquata Scrivia (AL), approvata con D.G.R. n°18-1639 del 11 dicembre 2000.

GENERAL CONTRACTOR  CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00 Foglio 5 di 28

3. ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO

Lo studio geologico-geomorfologico e idrogeologico del sito di intervento ha previsto:

- l'esecuzione di una ricerca bibliografica;
- il rilevamento di terreno e l'acquisizione dei dati geologici, geomorfologici ed idrogeologici relativi alle aree di intervento;
- l'analisi ed interpretazione delle immagini aeree disponibili;
- la revisione critica dei dati della campagna geognostica del Progetto Definitivo approvato nel 2005, nonché delle relazioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del medesimo Progetto Definitivo (PD);
- l'esame dei dati dei sondaggi e delle indagini integrative richieste in sede di Progettazione Esecutiva (ove disponibili);
- l'interpretazione dei dati raccolti sul terreno alla luce dell'insieme delle informazioni disponibili;
- la redazione degli elaborati geologici del Progetto Esecutivo (PE).

L'elaborazione dei dati è stata eseguita in ottemperanza alle specifiche tecniche di progettazione e alle richieste di approfondimento riportate nella delibera CIPE n. 80/2006, relative alle opere in oggetto.

Il gruppo di lavoro è così costituito:

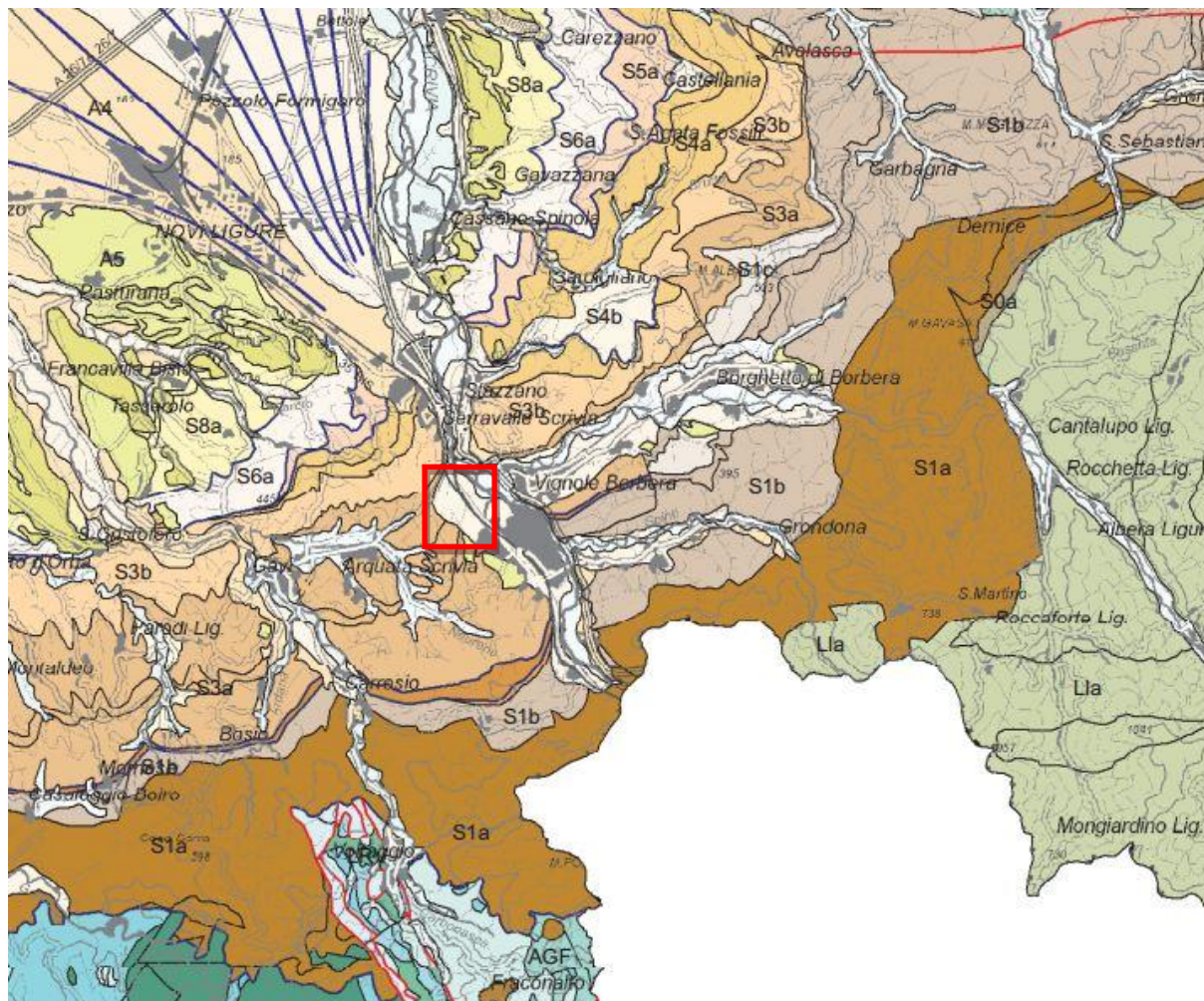
- coordinamento generale: Dott. Geol. Luca Delle Piane (responsabile di progetto);
- supervisione e controllo elaborati: Dott. Geol. L. Delle Piane, Dott. Geol. Paolo Perello;
- rilevamento geologico-strutturale, sedimentologico-stratigrafico e geomorfologico: Dott. Geol. L. Delle Piane, Dott. Geol. P. Perello, Dott. Geol. Antonio Damiano, Dott.sa Geol. Alessandra Giorza, Dott.sa Geol. Alessia Musso, Dott. Geol. Dario Varrone;
- idrogeologia, modellazione idrogeologica numerica, idrogeochimica: Dott. Geol. Alessandro Baietto, Dott.sa Geol. Laura Citernesì;
- elaborazioni GIS e CAD: Dott.sa Geol. A. Musso, Dott.sa Geol. A. Giorza, I. Zatti.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto d'intervento è situata lungo il versante idrografico sinistro del fiume Scrivia, poco prima del suo sbocco nella pianura alessandrina. Si tratta di un settore in cui alle successioni sedimentarie terrigene, riferibili al settore meridionale del Bacino Terziario Piemontese (BTP)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00 Foglio 6 di 28

seguono, in discontinuità, i depositi alluvionali pleistocenico-olocenici del bacino di Alessandria, rappresentati in questo settore dai depositi del T. Scrivia (Figura 1).



LEGENDA

Depositi alluvionali

A1/A6 depositi alluvionali del bacino alessandrino (Pleistocene medio – Attuale)

Bacino Terziario Piemontese

S8a Successioni margoso-siltose zancleane; **S6a** Successioni terrigene messiniane; **S4c** Evaporiti e successioni euxiniche messiniane; **S4b** Corpi arenaceo-conglomeratici tortoniano-messiniani; **S4a** Successioni marnose tortoniano-messiniane; **S3b** Successioni arenaceo-pelittiche ed arenacee serravalliano-tortoniane; **S3a** Successioni arenaceo-pelittiche e marnose burdigaliano-langhiane; **S2a** Successioni prevalentemente carbonatiche burdigaliane; **S1d** Depositi silicei aquitaniano-burdigaliani; **S1b** Successioni marnose rupeliano-aquitane; **S1c** Corpi lenticolari arenaceo-conglomeratici rupeliano-aquitane; **S1a** Successioni arenacee e arenaceo-pelittiche rupeliane.

Dominio Ligure-Piemontese (unità non metamorfiche) - Flysch ad Helminthoides dell'Appennino

L1a Formazione del M. Antola, Formazione di Bruggi-Selvapiana, Argilliti di Pagliaro (Campaniano-Maastrichtiano p.p.); **L1c** Flysch di Monte Cassio (Cretacico sup.-Eocene inf.?).

Figura 1 – Estratto della nuova Carta Geologica del Piemonte in scala 1:250.000 (Piana et al., in prep.) con l'ubicazione dell'area di studio. La parte in bianco ricade in territorio ligure.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00 Foglio 7 di 28

4.1. Evoluzione tettonostratigrafica del Bacino Terziario Piemontese (BTP)

I depositi del BTP ricoprono in discordanza unità di diversa composizione e pertinenza crostale (unità metamorfiche alpine e unità sedimentarie liguri), che sono state tra loro giustapposte dalla fase collisionale eocenica mesoalpina (Castellarin, 1994), corrispondente alla “fase ligure” (Elter & Pertusati, 1973). Tale configurazione è il risultato dell'evoluzione collisionale, a doppia vergenza, della catena alpina (Roure et al., 1996) che ha portato all'individuazione, sul suo lato interno, di un prisma orogenico complesso, riconoscibile anche nel sottosuolo fino ad una profondità di 6-7 km.

A partire dall'Eocene superiore e fino a tutto l'Oligocene inferiore, al di sopra della parte interna del prisma orogenico alpino si è sviluppato un bacino (Bacino Terziario epi-mesoalpino di Mutti et al., 1995) che può essere considerato come un bacino di retroforeland alpino in cui si sono deposte le successioni basali (Oligocene inferiore) del BTP e dei bacini epiliguri dell'Appennino settentrionale. Questo bacino si è sviluppato in seguito al retroscorrimento delle unità metamorfiche alpine su quelle liguri (fase mesoalpina o ligure Auct.). I retroscorrimenti mesoalpini sono ben documentati nel sottosuolo padano (Roure et al., 1990; Fantoni et al., 2002), mentre in superficie sono rappresentati dalla Zona Sestri-Voltaggio (Cortesogno et al., 1979; Cortesogno & Haccard, 1984; Hoogerduijn Strating, 1994).

Alla fine dell'Oligocene inferiore, il contesto geodinamico regionale viene modificato dall'apertura del Bacino Ligure-Provenzale. Di conseguenza, tra l'Oligocene superiore e il Miocene medio, la cinematica di questa parte della catena alpina viene influenzata dagli eventi tettonici coevi alla costruzione della catena appenninica e la parte occidentale del bacino di retroforeland alpino viene incorporato in una nuova catena, ora a vergenza appenninica, differenziandosi in diversi domini tettono-stratigrafici, costituiti da successioni sedimentarie solo parzialmente confrontabili:

- l'Alto Monferrato e il bacino delle Langhe, sviluppati su un substrato costituito da unità metamorfiche alpine;
- il Monferrato e la zona Borbera-Grue, le cui successioni si sono deposte su unità liguri non metamorfiche (Piana & Polino, 1995; Biella et al., 1997);
- la Collina di Torino, poggiante su un substrato costituito da unità sudalpine (Mosca et al., 2009).

A partire dal Serravalliano, le successioni del BTP vengono coinvolte nella tettonica Nord-vergente padana (Falletti et al., 1995). I vari domini tettonostratigrafici prima individuati vengono ad assumere la posizione di bacini satellite al di sopra del thrust belt sud-padano (Laubscher et al., 1992; Piana, 2000). Infine, nel Miocene superiore si individua il “thrust frontale padano” attraverso il quale il thrust belt sud-padano sovrascorre sull'avanfossa padana (ovvero appenninica) nel corso del Plio-Pleistocene.

In posizione interna rispetto al thrust belt sud-padano si riconoscono due settori in subsidenza (Alessandria e Savigliano), la cui evoluzione post-pliocenica è da mettere in relazione a strutture compressive tardo mioceniche-attuali. In queste aree sono stati riconosciuti oltre 3.000 m di sedimenti plio-quadernari (Pieri & Groppi, 1981). Nel complesso la successione sedimentaria del BTP, prevalentemente terrigena-silicoclastica, si sviluppa dall'Eocene superiore al Miocene

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Foglio 8 di 28
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00	

superiore (Messiniano), raggiungendo spessori che superano talora i 4.000 m (Mutti et. al., 1995). Sulla base dei dati biostratigrafici e litostratigrafici, la successione sedimentaria del BTP è stata suddivisa in unità e gruppi di unità delimitati da superfici di discontinuità, cui corrispondono specifici eventi tettonici e variazioni assolute del livello marino.

Nell'intento di garantire una continuità tra la terminologia adottata in fase di Progetto Definitivo ed Esecutivo, senza tuttavia tralasciare le informazioni derivanti dai dati di letteratura più recenti, è stata realizzata una tabella (Tabella 1) in cui è messa a confronto la nomenclatura derivante dalla cartografia ufficiale e quella impiegata in fase di Progetto Esecutivo.

In Tabella 1 sono inoltre evidenziati (in corsivo sottolineato) i casi in cui l'implementazione delle conoscenze in fase esecutiva ha imposto una variazione/integrazione della nomenclatura, della gerarchia e/o della descrizione delle unità stratigrafiche interessate dall'opera.

CARTA GEOLOGICA DEL PIEMONTE alla scala 1:250.000 (in prep).	CATALOGO delle FORMAZIONI ITALIANE e CARIMATI (cfr. Carta geologica d'Italia, scala 1:100.000 e PROGETTO CARG, scala 1:50.000)		Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" PROGETTO DEFINITIVO		Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" PROGETTO ESECUTIVO	
Successioni terrigene messiniane, S6a	Gruppo della Gessoso-Solfifera	Formazione di Cassano Spinola, CSS	Conglomerati di Cassano Spinola, cC		Gruppo della Gessoso-Solfifera	Conglomerati di Cassano Spinola, cC
Evaporiti clastiche messiniane, S5a		Complesso Caotico della Valle Versa, CTV	Formazione Gessoso-Solfifera, gS			<u>Complesso Caotico della Valle Versa, gS</u>
Successioni marnose tortoniano-messiniane, S4a	Marne di S. Agata Fossili, SAF		Marne di S. Agata Fossili	marne e peliti, mA1	Marne di S. Agata Fossili	marne e peliti, mA1
Corpi arenaceo- conglomeratici tortoniano-messiniani, S4b				areniti fini, mA2		areniti fini, mA2
Successioni arenaceo- pelitiche ed arenacee serravalliano-tortoniane, S3b	Formazione di Serravalle, SEV		Arenarie di Serravalle, aS		Arenarie di Serravalle, aS	
Successioni arenaceo- pelitiche e marnose burdigaliano-langhiane, S3a	Marne di Cessole, CES		Marne di Cessole, mC		Marne di Cessole, mC	
	Formazione di Costa Areaa		Formazione di Costa Areaa, fC		Formazione di Costa Areaa, fC	
					<u>Formazione di Costa Areaa, areniti medie e fini, fCa</u>	

Tabella 1 - Tabella nomenclaturale riassuntiva delle unità stratigrafiche del Bacino Terziario Piemontese presenti in letteratura messi a confronto con i termini e le sigle di progetto nelle fasi Definitiva ed Esecutiva. In rosso sono evidenziati i termini oggetto di revisione (come terminologia, gerarchia e/o come descrizione) in fase di Progetto Esecutivo.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00
	Foglio 9 di 28

4.2. Caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche delle unità del Bacino Terziario Piemontese interessate dall'opera in progetto

Nell'ambito del BTP, l'opera in progetto attraversa i litotipi riferibili alla formazione di Costa Areasa e alle Marne di Cessole, la cui descrizione di seguito riportata è relativa agli studi di dettaglio condotti in fase di Progetto Esecutivo, nelle aree oggetto d'intervento, implementati con informazioni provenienti dal Progetto Definitivo nonché dai dati presenti in letteratura.

4.2.1. Formazione di Costa Areasa

La formazione di Costa Areasa (fC) è costituita da alternanze di strati arenaceo-pelitici, torbiditici e livelli di emipelagiti. Il rapporto arenaria/pelite è <1 . Le arenarie sono da medie a fini. Gli strati arenacei decimetrici sono interamente laminati con lamine parallele e subordinatamente lamine oblique a piccola scala. Gli strati metrici mostrano gradazione normale alla base e lamine parallele, lamine convolute e/o lamine oblique a piccola scala al tetto; alla base degli strati arenacei sono spesso presenti strutture da carico e gallerie di bioturbazione.

La facies marnoso-calcareo, in livelli spessi da pochi cm a qualche decina di cm, si trovano intercalati agli strati pelitico-arenacei sopra descritti. Si tratta di marne calcaree debolmente siltose, compatte, omogenee e con frattura concoide.

La parte superiore della formazione (circa 200 m) è invece essenzialmente costituita da marne e peliti siltose con rare e sottili intercalazioni di arenarie.

La formazione è stata deposta in un ambiente di piana sottomarina, mentre la parte superiore, essenzialmente pelitica, potrebbe rappresentare un ambiente di scarpata non attiva (Ghibaudo et al., 1985).

La formazione, nel complesso raggiunge una potenza di oltre 1000 m e, verso l'alto, diventa sempre più marnosa, passando con contatto transizionale rapido che si sviluppa entro pochi metri, alle Marne di Cessole. Rispetto alle osservazioni fatte in fase di Progetto Definitivo, nel corso degli approfondimenti condotti in fase esecutiva, all'interno della formazione di Costa Areasa, nella parte basale dell'unità è stata distinta una litozona arenitica (fCa).

4.2.2. Marne di Cessole

Questa formazione è costituita da una alternanza di marne e marne siltose omogenee, bioturbate, in strati decimetrico-metrici, con intercalati strati centimetrico-decimetrici risedimentati siltosi e/o arenacei molto fini.

Localmente si osservano strati costituiti da arenarie fini e marne siltose, gradati, con alla base *clay chips* e al tetto peliti nerastre eterolitiche bioturbate. Sono presenti sia bioturbazioni di diametro centimetrico sia altre millimetriche (tipo *Chondrites*). Il contenuto fossilifero, localmente abbondante,

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00
	Foglio 10 di 28

è rappresentato da bivalvi a guscio sottile, gasteropodi e radioli di echinidi. Questi strati passano gradualmente alla sovrastante Formazione di Serravalle.

Le Marne di Cessole sono interpretabili come depositi di piattaforma esterna passanti lateralmente a sedimenti di ambiente più profondo. Nella parte alta della formazione si trovano marne prevalenti a cui si intercalano livelli di arenarie gradate, a base erosiva, che rappresentano localizzati fenomeni di risedimentazione all'interno del bacino.

L'associazione a nannofossili calcarei è ricca e ben preservata e permette di riferire la formazione al Langhiano superiore *p.p.*

Nel settore indagato le Marne di Cessole presentano uno spessore di circa 800-1000 metri.

4.3. Depositi alluvionali del bacino alessandrino

I depositi alluvionali occupano con continuità il fondovalle nel tratto compreso tra Rigoroso e Novi Ligure mentre a nord di Novi Ligure i depositi alluvionali formano un ampio conoide alluvionale che si apre a ventaglio sulla pianura alessandrina.

I depositi alluvionali del settore vallivo, poco prima dello sbocco in pianura, sono costituiti da successioni che presentano una granulometria scarsamente differenziata con netta prevalenza di elementi clastici grossolani e sono connessi a due ordini di terrazzi principali:

- I terrazzi più antichi, sopraelevati di 50 – 80 metri circa rispetto al fondovalle attuale, solo raramente sono associati a dei depositi e più frequentemente consistono esclusivamente in forme d'erosione (lombi pianeggianti e/o in leggera contropendenza);
- I terrazzi più recenti, sopraelevati di 10-15 metri circa rispetto al fondovalle attuale, che sono costituiti da depositi ghiaiosi e ghiaioso sabbiosi, con spessori che possono variare dai pochi metri, in prossimità del raccordo con i fianchi vallivi, a 10-15 metri circa in prossimità dell'asse vallivo principale. Questi depositi sono indicati in letteratura come depositi alluvionali recenti (fl3).

4.3.1. Depositi alluvionali recenti (fl3)

I depositi alluvionali recenti sono costituiti prevalentemente da ghiaie, organizzate in corpi lenticolari mal definiti, in cui si rinvencono rare intercalazioni centimetrico decimetriche di sabbie limose e limoso-argillose.

La stratigrafia dei sedimenti alluvionali ascrivibili al "fluviale recente" è nota sulla base dei sondaggi eseguiti nell'ambito della progettazione preliminare e definitiva del tracciato, che evidenziano una successione di orizzonti differenziabili in relazione al diverso rapporto percentuale tra ghiaie, sabbie, limi e argille.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00
	Foglio 11 di 28

Il fluviale recente comprende terreni a granulometria grossolana con ghiaie nettamente prevalenti (70-80%) sulle sabbie (10-20%) e sulle parti più fini (limo e argilla) 10-20%.

4.4. Depositi colluviali

Dalle indagini in sito e dai sondaggi (es. SI40, SI49, cf. Tabella, § 6), è emerso che nel settore interessato dall'opera, e lungo l'intero fianco vallivo compreso tra Rigoroso e Arquata Scrivia, è presente una coltre detrico colluviale piuttosto potente che ricopre in continità la parte inferiore dei versanti ed il loro raccordo con il fondovalle, poggiando in parte anche sui depositi alluvionali renti (fl3). Lo spessore dei depositi colluviali varia da pochi metri a 15-20 m circa (in prossimità della base del versante).

Si tratta di depositi marnosi, argillosi e argilloso-siltosi, contenenti localmentCascina Muriassii frammenti centimetrico-decimetrici delle unità sottostanti da cui sono originati (Formazione di Costa Areaasa, fC e Marne di Cessole, mC). Questi depositi si sono originati per effetto di processi chimico-fisici che hanno portato all'alterazione delle porzioni più superficiali delle unità sedimentarie del BTP affioranti nell'area. Questi depositi d'alterazione, per effetto della gravità si sono quindi accumulati nella parte inferiore dei fianchi vallivi, in prossimità del raccordo con le superfici terrazzate. Localmente il materiale colluviale è stato probabilmente rimobilizzato anche dai corsi d'acqua effimeri, presenti sui fianchi vallivi, in occasione di eventi piovosi particolarmente intensi, attraverso processi di tipo "mud-flow". Attualmente la maggior parte dei versanti risulta vegetata e non ci sono evidenze di processi gravitativi o di scivolamento in atto, come documentato dal catalogo dei fenomeni franosi IFFI.

4.5. Depositi antropici di riporto

I depositi antropici di riporto sono costituiti da materiali di varia natura, da grossolani a fini, e sono localizzati soprattutto in corrispondenza di settori precedentemente interessati da attività estrattive (cf. §5.1).

Data la loro eterogeneità, e variabilità laterale estrema, per una caratterizzazione dettagliata ai fini della realizzazione dell'opera si riamanda ai dati che emergeranno dalle stratigrafie dei sondaggi previsti per fase ececutiva del progetto.

5. ASSETTO GEOMORFOLOGICO

L'area interessata dallo sviluppo dell'opera si colloca al raccordo tra i versanti collinari che costituiscono il fianco sinistro della valle del T. Scrivia e il fondovalle.

GENERAL CONTRACTOR  CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00 Foglio 12 di 28

La valle principale si sviluppa, nel tratto adiacente al tracciato, su una piana alluvionale terrazzata con andamento NW-SE, larga mediamente 1 km e caratterizzata da un gradiente morfologico con drenaggio mediamente orientato verso NE.

Sulla valle principale si affacciano diversi piccoli impluvi che incidono i versanti collinari caratterizzati da un profilo trasversale molto dolce che si raccorda gradualmente con i fianchi vallivi.

Al raccordo con i versanti un settore a debole pendenza è caratterizzato dalla presenza di accumuli discontinui di depositi detritico-colluviali, derivanti dal progressivo smantellamento dei rilievi. Allo sbocco sulla piana alluvionale dello Scrivia, le valli laterali sviluppano in genere dei piccoli conoidi alluvionali a morfologia poco pronunciata, poggianti sulla superficie del terrazzo alluvionale principale. Il limite effettivo delle diverse forme di accumulo non è determinabile con esattezza, data la loro morfologia poco pronunciata.

La dinamica del reticolato idrografico secondario è attualmente inibita da interventi di regimazione e canalizzazione correlati allo sviluppo agricolo della zona; nell'area di indagine non si evidenziano processi deposizionali e/o di esondazione attivi; i conoidi sopra citati sono per lo più dissecati da piccoli alvei con drenaggio verso N o NE, approfonditi anche di alcuni metri rispetto al piano campagna.

La dinamica di versante nell'area interessata dall'opera è pressoché irrilevante, data la bassa acclività dei pendii. In occasione di forti piogge possono localmente innescarsi piccole frane per fluidificazione dei terreni della coltre detritica superficiale, di cui tuttavia non è stata riscontrata traccia durante i rilievi di terreno; gran parte dei versanti è attualmente colonizzata da bosco o da prati e coltivi.

5.1. Attività antropica

Il settore interessato dall'opera in progetto oltre al normale uso agricolo del suolo che ne ha determinato la parziale regolazzazione, è stato interessato, in passato anche da attività estrattive che localmente hanno del tutto modificato l'originaria morfologia dell'area.

Le principali attività che si sono potute documentare riguardano:

- la Cava in località Mulinara, della quale sono ancora parzialmente visibili il fronte stesso, sviluppato a valle della SP 161 e l'adiacente piazzale di cava, in parte colmato con materiale di riporto. Attualmente l'area è occupata da insediamenti industriali che hanno probabilmente mascherato l'originaria estensione della cava e non si esclude quindi che nell'area circostante si possano trovare depressioni di origine antropica colmate da materiale di riporto e/o cumuli di riporto vegetati e non individuabili da una semplice indagine sul terreno.
- la Cava in località Cascina Muriassi, segnalata nel Foglio Alessandria della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00	Foglio 13 di 28

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

I sondaggi al momento disponibili e di maggiore interesse per l'area d'intervento sono i seguenti:

Fase Progettuale	Sondaggio	Profondità in m dal p.c.	Descrizione	
Preliminare	XA301V001	60	0-1,5	Depositi colluviali
			1,5-3-6	Substrato alterato
			3,6-60	Argille siltoso-marnose, Formazione di Costa Areaa
	XA301V002	40	0-1,6	Depositi colluviali
			1,6-3,6	Substrato alterato
			3,6-40	Argille siltoso-marnose, Formazione di Costa Areaa
	XA301V003	40	0-0,5	Depositi colluviali
			0,5-3,25	Substrato alterato
			3,25-40	Argille siltoso-marnose, Formazione di Costa Areaa
	XA301V020	50	0-0,7	Depositi colluviali
			0,7-3,0	Substrato alterato
			3,0-50	Argille siltoso-marnose, Formazione di Costa Areaa
	XA301V021	50	0-0,8	Materiale di riporto
			0,8-5,8	Depositi alluvionali, fl3
			5,8-6,2	Substrato alterato
			6,2-50	Marne siltose, Marne di Cessole
	XA301G032/BH28-IN	60	0-1,40	Depositi colluviali
			1,4-5,0	Substrato alterato
			5,0-60	Argille siltoso-marnose, Formazione di Costa Areaa
	XA301G033	60	0-1,4	Depositi colluviali
			1,4-3,2	Substrato alterato
			3,2-60	Argille siltoso-marnose, Formazione di Costa

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00
	Foglio 14 di 28

				Area
Definitivo	SF9/SP32	42	0-1,8	Materiale di riporto
			1,8-6,4	Depositi colluviali
			6,4-7,2	Substrato alterato
			7,2-42	Marne siltose, Marne di Cessole
Esecutivo Lotto 1	SI40	20	0-3,8	Materiale di riporto
			3,8-11,8	Depositi colluviali
			11,8-13,8	Depositi alluvionali, fl3
			13,8-14,4	Substrato alterato
			14,4-20	Marne siltose, Marne di Cessole
	SI42	21	0-2	Materiale di riporto
				Substrato alterato
				Marne siltose, Marne di Cessole
	SI49	20	0-2,5	Materiale di riporto
			2,5-15,6	Depositi colluviali
			15,6-16,6	Substrato alterato
			16,6-20	Marne siltose, Marne di Cessole

7. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

7.1. Contesto Idrogeologico generale

Nell'area dell'intervento in progetto il contesto idrogeologico naturale è caratterizzato dalla presenza di terreni superficiali con grado di permeabilità variabile da basso a medio alto, rappresentati dalla coltre detritico – colluviale (c) e dai depositi alluvionali recenti (fl3), poggianti secondo il modello geologico descritto nel paragrafo relativo all'inquadramento geologico e negli elaborati geologici, su di un substrato costituito da litofacies torbiditiche e marnose, caratterizzate da un grado di permeabilità variabile da basso a molto basso, costituito nella porzione centrale e settentrionale dell'area dalle marne di Cessole (mC) e nella porzione meridionale, in prossimità dell'imbocco Nord della Galleria di Linea, dalla formazione di Costa Areasa. L'area è anche interessata da una diffusa presenza di terreni di riporto eterogenei, rappresentati sia da cumuli ben individuabili, sia da possibili settori di riempimento di depressioni o vecchi scavi, con spessori fino ad alcuni metri, connessi con le trasformazioni antropiche cui si accenna più avanti.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00
	Foglio 15 di 28

Dal punto di vista geomorfologico l'area si colloca al raccordo tra il versante collinare ove affiorano le due formazioni del substrato summenzionate, ed un'area pianeggiante rappresentata dal terrazzo alluvionale in sinistra idrografica del Torrente Scrivia, separata dal fondovalle attraverso una evidente scarpata di erosione fluviale posta ad Est della strada provinciale dei Giovi e dell'area Archeologica di Libarna. L'area di intervento non è dunque interessata dalla dinamica del T. Scrivia, il cui alveo corre a oltre 1000 m di distanza, con interposto l'ampio terrazzo alluvionale presente in sponda sinistra del corso d'acqua.

L'area in questione è occupata in parte, verso nord, dalla zona industriale di Libarna ed è stata interessata in passato da attività estrattiva, sia delle marne di Cessole che presumibilmente nei depositi alluvionali ghiaiosi terrazzati, come si può ipotizzare per la presenza di alcuni laghetti di cava in cui affiora la falda. Nel complesso la morfologia dell'area è fortemente condizionata dall'attività antropica recente e passata, e questi condizionamenti si riflettono sul modello idrogeologico della zona.

In termini generali il modello prevede una circolazione idrica nel sottosuolo all'interno dei depositi superficiali (riporto, depositi colluviali e alluvionali, ad eventualmente o localmente nella parte superiore del substrato detensionata e alterata) e delimitata verso il basso dal substrato pelitico – marnoso sano poco permeabile, alimentata dall'infiltrazione nel versante collinare posto ad ovest del tracciato e condizionata dalle trasformazioni antropiche.

La falda presente nei depositi superficiali è assimilabile ad una falda libera, delimitata verso il basso dal substrato poco permeabile. Nella zona al piede del versante collinare la falda si trova all'interno dei depositi colluviali, nella coltre di alterazione ed allentamento del substrato ed in parte nei depositi alluvionali terrazzati, oltre che, ove presenti con spessori superiori ai 2-3 m, nei depositi antropici di riporto. Nella zona pianeggiante terrazzata situata al oltre il piede del versante, in corrispondenza dell'opera ed a Est di quest'ultima, la falda si localizza prevalentemente all'interno dei depositi alluvionali terrazzati (fl3)

Per la caratterizzazione idrogeologica di dettaglio delle singole WBS della zona in oggetto, sono a disposizione una serie di sondaggi delle fasi progettuali precedenti (Progetto Preliminare, Progetto Definitivo e Progetto Esecutivo – Lotto 1), in cui sono stati realizzate prove di permeabilità, installati piezometri ed eseguite misure di monitoraggio della falda. I sondaggi in questione sono elencati nella tabella che segue con l'indicazione dei dati idrogeologici a disposizione:

Fase Progettuale	Sondaggio	N° Prove Lefranc	N° Prove lugeon	Piezometro	Periodo Monitoraggio Piezometro
Preliminare	XA301V001	1	2	SI	mag-02 a lug-04
	XA301V002	1	2	SI	ott-01 a sett-04
	XA301V003	1	2	NO	-
	XA301V020	-	2	SI	mag-02 a sett-04

	XA301V021	1	1	SI	mag-02 a lug-04
	XA301G032	-	3	NO	-
	XA301G033	-	3	SI	ott-01 a sett-04
	AA301G034	-	4	SI	dic-01 a sett-04
	7A301G035	-	4	NO	-
Definitivo	SF9/SP32	-	1	SI	ago-04 a sett-04
Esecutivo Lotto 1	SI40	1	-	SI	dic-12 a giu-13
	SI42	-	1	SI	dic-12 a giu-13
	SI49	2	-	NO	-

Tabella 3 – Sondaggi eseguiti nelle fasi progettuali precedenti con indicazione delle prove di permeabilità eseguite e dei piezometri installati, con il periodo di monitoraggio disponibile.

L'attribuzione del grado di permeabilità ai terreni che interessano la zona in oggetto è basata sui dati di permeabilità misurati nei sondaggi e disponibili in letteratura. Laddove non fossero disponibili valori misurati, la stima della permeabilità è stata effettuata da osservazioni di terreno e per analogia con formazioni aventi caratteristiche idrodinamiche simili.

Le classi di permeabilità sono state attribuite in accordo alle norme AFTES, come da tabella seguente.

Classe	Permeabilità in m/s	Descrizione
K1	$< 10^{-8}$	da molto bassa a bassa
K2	10^{-8} a 10^{-6}	da bassa a media
K3	10^{-6} a 10^{-4}	da media a alta
K4	$> 10^{-4}$	da alta a molto alta

Tabella 4 - Descrizione della permeabilità secondo le norme AFTES (N.B.: la classificazione non è valida per le rocce carsiche, per le quali è necessaria una valutazione specifica).

Nei paragrafi che seguono si riportano, a partire dai litotipi del substrato, le sintesi dei risultati delle prove di permeabilità, ovvero, in mancanza di queste, una stima basata sulle caratteristiche litologiche e strutturali.

7.1.1. Marne di Cessole

La formazione è costituita da una alternanza di marne e marne siltose omogenee, bioturbate, in strati decimetrico-metrici, con intercalati strati centimetrico-decimetrici risedimentati siltosi e/o

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00 Foglio 17 di 28

arenacei molto fini. Localmente si osservano anche strati costituiti da arenarie fini e marne siltose. Le caratteristiche litologiche della formazione sono tali da configurare un grado di permeabilità basso o molto basso. Il tipo di permeabilità è quello di formazioni fratturate, soprattutto nei livelli più litoidi in cui si è osservata una diffusione di fratture e clivaggi da dissoluzione. Tuttavia in generale le fratture sono poco aperte e per lo più colmate da riempimenti fini, con conseguente bassa permeabilità; le caratteristiche reologiche dell'ammasso roccioso non consentono la propagazione di estesi campi di fratture, quindi anche il grado di interconnessione idraulica tra discontinuità è fortemente ridotto.

I risultati delle prove di permeabilità, essenzialmente di tipo Lugeon, eseguite nei sondaggi che hanno indagato le Marne di Cessole sono sintetizzate nella successiva figura 2.

Tutti i sondaggi con prove di permeabilità che interessano le Marne di Cessole sono stati eseguiti nell'area in oggetto, si tratta delle seguenti indagini per le quali sono disponibili i dati delle prove Lugeon: XA301V021, AA301G034 AA301G035, (Progetto Preliminare), SF9/SP32 (progetto definitivo) e SI42, (Progetto esecutivo – Lotto 1), che nel complesso indicano una permeabilità dell'ordine di $1E-8$ m/s o minore (prove con assorbimento nullo), quindi bassa - molto bassa. Due delle prove eseguite hanno fornito valori più elevati (intorno a $1E-7$ m/s), che potrebbero corrispondere a livelli arenacei intercalati alle prevalenti marne.

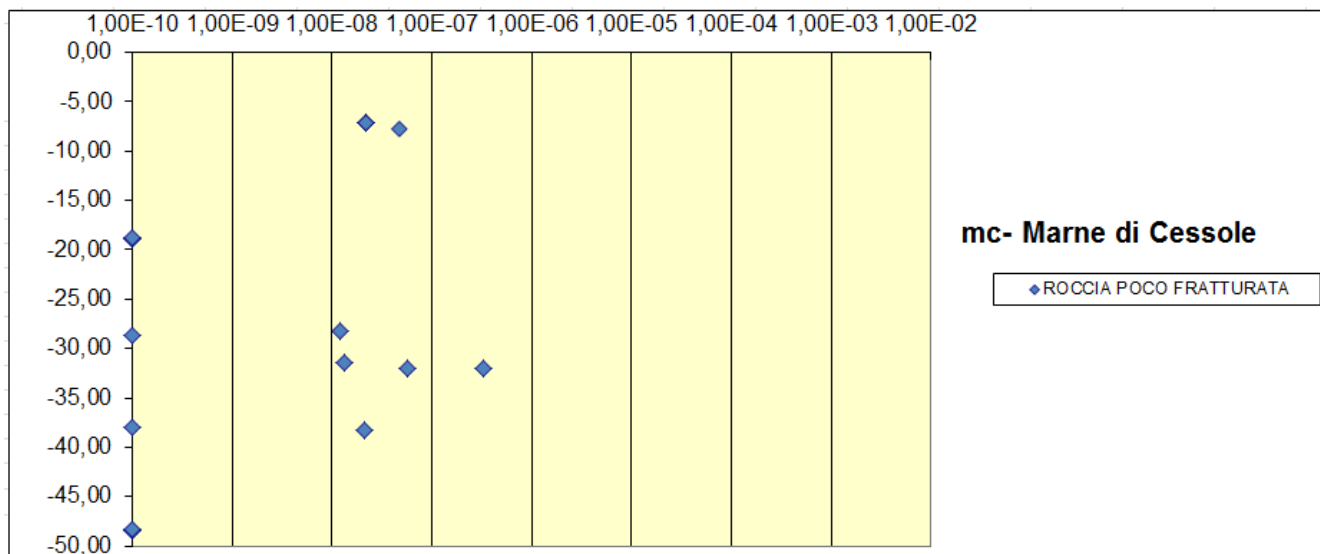


Figura 2 - Distribuzione dei valori di permeabilità ottenuti da prove in foro per la formazione delle Marne di Cessole (mc), secondo la profondità (i valori pari a $1E-10$ sono stati attribuiti indicativamente alle prove con assorbimento nullo, per significare che l'ammasso roccioso ha permeabilità molto bassa, comunque inquadrabile nella classe AFTES minore, con $K < 1E-8$).

7.1.2. Formazione di Costa Areasa litofacies torbiditica (fC)

In figura 3 è riportata la distribuzione dei valori di permeabilità derivati dai dati del Progetto Preliminare per la formazione di Costa Areasa, litofacies torbiditica.

Data la diffusa presenza di livelli pelitici a granulometria fine nelle formazioni marnose e marnoso-arenacee presenti in questa tratta, si è attribuito un grado di permeabilità basso o molto basso per tutta la lunghezza interessata. I dati forniti dal Progetto Preliminare indicano per i terreni attribuibili alla formazione di Costa Areaa, una permeabilità media di $1E-08$ m/s (cfr. anche Tabella) con alcuni valori spostati verso termini più permeabili ($K > 1E-6$ m/s) corrispondenti al substrato detensionato od alterato nei primi metri del sottosuolo. Il tipo di permeabilità è quello di formazioni fratturate, soprattutto nei livelli più cementati in cui si è osservata una diffusione di fratture e clivaggi da dissoluzione. Tuttavia in generale le fratture sono poco aperte e per lo più colmate da riempimenti fini, con conseguente bassa permeabilità; le caratteristiche reologiche dell'ammasso roccioso non consentono la propagazione di estesi campi di fratture, quindi anche il grado di interconnessione idraulica tra discontinuità è fortemente ridotto.

I sondaggi in cui sono state eseguite prove di permeabilità tipo Lugeon, delle quali sono disponibili i risultati per la formazione di Costa Areaa nell'area in oggetto, sono i seguenti: XA301V001, XA301V002, XA301V003, XA301V020, AA301G034 AA301G035 (Progetto Preliminare). I dati di permeabilità ricavati dai suddetti sondaggi sono evidenziati nella figura che segue (definiti in legenda: Sondaggi area Radimero-Libarna).

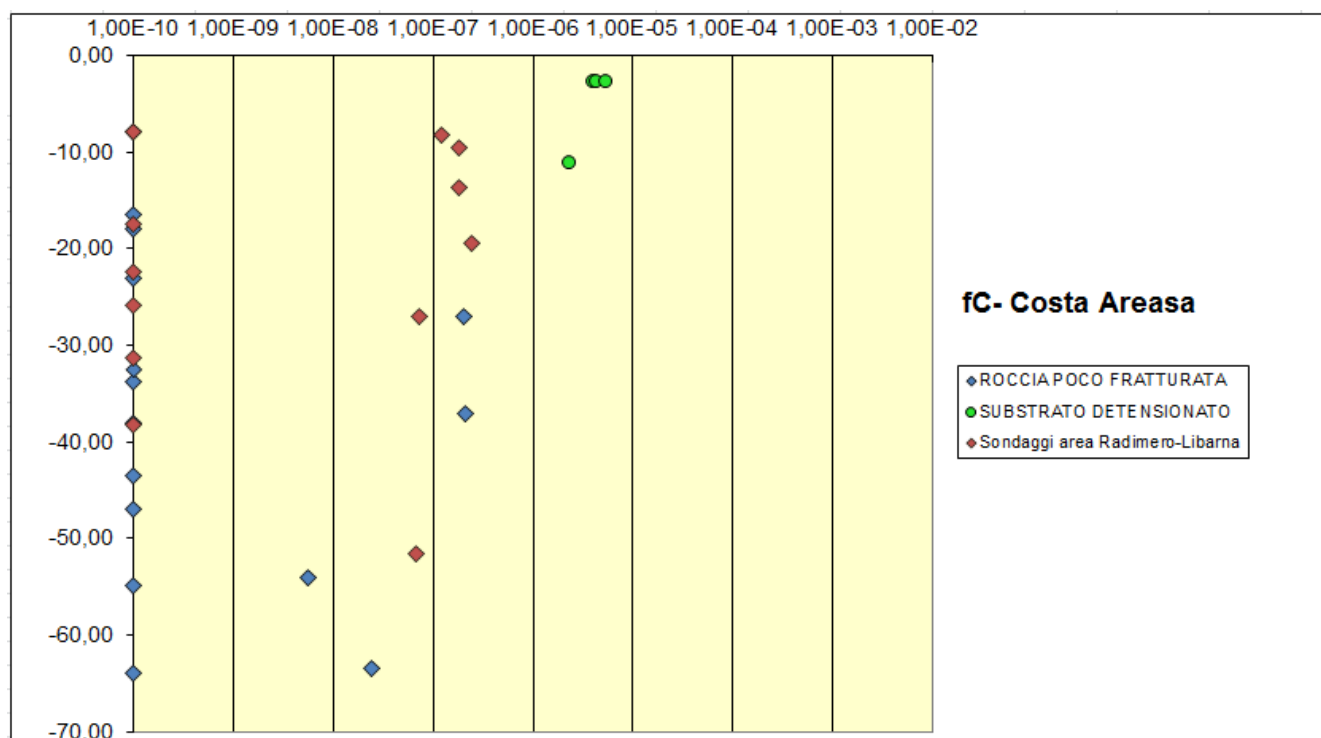


Figura 3 - Distribuzione dei valori di permeabilità ottenuti da prove in foro per la formazione di Costa Areaa (fCa), secondo la profondità (i valori pari a $1E-10$ sono stati attribuiti indicativamente alle prove con assorbimento nullo, per significare che l'ammasso roccioso ha permeabilità bassissima, comunque inquadrabile nella classe AFTES minore, con $K < 1E-8$).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00
	Foglio 19 di 28

7.1.3. Depositi alluvionali recenti (fl3)

Questi depositi sono stati caratterizzati in termini di tipo, grado e variabilità dello stesso in fase di PD in particolare sulla base di prove di permeabilità tipo Lefranc e prove di pozzo eseguite nell'area di Pianura (settore di Novi Ligure e Pozzolo Formigaro).

Un aspetto di rilievo evidenziato è che la permeabilità di questi terreni può essere sensibilmente variabile sia in senso orizzontale, per la presenza di corpi eteropici a granulometria eterogenea, che in senso verticale, per la presenza di porzioni superficiali meno addensate ovvero alterate.

Per quanto riguarda il livello inferiore dei depositi fl3, le prove Lefranc eseguite nell'ambito del progetto definitivo definiscono un intervallo piuttosto ampio di valori, compresi tra 1×10^{-6} e 1×10^{-3} m/s. Ulteriori indicazioni sulle permeabilità di tali depositi derivano dai test di pompaggio a lunga durata eseguiti nell'ambito del Progetto Definitivo, che indicano per la permeabilità valori collocati in un intervallo piuttosto ampio, mediamente compreso tra 2×10^{-6} m/s e 2.0×10^{-4} m/s, con valori che possono essere localmente anche superiori o inferiori. Il coefficiente di immagazzinamento (in questo caso coincidente con la porosità efficace) è mediamente compreso tra 8×10^{-4} e 2×10^{-3} . Dal punto di vista della rappresentatività dei valori, si rimarca che i risultati ottenuti attraverso le prove di pompaggio sono maggiormente significativi di quelli ottenuti dai test in foro, in quanto le prime permettono di valutare la permeabilità in un intorno esteso attorno al pozzo, mentre le seconde indagano la permeabilità solamente in un intorno localizzato attorno al sondaggio.

Nell'area in oggetto i depositi fl3 sono presenti con spessori ridotti al di sotto della coltre colluviale in corrispondenza delle opere in progetto, e con spessori presumibilmente più elevati nell'area pianeggiante terrazzata posta ad Est delle opere. Tra i sondaggi riportati nella precedente Tabella, solo nell' SI40 del Progetto Esecutivo – Lotto 1 è stata eseguita una prova di permeabilità all'interno dei depositi fl3. La prova Lefranc ha restituito un valore di $K = 4,4 \times 10^{-6}$ m/s, compreso nella parte bassa del campo di variabilità definito in termini generali per questi depositi. Nel dettaglio la prova è stata eseguita a fondo foro all'altezza di un livello di argilla sabbiosa vicino al contatto con un sottostante strato di ghiaia.

7.1.4. Depositi colluviali (c)

I depositi colluviali dell'area di progetto, essendo principalmente sviluppati a spese di litotipi pelitico marnosi (formazione delle Marne di Cessole e di Costa Areasa), presentano granulometria pelitica. Per questo motivo, in termini generali, il grado di permeabilità loro attribuito è medio-basso, dell'ordine di 1×10^{-7} – 1×10^{-8} m/s.

Nell'area in oggetto questi depositi sono stati testati con prove di permeabilità tipo Lefranc nel sondaggio SI49 del Progetto Esecutivo – Lotto 1, con i seguenti risultati: a m 5,4 di profondità $K = 2,1 \times 10^{-8}$; a 15 m di profondità la prova eseguita ha mostrato assorbimento nullo.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00
	Foglio 20 di 28

7.1.5. Depositi antropici di riporto

Questi depositi, in ragione della loro eterogeneità composizionale, possono presentare un grado di permeabilità molto variabile, alto o molto alto per i depositi a prevalente composizione ghiaiosa o detritica (quali i terreni provenienti da scavi nei depositi alluvionali o comprendenti macerie da demolizioni), medio basso per il materiale scavato dalle marne di Cessole, ovvero dalla porzione corticale alterata del substrato o dai depositi colluviali prodottisi alle spese della stessa. Tuttavia anche in relazione allo stato di addensamento di questi depositi, pur se provenienti da terreni con permeabilità bassa o molto bassa, in termini generali il grado di permeabilità dei depositi antropici di riporto può essere stimato come variabile da Molto alto ($K > 1E-4$), a medio (K nell'ordine di $1E-6$). Non sono disponibili dati da prove di permeabilità nei sondaggi della zona in oggetto per i terreni di riporto. Si mette in evidenza come l'eterogeneità della permeabilità di questi depositi superficiali, insieme con la superficialità della circolazione idrica, può essere uno dei fattori che determinano la diffusa presenza di zone umide e di ristagno di acqua osservate nella zona.

7.2. Piezometria e sistemi di flusso

La circolazione avviene a profondità moderata o ridotta all'interno dei depositi superficiali, rappresentati dai terreni di riporto, depositi colluviali e alluvionali, e probabilmente anche dalla porzione alterata e detensionata del substrato, delimitata verso il basso dal substrato pelitico-marnoso sano, poco permeabile che nella zona non è mai molto profondo (da 3-4 m fino ad un massimo di , ed è condizionata dalle trasformazioni antropiche, quali la presenza di rilevati stradali trasversali alla direzione di flusso che agiscono da barriera al flusso idrico superficiale ma anche sotterraneo a debole profondità, determinando diffuse emergenze e ristagni d'acqua in superficie. Tali condizionamenti sono anche legati all'eterogeneità del grado di permeabilità nei primi metri del sottosuolo in ragione della presenza dei depositi antropici di riporto, molto eterogenei dal punto di vista composizionale, strutturale e dello stato di addensamento.

La direzione del flusso idrico è ipotizzabile dalle zona di ricarica corrispondenti al versante collinare ad Ovest dell'opera in progetto ed agli impluvi in esso contenuti, verso la zona pianeggiante terrazzata situata al piede del versante, in corrispondenza dell'opera ed a Est di quest'ultima, ove la falda si localizza prevalentemente all'interno dei depositi alluvionali terrazzati (fl3). La ricarica del flusso idrogeologico avviene, oltre che direttamente dai versanti, attraverso la coltre colluviale, anche lungo alcuni impluvi ove si concentrano le acque di precipitazione e vengono recapitate verso la zona pianeggiante da corsi d'acqua temporanei quali il Fosso 3 Libarna ed il Rio Predella, dei quali è prevista in progetto la sistemazione idraulica. Quest'ultimo in particolare confluisce in un laghetto di cava in cui è presente acqua permanentemente e può quindi essere considerato come zona di affioramento della falda, che in questo settore si trova probabilmente all'interno di depositi alluvionali ghiaiosi fl3. Nell'area non vi sono sorgenti, ma solo punti d'acqua superficiali rappresentati dalle zone umide e dall'affioramento della falda nel laghetto di cava. I corsi d'acqua (Fossi Pradella e Libarna), non presentano deflusso superficiale permanente ma solo temporaneo in occasione delle precipitazioni. Una serie di pozzi viene individuata nella carta generale dei punti d'acqua, di cui

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00	Foglio 21 di 28
--	---	--------------------

si mostra uno stralcio in figura 4. Tutti i pozzi vicini all'area di intervento sono localizzati nell'area collinare a ovest – sudovest delle opere in progetto in prossimità di fabbricati rurali o civili.

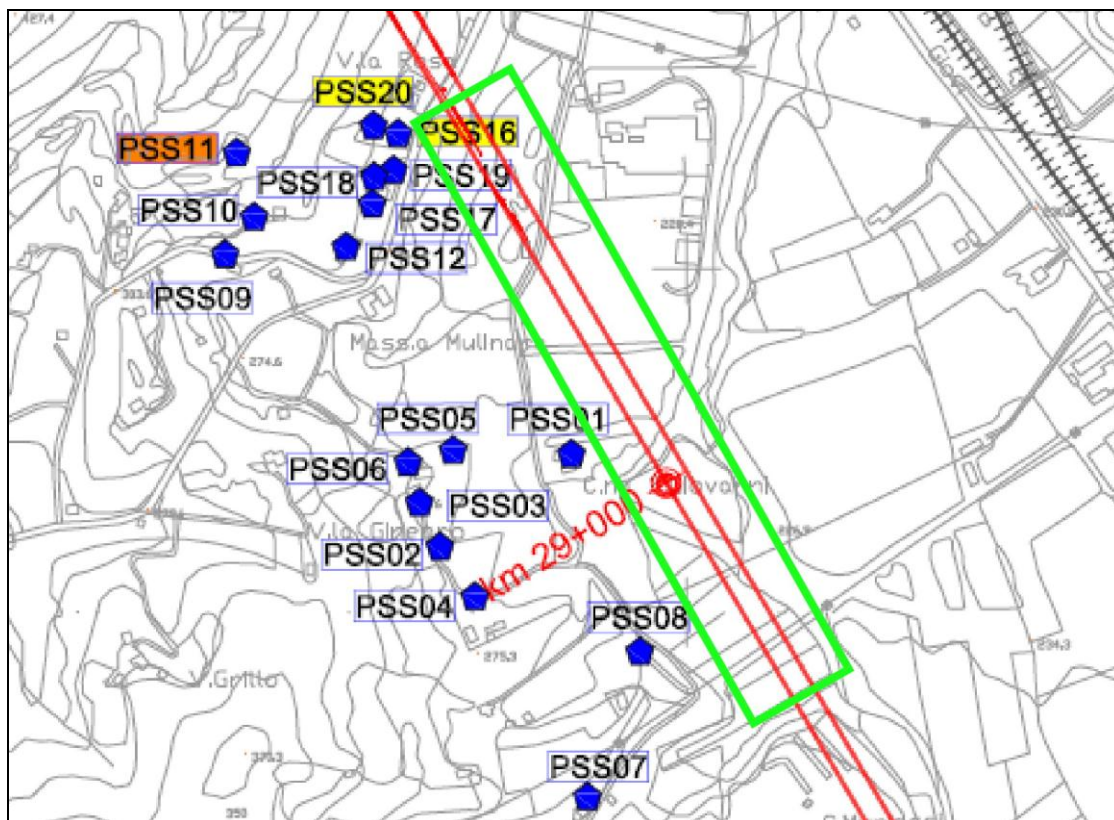


Figura 4 – estratto della carta dei punti d'acqua con indicati i pozzi e l'area degli interventi in progetto (evidenziata dal riquadro verde).

Per quanto riguarda la piezometria dell'area in oggetto, occorre in termini generali specificare che vi sono molte evidenze di terreno che lasciano intendere un livello di falda molto superficiale, con diffuse aree di affioramento, tra cui il laghetto di cava cui si è accennato poco sopra, e varie zone umide come per esempio al piede del versante al di sotto della Strada Provinciale della Crenna, nella zona settentrionale dell'area. Alcune di queste zone umide possono anche essere determinate dagli effetti di sbarramento operati dai rilevati stradali e dalle modificazioni antropiche al deflusso naturale delle acque superficiali del versante, ma la maggior parte di quelle che si osservano è con buona probabilità legata all'emersione della superficie di falda.

Una buona parte dei sondaggi realizzati nell'area è attrezzata con piezometri, che sono stati monitorati nel tempo per periodi variabili, ma in alcuni casi estesi a più annate idrologiche, come i sondaggi del progetto preliminare, monitorati dal 2002 al 2004, mentre i piezometri del Progetto Definitivo e quelli del Progetto Esecutivo – Lotto 1, sono stati monitorati per periodi inferiori all'annata idrologica (da tre a sei mesi circa).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00
	Foglio 22 di 28

Nella tabella che segue si riporta una sintesi dei dati indicati in tabella 1, relativamente ai piezometri installati ed al periodo di monitoraggio disponibile, con l'integrazione dei tipo e profondità del piezometro:

Fase Progettuale	Sondaggio	Tipo Piezometro	Profondità Piezometro (m)	Periodo Monitoraggio Piezometro
Preliminare	XA301V001	Norton	60	mag-02 a lug-04
	XA301V002	Norton	40	ott-01 a sett-04
	XA301V020	Norton	50	mag-02 a sett-04
	XA301V021	Norton	50	mag-02 a lug-04
	XA301G033	Norton	60	ott-01 a sett-04
	AA301G034	Casagrande	49	dic-01 a sett-04
Definitivo	SF9/SP32	Casagrande	39	ago-04 a sett-04
Esecutivo Lotto 1	SI40	Tubo aperto	da 3 a 20 m	dic-12 a giu-13
	SI42	Tubo aperto	da 5,5 a 20 m	dic-12 a giu-13

I grafici del monitoraggio dei sondaggi mostrano tutti dei livelli della falda prossimi al piano di campagna o con soggiacenze mai superiori a circa 9 metri. Per la progettazione delle opere in progetto al momento attuale si ritengono significativi i dati dei sondaggi ZA301V021 (Progetto Preliminare) e SI40 (Progetto Esecutivo – Lotto 1), che indicano una variazione della soggiacenza rispettivamente tra 4 e 6 m da p.c. e tra 2 e 5,5 m da p.c. come indicato nelle successive figure.

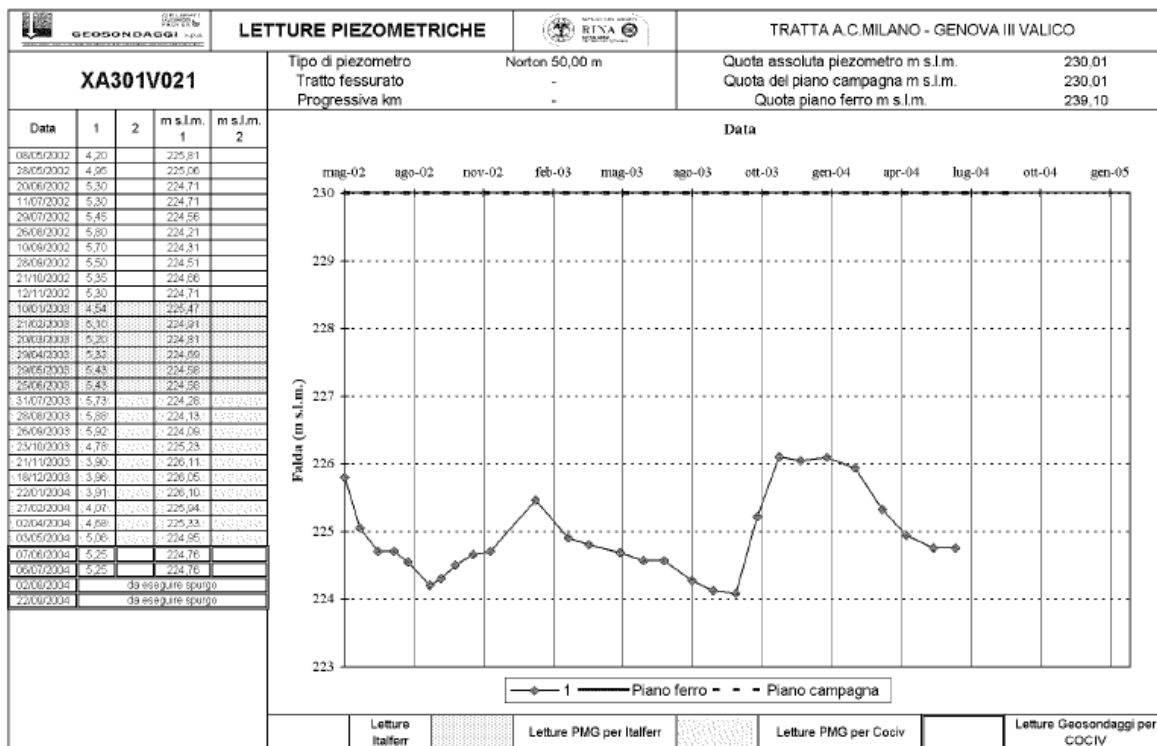


Figura 1 – Piezometro del sondaggio XA301V021 (Progetto Preliminare)
Monitoraggio della falda nel periodo 8/5/2002 – 6/7/2004.

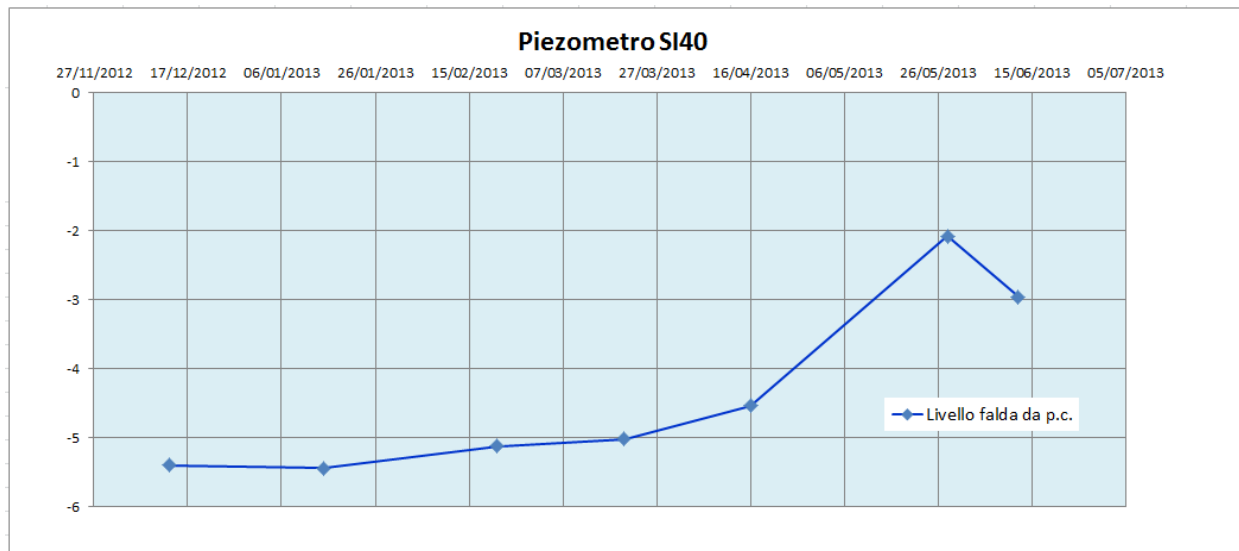


Figura 5 Piezometro del sondaggio SI40 (Progetto Esecutivo – Lotto 1)
Monitoraggio della falda nel periodo 13/12/2012 – 12/06/2013

Un maggiore dettaglio sulla presenza e sull'andamento della soggiacenza della falda in corrispondenza delle opere in progetto si potrà ottenere a seguito dell'esecuzione delle nuove indagini previste per il Lotto 2 del Progetto Esecutivo, con relativo monitoraggio dei piezometri installati.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00
	Foglio 24 di 28

8. CONDIZIONI GEOLOGICHE ATTESE IN CORRISPONDENZA DELL'OPERA

8.1. Condizioni geologico-geomorfologiche

Il substrato roccioso in corrispondenza dell'opera è rappresentato dalle Marne di Cessole (mC). In dettaglio nel settore interessato dalla WBS in progetto la formazione affiora limitatamente, essendo coperta in maniera quasi continua da una coltre detritico-colluviale dello spessore di 1-2 m, con locale inspessimento al piede del versante. In base ai dati raccolti nelle immediate vicinanze dell'area di studio, la stratificazione immerge verso NNW di circa 25°-30°.

Il substrato è interessato da un ridotto grado di fratturazione, come testimoniato dalle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio eseguiti lungo il tracciato nell'ambito del Progetto Preliminare ed Esecutivo-Lotto1 (sondaggi XA301V021, SI40, SI42 e SI49). Una fascia di spessore molto ridotto, dell'ordine di 1-2 m circa, localizzata all'interfaccia con i terreni di copertura può essere interessata da un maggior grado di alterazione e fratturazione, indotte dall'infiltrazione di acqua percolante alla base della coltre detritica; questa favorisce l'insorgere di processi di ossidazione e decarbonatazione la cui estensione è funzione sia dello stato di fratturazione del substrato, sia della permeabilità delle fratture, in genere molto bassa.

Da un punto di vista geomorfologico, il settore interessato dall'opera in progetto, oltre al normale uso agricolo del suolo che ne ha determinato la parziale regolazzizzazione, è stato interessato, in passato anche da attività estrattive che localmente hanno del tutto modificato l'originaria morfologia dell'area.

In particolare, l'opera interesserà una parte della "ex Cava di località Mulinara" della quale sono ancora parzialmente visibili il fronte stesso, sviluppato a valle della SP 161 e l'adiacente piazzale di cava, in parte colmato con materiale di riporto. Non si esclude quindi che nell'area circostante si possano trovare depressioni di origine antropica colmate da materiale di riporto e/o cumuli di riporto vegetati e non riconoscibili da una semplice indagine sul terreno.

La trattazione completa dell'assetto geologico-stratigrafico dovrà essere affrontata in maggiore dettaglio alla luce dei nuovi dati prodotti in fase di completamento della campagna di indagini geognostiche del Progetto Esecutivo, ad oggi non ancora disponibili.

8.2. Condizioni idrogeologiche

8.2.1. Modello idrogeologico

I terreni che interessano l'opera in progetto sono caratterizzati da un grado di permeabilità variabile da basso - molto basso ($K=1E-8$ m/s o minore) ovvero basso-medio, nel caso di presenza di possibili intercalazioni arenacee o nella porzione corticale alterata e detensionata, per il substrato

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00 Foglio 25 di 28

delle marne di Cessole, fino a medio – alto (K compreso tra $1E-6$ e $1E-4$ m/s) per i depositi alluvionali recenti, che il modello geologico di riferimento per l'imbocco colloca al di sotto della coltre colluviale e di terreni di riporto antropici nel settore terminale del becco di flauto della galleria artificiale. Questi ultimi presentano grado di permeabilità molto variabile in ragione della loro eterogeneità composizionale, mentre i depositi colluviali hanno un grado di permeabilità medio basso con K compreso tra $1E-7$ – $1E-8$ m/s.

La circolazione dell'acqua sotterranea in corrispondenza dell'opera può avvenire a seguito dell'infiltrazione delle acque meteoriche sul versante a monte nel livello superficiale di depositi colluviali, quindi localizzata all'interfaccia tra questi ed il substrato marnoso, oltre che nella porzione di substrato alterato e detensionato, che lungo il profilo dell'imbocco è stato ipotizzato dello spessore di poco meno di 3 m. In questo contesto non si tratta di una vera e propria falda, quanto di una concentrazione temporanea in occasione delle precipitazioni dell'infiltrazione nella fascia meno permeabile poggianti sul substrato poco permeabile. Tale contesto non determina particolari problematiche per lo scavo e la stabilità dell'opera.

Al piede del versante, in corrispondenza dell'impronta del becco di flauto, il contesto idrogeologico è differente in quanto questa porzione dell'opera occupa un settore pianeggiante, dove si è ipotizzata la presenza di una falda acquifera di tipo libero, superficiale, alla quale, sulla base del dato piezometrico del sondaggio SI40 (Progetto Esecutivo – Lotto 1) è stata attribuita una fluttuazione della soggiacenza da un minimo di 2 m ad un massimo di 5,5 m circa da p.c. In questo settore il livello di falda massimo si colloca all'interno dei depositi di riporto. Questa condizione determina una criticità significativa per la stabilità della fondazione del tratto terminale del becco di flauto.

La trattazione completa dell'assetto geologico-stratigrafico dovrà essere affrontata in maggiore dettaglio alla luce dei nuovi dati prodotti in fase di completamento della campagna di indagini geognostiche del Progetto Esecutivo, ad oggi non ancora disponibili.

8.2.1.1. *Interferenze con le risorse idriche*

Sulla base del modello idrogeologico descritto nel paragrafo precedente, non si configurano particolari condizioni di pericolosità nei confronti delle risorse idriche censite nell'area dell'intervento, che sono rappresentate essenzialmente da alcuni pozzi privati scavati per lo più nel substrato marnoso poco permeabile. I punti d'acqua censiti nella zona sono riportati nella precedente Figura 4.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00 Foglio 26 di 28

9. BIBLIOGRAFIA

- Amorosi A., Ricci Lucchi F. & Tateo F. (1995) - The Lower Miocene siliceous zone: a marker in the palaeogeographic evolution of the northern Apennines. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 118: 131-149.
- Barelli, V. (1835) - Cenni di statistica mineralogica degli stati di S.M. il Re di Sardegna. Tipografia Fodratti, Torino.
- Biella G., Polino R., De Franco R., Rossi P.M., Clari P., Corsi A. & Gelati R. (1997) - The crustal structure of the western Po plain: reconstruction from the integrated geological and seismic data. *Terra Nova*, 9: 28-31.
- Biella G.C., Gelati R., Lozej A., Rossi P.M. & Tabacco I. (1988) – Sezioni geologiche nella zona limite Alpioccidentali-Appennino settentrionale ottenute da dati geofisici. *Rend. Soc. Geol. It.*, 11: 287-292.
- Boni A. & Casnedi R. (1970) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000: Fogli 69 e 70 “Asti” e “Alessandria”. Poligrafica & Carte Valori, Ercolano: 64 pp.
- Briano, G., Isella, L., Restagno, S., Rodino, A., Trimboli, M. & Vigo, M. (2011) – Problematiche idrogeologiche, geotecniche e di gestione del rischio, associate alle vecchie aree estrattive in ambito urbano nei gessi di Isoverde. Convegno di Geologia Urbana (Genova), Poster. <http://www.sggconsult.it>
- Capponi, G. & Crispini, L. (1997) - Progressive shear deformation in the metasediments of the Voltri Group (Ligurian Alps, Italy): occurrence of structures recording extension parallel to the regional foliation. *Boll. Soc. Geol. It.*, 116, 267 - 277.
- Capponi, G. & Crispini, L. (2002) - Structural and metamorphic signature of alpine tectonics in the Voltri Massif (Ligurian Alps, northwestern Italy). *Eclogae geol. Helv.*, 95, 31-42.
- Capponi, G., Crispini, L., Giammarino, S., Bruzzo, D., Garofano, M., Lano, M., Piazza, M., Vigo, E., Del Tredici, S. & Pacciani, G. (2007) – Carta Geologica d'Italia. Foglio 231-214 Genova. Progetto CARG, Università di Genova/Dip.Te.Ris., Regione Liguria.
- Capponi, G., Crispini, L., Piazza, M. & Amandola, L. (2001) - Field constraints to the Mid-Tertiary kinematics of the Ligurian Alps. *Ophioliti*, 26(2b), 409-416.
- Capponi, G., Crispini, L., Cortesogno, L., Gaggero, L., Firpo, M., Piccazzo, M., Cabella, R., Nosengo, S., Bonci, M.C., Vannucci, G., Piazza, M., Ramella, A., Perilli, N., et alii (2009) - Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 213-230 – Genova.
- Castellarin A. (1994) – Strutturazione eo- e mesoalpina dell'Appennino settentrionale attorno al “nodo ligure”. *Studi Geol. Camerti*, vol. spec., CROP 1-1A: 99-108.
- Castello, B., Moro, M., Chiarabba, C., Di Bona M., Doumaz F., Selvaggi G., Amato A. (2004) – Carta della sismicità in Italia. Centro Nazionale Terremoti - INGV.
- Chiarabba, C., Jovane, L. & Di Stefano, R. (2005) - A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings. *Tectonophysics*, 395, 251–268.
- Cortesogno L., Di Battistini G., Lucchetti G. & Venturelli G. (1979) - Metamorphic assemblages of two high pressure-low temperature ophiolitic units of central-western Liguria: mineralogical and chemical features and tectonic significance. *Ophioliti*, 4 (2): 121-156.
- Cortesogno L. & Haccard D. (1984) - Note illustrative alla carta geologica della zona Sestri-Voltaggio. *Mem. Soc. Geol. It.*, 28: 115-150.
- Crispini, L. & Capponi, G. (2001) - Tectonic evolution of the Voltri Group and Sestri Voltaggio Zone (southern limit of the NW Alps): a review. *Ophioliti*, 26(2a), 161-164.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00 Foglio 27 di 28

- Dela Pierre F., Piana F., Fioraso G., Boano P., Bicchi E., Forno M.G., Violanti D., Clari P. & Polino R. (2003) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 157 "Trino". APAT Roma: 147 pp.
- Dematteis, A., Kalamaras, G. & Eusebio, A. (1999) - A systems approach for evaluating springs drawdown due to tunneling. Atti del convegno AITES ITA, 69 Hudson, 1992.
- Elter P. & Pertusati P. (1973) – Considerazioni sul limite Alpi-Appennino e sulle sue relazioni con l'arco delle Alpi occidentali. Mem. Soc. Geol. Ital., 12: 359-375.
- Falletti P., Gelati R. & Rogledi S. (1995) - Oligo-Miocene evolution of Monferrato and Langhe, related to deep structures. In: R. POLINO & R. SACCHI (Ed.) Atti Convegno Rapporti Alpi-Appennino. Acc. Naz. Sci., Sc. Doc., 14: 1-19.
- Fantoni R., Bello M., Ronchi P. & Scotti P. (2002) - Po Valley oil play: from the Villafortuna-Treccate field to South Alpine and Northern Apennines exploration. EAGE Conf. Florence, Extended Abstracts Book: 4 pp.
- Federico, L., Capponi, G., Crispini, L., & Scambelluri, M. (2004) - Exhumation of alpine high-pressure rocks: insights from petrology of eclogite clasts in the Tertiary Piedmontese basin (Ligurian Alps, Italy). Lithos, 74 , 21-40.
- Festa A., Boano P., Irace A., Lucchesi S., Forno M.G., Dela Pierre F., Fioraso G. & Piana F. (2009a) – Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 156 Torino Est. ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca ambientale, Roma.
- Fusinieri, A., in AA.VV. (1831) - Annali delle Scienze del Regno Lombardo Veneto. Tomo 1. Padova, tipografia del Seminario.
- Galbiati B. (1977) - La successione oligo-miocenica tra Rigoroso e Carrosio (Bacino ligure-piemontese). Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 26: 30-48.
- Gelati R. (1967) – Osservazioni stratigrafiche sull'Oligo-Miocene delle Langhe (Piemonte-Italia). Pubbl. Ist. Geol. Univ. Milano, 236: 1-18.
- Gelati R. (1968) – Stratigrafia dell'Oligo-Miocene delle Langhe tra le valli dei fiumi Tanaro e Bormida di Spigno. Riv. Ital. Paleont. Strat., 74: 865-967.
- Ghibaudo G., Clari P. & Perello M. (1985) - Litostratigrafia, sedimentologia ed evoluzione tettonico-sedimentaria dei depositi miocenici del margine Sud-Orientale del Bacino Terziario Ligure-Piemontese (Valli Borbera, Scrivia e Lemme). Boll. Soc. Geol. It., 104: 349-397.
- Gnaccolini M., Gelati R. & Falletti P. (1999) - Sequence Stratigraphy of the "Langhe" Oligo-Miocene Succession, Tertiary Piedmont Basin, Northern Italy. In: DE GRACIANSKY P.C., HARDENBOL J, JACQUIN T. & VAIL P. (Eds.), Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins. SEPM, Spec. Publ., 60: 233-244.
- Haccard, D. (1976) - Carte géologique au 1:50000 de Sestri-Voltaggio. Pubblicazione CNR, Pisa.
- Hoogerduijn Strating E.H. (1994) - Extensional faulting in an intraoceanic subduction complex - working hypothesis for the Paleogene of the Alps-Appennine system. Tectonophysics, 238: 255-273.
- Laubscher H.P., Biella G.C., Cassinis R., Gelati R., Lozej A., Scarascia S. & Tabacco I. (1992) - The collisional Knot in Liguria. Geol. Rund., 81: 275-289.
- Marini, M. (1998) - Carta geologica della Val Polcevera e zone limitrofe (Appennino Settentrionale) alla scala 1:25.000. Note illustrative. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, 40, 33-64.
- Mosca P., Polino R., Rogledi S. & Rossi M. (2009) - New data for the kinematic interpretation of the Alps-Appennines junction (Northwestern Italy). Int. J. Earth Sc., 99, 833-849.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RO-GA1K-00-001-A00 Foglio 28 di 28

- Mutti E., Papani L., Di Biase D., Davoli G., Mora S., Segadelli S. & Tinterri R. (1995) - Il Bacino Terziario Epimesoalpino e le sue implicazioni sui rapporti tra Alpi ed Appennino. Mem. Sci. Geol., 47: 217-244.
- Piana, F., Falletti, P., Fioraso, G., Irace, A., Mosca, P., et alii (in prep.) – Carta geologica del Piemonte in scala 1:250.000. Consiglio Nazionale delle Ricerche, IGG Torino; Università degli Studi di Torino, DST; Politecnico di Torino, DIATI.
- Piana F. & Polino R. (1995) - Tertiary structural relationships between Alps and Apennines: the critical Torino Hill and Monferrato area, Northwestern Italy. Terra Nova, 7: 138-143.
- Piccardo, G.B. (1984) - Le ofioliti metamorfiche del gruppo di Voltri, Alpi Liguri: caratteri primari ed interpretazione geodinamica. Mem. Soc. Geol. It., 28, 11, 95-114.
- Pieri M. & Groppi G. (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy, Quad. CNR, Prog. Fin. Geodinamica, Roma: 1-13.
- Polino, R., Clari, P., Crispini, L., D'Atri, A., Dela Pierre, F., Novaretti, A., Piana, F., Ruffini, R. & Timpanelli, M. (1995) - Rapporti Alpi-Appennino e guide alle escursioni. Atti del Convegno: "Rapporti tra Alpi e Appennino", Accademia Nazionale delle Scienze, 14, 531-593.
- Principi, G. & Treves, B. (1984) - Il sistema corso-appenninico come prisma d'accrescimento. Riflessi sul problema generale del limite Alpi-Appennini. Mem. Soc. Geol. It., 28, 10, 549-576.
- Protezione Civile (2004) – Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- Ramsay, J.G. (1967) - Folding and fracturing of rocks. Mc Graw-Hill New York, 568 pp.
- Rebora, G. (1990) - Massi erratici sulle argilliti nell'area Bocchetta-Voltaggio (Alessandria). Il Naturalista, 3, 3.
- Roure F., Polino R. & Nicolich R.P. (1990) - Early Neogene deformation beneath the Po plain: constraints on the post-collisional Alpine evolution. Mém. Soc. Géol. France N. S., 156: 309-322.
- Roure F., Bergerat F., Damotte, B., Mugnier, J.L. & Polino R. (1996) - The ECORS-CROP Alpine seismic traverse. Mem. Soc. Géol. France, 170: 1-113.
- Scholle, P.A. (1970) - The Sestri-Voltaggio Line: a transform fault induced tectonic boundary between the Alps and the Apennines. American Journal of Science, 269, 343-359.
- Schumacher, M. E. & Laubscher, H. P. (1996) - 3D crustal architecture of the Alps-Apennines join - a new view on seismic data. Tectonophysics, 260, 349-363.
- Sibson, R.H. (1977) – Fault rocks and fault mechanisms. J. Geol. Soc. Lond., 133, 191-213.
- Sturani, C. (1975) - Explanatory notes on the Western Alps (from the Sestri-Voltaggio line to the Val d'Ossola). Quaderni de "La ricerca scientifica", 90, 28.
- Sturani, C. (1973) - Considerazioni sui rapporti tra Appennino Settentrionale ed Alpi Occidentali. Estratto dal quaderno n. 183. Atti del Convegno sul tema: "Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino", 183, 119-142.
- Tamponi, M. (1994) - Very-low and low grade metamorphism in Internal Ligurian units (northern Apennines, Italy). Plinius, 11, 190-194.
- Vanossi, M., Cortesogno, L., Galbiati, B., Messiga, B., Piccardo, G. & Vannucci, R. (1984) - Geologia delle Alpi Liguri: dati, problemi, ipotesi. Mem. Soc. Geol. It., 28, 11, 5-75.