

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

PIAZZALE –FABBRICATO- PM ARQUATA – LIBARNA TRATTO 0

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing. N. Meistro	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 4	E	C V	R O	I N 1 H 0 0	0 0 1	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	GDP 	25/07/2014	Rocksoil 	28/07/2014	A. Palomba 	30/07/2014	
A01	Revisione Generale	GDP 	24/04/2015	Rocksoil 	27/04/2015	A. Palomba 	30/04/2015	
A02	Aggiornamento cartiglio	GDP 	12/12/2016	Rocksoil 	12/12/2016	A. Mancarella 	12/12/2016	

n. Elab.:	File: IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02
-----------	---------------------------------------

CUP: F81H92000000008

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02

INDICE

INDICE.....	2
1 PREMESSA	3
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3 ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO	3
4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO	4
4.1 Evoluzione tettonostratigrafica del Bacino Terziario Piemontese (BTP)	4
4.2 Caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche delle unità del Bacino Terziario Piemontese interessate dall'opera in progetto	8
4.2.1 Formazione di Costa Areea	8
4.3 Depositi quaternari	9
4.3.1 Depositi alluvionali del bacino alessandrino	9
4.3.2 Depositi colluviali e detritico colluviali	10
4.4 Assetto geomorfologico	11
4.4.1 Attività antropiche	12
5 INDAGINI GEOGNOSTICHE	12
6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	13
6.1 Considerazioni generali	13
6.2 Modello idrogeologico locale	14
6.2.1 Acquifero superficiale	14
6.2.2 Acquifero profondo	15
6.3 Complessi idrogeologici.....	16
6.3.1 Complesso 2 (fl3).....	16
6.3.2 Complesso 4 (c, d, aF)	16
6.3.3 Complesso 9 (mA2, mC, mC1).....	17
6.3.4 Complesso 10 (aS, fC, fCa, uMb, fR)	18
7 CONDIZIONI GEOLOGICHE ATTESE IN CORRISPONDENZA DELL'OPERA.....	20
7.1 Condizioni geologico-geomorfologiche.....	20
7.2 Condizioni idrogeologiche.....	21
7.2.1 Dati piezometrici	21
7.2.2 Interferenza con le risorse idriche.....	22
8 PROBLEMATICHE CONNESSE ALLA REALIZZAZIONE DELL'OPERA.....	22
9 BIBLIOGRAFIA	24

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 27</p>

1 PREMESSA

Il presente rapporto è stato realizzato a supporto della Progettazione Esecutiva del nuovo collegamento AC/AV Milano-Genova “Terzo Valico dei Giovi” e riguarda l’opera identificata dal codice WBS IN1H, che si riferisce alla realizzazione del Piazzale - Fabbricato – PM Arquata Libarna, nel tratto 0.

La presente nota descrive quanto rappresentato negli elaborati grafici allegati e 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.

Le parti generali relative all’inquadramento geologico e idrogeologico sono state redatte considerando le caratteristiche del settore di pianura situato lungo la sinistra idrografica del fiume Scrivia, nel territorio 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 (cfr. Figura 1).

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente rapporto fa riferimento alla seguente documentazione:

- 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 settembre 1988 n. 30483 Legge 02/02/74, n.64 art.1. D.M. 11/03/1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l’applicazione”.

L’opera è in deroga alla normativa successiva all’anno 2005. Per quanto riguarda gli aspetti inerenti la sismicità del settore interessato dal progetto, si rimanda alla relazione di inquadramento sismico dell’intera opera (doc. n. IG51-02-E-CV-RH-GE00-01-001-A00).

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;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02 Foglio 4 di 27

- 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;
- 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. L. Delle Piane (responsabile di progetto);
- supervisione e controllo elaborati: Dott. Geol. L. Delle Piane, Dott. Geol. P. Perello;
- rilevamento geologico-strutturale, sedimentologico-stratigrafico e geomorfologico: Dott. Geol. L. Delle Piane, Dott. Geol. P. Perello, Dott. Geol. A. Damiano, Dott.sa Geol. A. Giorza, Dott.sa Geol. A. Musso, Dott. Geol. D. Varrone;
- idrogeologia, modellazione idrogeologica numerica, idrogeochimica: Dott. Geol. P. Perello, Dott. Geol. A. Baietto, Dott.sa Geol. A. Giorza;
- elaborazioni GIS e CAD: Dott.sa Geol. A. Musso, Dott.sa Geol. A. Giorza, Dott. Geol. D. Varrone.

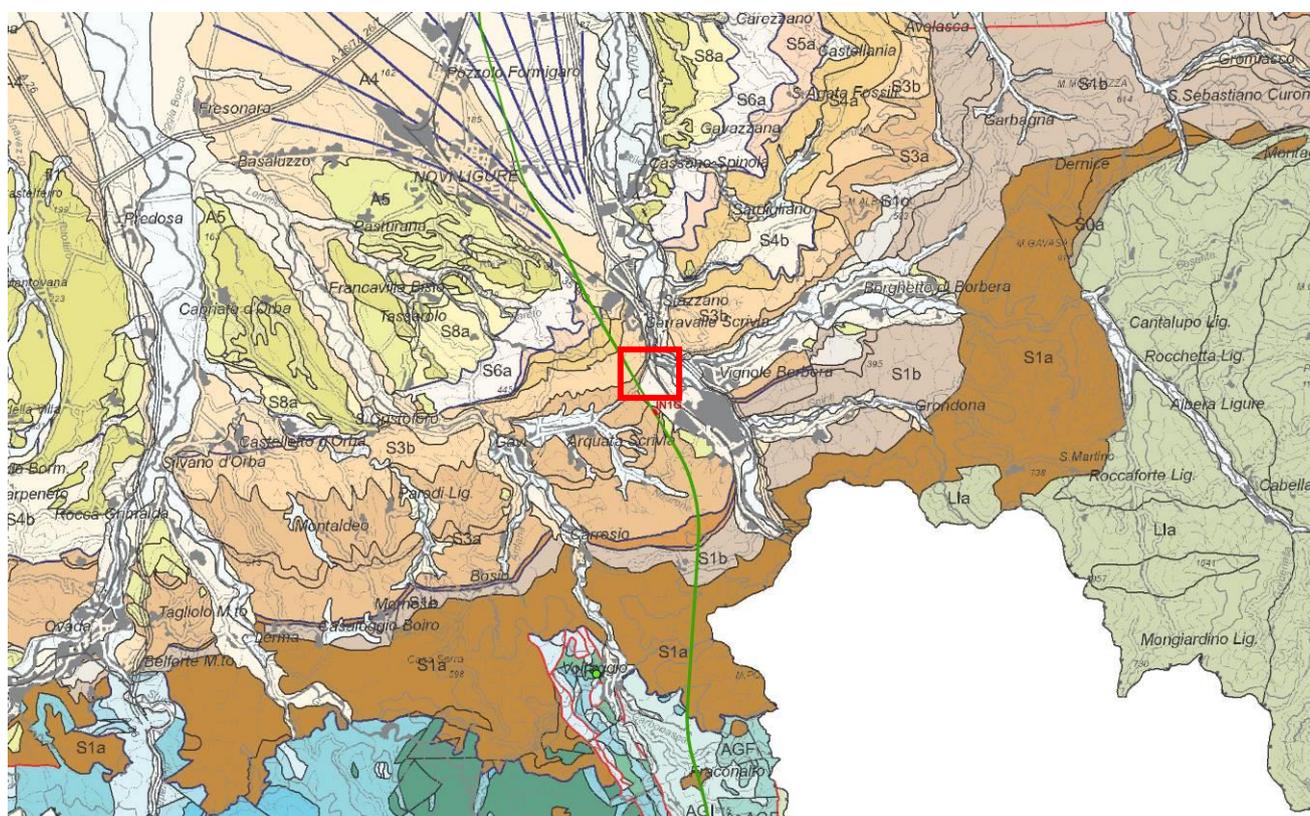
4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

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, prevalentemente silicoclastiche, riferibili al settore meridionale del Bacino Terziario Piemontese (BTP) seguono, in discontinuità, i depositi alluvionali pleistocenico-olocenici del bacino di Alessandria, rappresentati in questo settore dai depositi del T. Scrivia (Figura 1).

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).



LEGENDA

Depositi alluvionali

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

Bacino Terziario Piemontese

S8a Successioni marnoso-siltose zanclane; **S6a** Successioni terrigene messiniane; **S4c** Evaporiti e successioni euxiniche messiniane; **S4b** Corpi arenaceo-conglomeratici tortoniano-messiniani; **S4a** Successioni marnose tortoniano-messiniane; **S3b** Successioni arenaceo-pelliche ed arenacee serravalliano-tortoniane; **S3a** Successioni arenaceo-pelliche e marnose burdigaliano-langhiane; **S2a** Successioni prevalentemente carbonatiche burdigaliane; **S1d** Depositi silicei aquitaniano-burdigaliani; **S1b** Successioni marnose rupeliano-aquitani; **S1c** Corpi lenticolari arenaceo-conglomeratici rupeliano-aquitani; **S1a** Successioni arenacee e arenaceo-pelliche 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 
	IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02 <div style="float: right;">Foglio 6 di 27</div>

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 tettono-stratigrafici prima individuatisi 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 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 e Esecutivo, senza tuttavia tralasciare le informazioni derivanti dai dati di letteratura più recenti, sono state realizzate due tabelle (Tabella 1 e Tabella 2) 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	Conglomerati di Cassano Spinola, cC
Evaporiti clastiche messiniane, S5a		Complesso Caotico della Valle Versa, CTV	Formazione Gessoso-Solfifera, gS	<u>Membro di Rio Maggiore, gS</u>
Successioni marnose tortoniano-messiniane, S4a	Marne di S. Agata Fossili, SAF	Marne di S. Agata Fossili	marne e peliti, mA1	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 Areaasa		Formazione di Costa Areaasa, fC	Formazione di Costa Areaasa, fC <u>Formazione di Costa Areaasa, areniti medie e fini, fCa</u>
Successioni prevalentemente carbonatiche burdigaliane, S2a	Formazione di Rigoroso, RIO	Membro di Costa Montada	marne e areniti, uMc	<u>alternanze di marne e areniti, uMc</u>
Depositi silicei aquitaniano-burdigaliani, S1d			arenarie medie, uMb	<u>areniti medio-grossolane, uMb</u>
			Marne, uMa	<u>marne e marne silicizzate, uMa</u>
Successioni marnose rupeliano-aquitane, S1b	Marne di Rigoroso	areniti e marne, fR	<u>marne con livelli arenacei, fR</u>	
		marne grigie, mR	<u>marne siltose, mR</u>	
Successioni arenacee e arenaceo-pelitiche rupeliane, S1a	Formazione di Molare	Membro arenaceo, FMa	<u>Litofacies arenacea, FMa</u>	
		Membro conglomeratico cementato, FMc	<u>Litofacies siltoso-pelitica, FMc</u>	
		Conglomerati poligenici, FMp	<u>Litofacies rudite calcarea, FMc</u>	
		Brecce della Costa di Cravara, FMbc	<u>Litofacies rudite poligenica, FMp</u>	
-	Brecce della Costa di Cravara, CRA		Brecce della Costa di Cravara	<u>Brecce della Costa di Cravara</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 corsivo sottolineato sono evidenziati i termini oggetto di revisione (come terminologia, gerarchia e/o come descrizione) in fase di Progetto Esecutivo.

Carta Geologica d'Italia Foglio 70 "Alessandria" 1:100.000	Carta Geologica del Piemonte 1:250.000 (in prep.)		Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi"	
			PROGETTO DEFINITIVO	PROGETTO ESECUTIVO
A3 – Alluvioni attuali	DEPOSITI FLUVIALI DEL BACINO ALESSANDRINO	A1- Depositi fluviali del Pleistocene sup. - Olocene	a - Fluviale attuale	a - Depositi fluviali attuali
A ²⁻¹ – Alluvioni post-glaciali		A2 – Depositi fluviali della parte terminale del Pleistocene sup.		
A ¹ /F ¹³ – Fluviale recente		A3 – Depositi fluviali del Pleistocene sup.	f13- Fluviale recente	f13 - Depositi fluviali recenti, Pleistocene sup.? - Olocene
F ² – Fluviale medio		A4 – Depositi fluviali del Pleistocene medio - sup.	f12- Fluviale medio	f12 - Depositi fluviali medi, Pleistocene medio - sup.
F ¹ – Fluviale antico I ² – Villafranchiano auct.		A5 – Depositi fluviali del Pleistocene medio	f11- Fluviale antico	f11 - Depositi fluviali antichi, Pleistocene medio?
		A6 – Depositi fluviali del Pleistocene inf. - medio		
P ³⁻² - Sabbie di Asti	S9b – Sintema di Maranzana	vL – Villafranchiano auct. e Sabbie d'Asti, Pleistocene inf.		
P - Argille di Lugagnano, Pliocene	SUCCESIONI POST-MESSINIANE	S8b – Successioni siltose e sabbioso-ghiaiose piacentiane	aL - Argille di Lugagnano (Formazione delle Argille Azzurre), Zancleano	
		S8a – Formazione delle Argille Azzurre dello Zancleano		

Tabella 2 - Tabella nomenclaturale riassuntiva delle unità post-messiniane e quaternarie descritte in letteratura, messe a confronto con la terminologia e le sigle adottate nelle fasi di progettazione Definitiva ed Esecutiva.

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

L'opera in progetto verrà realizzata essenzialmente mediante scavo nei depositi quaternari e nei sottostanti litotipi riferibili al BTP, in particolare alla formazione di Costa Areasa; la descrizione, di seguito riportata, è il risultato degli 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.

Nella descrizione delle formazioni, per l'individuazione di unità gerarchicamente inferiori, è stato utilizzato il termine informale di "litofacies" piuttosto che quello di "membro", per evitare un'eccessiva proliferazione terminologica.

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 trova intercalata agli strati pelitico-arenacei sopra descritti. Si tratta di marne calcaree debolmente siltose, compatte, omogenee e con frattura concoide.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 9 di 27</p>

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 transizionalmente 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, è stata ulteriormente distinta un'unità arenitica (fCa).

In base ai dati strutturali raccolti sul terreno in corrispondenza di rari affioramenti, la stratificazione immerge verso NNW di circa 25°÷45°. Il substrato è caratterizzato da un grado di fatturazione piuttosto ridotto, come testimoniato dalle stratigrafie di diversi sondaggi a carotaggio eseguiti lungo il tracciato di linea nell'ambito del Progetto Preliminare.

4.2.1a Areniti medie e fini (fCa)

Si tratta di arenarie da medie a fini, di colore giallastro, da mediamente a ben cementate, in strati decimetrico-metrici interamente laminati con lamine parallele e lamine oblique a piccola scala. Gli strati metrici mostrano debole gradazione normale alla base e lamine parallele al tetto; alla base degli strati arenacei sono localmente presenti strutture da carico e gallerie di bioturbazione.

Lo spessore dell'unità è di circa 50 m lungo il tracciato dell'opera ed ha una continuità laterale di alcuni chilometri.

4.3 Depositi quaternari

4.3.1 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02 Foglio 10 di 27

dell'asse vallivo principale. Questi depositi sono indicati in letteratura come depositi alluvionali recenti (fl3).

4.3.1a *Depositati 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.

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%.

I nuovi sondaggi realizzati in fase di PE, in prossimità della WBS IN1G, hanno messo in evidenza l'esistenza di un possibile paleoalveo sepolto, forse riferibile al corso d'acqua principale, che inciderebbe il basamento prequaternario a ridosso del versante.

Infatti, nei sondaggi più vecchi, precedentemente realizzati più a valle (XA301V002 e XA301V003), nella zona di pianura, il substrato marnoso era stato intercettato direttamente al di sotto di una sottile coltre detritico-colluviale; si ha quindi, sulla linea dei due sondaggi, una situazione di assenza di alluvioni e substrato subaffiorante al di sotto di una coltre superficiale sottile.

Due sondaggi realizzati poco a monte dei precedenti, in posizione più interna, (L2-S38 e L2-S47), hanno rinvenuto delle alluvioni ghiaiose e sabbiose per uno spessore di 3-4 m, individuando quindi, lungo un asse posizionato a ridosso del pendio, una vecchia ansa del T. Scrivia, sempre riferibile al Fluviale Recente fl3, coperta dalla coltre detritica superficiale. Il fatto che si tratti di un paleoalveo laterale riferibile al corso d'acqua principale è suggerito dalla granulometria grossolana dei depositi rinvenuti: se l'alveo sepolto fosse riferibile a un corso d'acqua laterale, ad esempio il Fosso Pradella poco distante, i depositi alluvionali sarebbero di tipo argilloso-siltoso, data la ridotta estensione del bacino idrografico, la bassa energia del corso d'acqua e l'assenza di litotipi competenti.

L'ipotesi proposta è che questo paleoalveo, di larghezza piuttosto ridotta, possa incidere il substrato secondo un asse curvo che passa tra i due sondaggi XA301V002 e XA301V003, intersechi i fori L2-S38 e L2-S47 e si diriga verso la pianura più a nord.

4.3.2 *Depositati colluviali e detritico colluviali*

Dalle indagini in sito e dai sondaggi (es. S140, S149, cfr. 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 detritico-colluviale che ricopre in continuità la parte inferiore dei versanti ed il loro raccordo con il fondovalle, poggiando in parte anche sui depositi alluvionali recenti (fl3). Lo spessore dei depositi colluviali varia da pochi metri a 15-20 m circa (in prossimità della base del versante).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02 Foglio 11 di 27

Si tratta di depositi prevalentemente argillosi e argilloso-siltosi \pm sabbiosi, contenenti localmente frammenti centimetrico-decimetrici delle unità sottostanti da cui sono originati (Formazione di Costa Areaa, 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 e del ruscellamento diffuso sui versanti 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, fossi e rii stagionali, presenti sui fianchi vallivi, in occasione di eventi piovosi particolarmente intensi, attraverso processi di tipo "mud-flow". Alla base del versante modellato nella formazione di Costa Areaa subaffiorante, dove si colloca la WBS in esame, si trovano accumuli di depositi misti detritico-alluvionali, cui si possono localmente associare, lungo l'asse del fondovalle del Fosso Pradella, depositi alluvionali sottili, riferibili al fluviale recente e non distinguibili cartograficamente con precisione.

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.

Al di sopra dei depositi quaternari e del substrato subaffiorante è infine presente uno strato di terreno vegetale e agricolo di potenza mediamente inferiore a 0,5 m.

4.4 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.

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 impostato in depositi detritico-colluviali; allo sbocco sulla piana alluvionale dello Scrivia, le valli laterali sviluppano in genere dei piccoli conoidi alluvionali a morfologia poco pronunciata, poggiati 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02 Foglio 12 di 27

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.

4.4.1 Attività antropiche

Il settore interessato dall'opera in progetto è stato modificato nel tempo dal normale utilizzo agricolo del suolo che ne ha determinato la parziale regolarizzazione.

In passato, si sono sviluppate anche alcune attività estrattive, localizzate però a notevole distanza dall'area di studio. 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.

Non si prevede che nell'area di intervento vengano rinvenuti accumuli di materiali di origine antropica. Tuttavia, data la loro inutilizzabilità per qualsivoglia lavorazione e dato che questi prodotti possono talvolta presentare dei problemi di carattere ambientale, ad es. per la presenza di discariche abusive di macerie contenenti frammenti di eternit, vernici, oli, ecc., sarà opportuno, in fase preparatoria del cantiere, effettuare una verifica mirata in sito dell'eventuale presenza di depositi di tali materiali, non evidenti al semplice esame visivo nelle attuali condizioni dell'area.

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche ritenute significative per la ricostruzione geologico-idrogeologica del settore d'interesse sono di seguito elencate:

codice	Fase progettuale	Caratteristiche/Descrizione
XA301V003	PP	Coltre detritico-colluviale, Formazione di Costa Areasa
L2-S38	PE	Coltre detritico-colluviale, Depositi Alluvionali, Formazione di Costa Areasa

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02 Foglio 13 di 27

L2-S39	PE	Coltre detritico-colluviale, Formazione di Costa Areama
L2-S47	PE	Coltre detritico-colluviale, Formazione di Costa Areama

Oltre ai dati dei sondaggi, sono inoltre disponibili alcune linee sismiche realizzate, che però interessano il versante collinare immediatamente a SE della WBS in oggetto ma che per il piazzale in esame hanno scarsa rilevanza ai fini della ricostruzione geologica.

Per una descrizione dettagliata dei singoli sondaggi si rimanda ai relativi elaborati.

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

6.1 Considerazioni generali

La zona interessata dallo sviluppo della linea MI-GE è stata suddivisa su base litologica in diversi complessi idrogeologici a permeabilità differente, distinguendo lungo l'asse delle gallerie settori con comportamento idrogeologico omogeneo. I sistemi di flusso idrico sotterraneo possono svilupparsi all'interno di un solo complesso idrogeologico, quando questo è limitato lateralmente da complessi meno permeabili, oppure possono attraversare più complessi permeabili adiacenti.

In generale sono stati distinti complessi permeabili per porosità e complessi permeabili per fratturazione. I primi sono essenzialmente i complessi costituiti da depositi sciolti superficiali (depositi quaternari) dove, essendo assenti fenomeni di cementazione o di metamorfismo, è presente una porosità primaria significativa. I secondi sono i complessi sviluppati in litotipi del substrato prequaternario che, essendo caratterizzati da fenomeni di cementazione (Bacino Terziario Piemontese) o di metamorfismo (substrato metamorfico alpino), possiedono una permeabilità primaria per porosità non significativa o, comunque, di diversi ordini di grandezza inferiore rispetto alla permeabilità per fratturazione.

Nel presente capitolo ai fini descrittivi si farà riferimento alle classi di permeabilità indicate nella successiva Tabella 3.

Nell'ambito degli studi idrogeologici eseguiti e quindi, anche, nel presente rapporto, in luogo del termine "permeabilità", ove si fa riferimento a valori fisici numericamente definiti, è stato di solito più correttamente impiegato il termine di "conducibilità idraulica" (K , espressa in m/s), dal momento che i valori fisici a cui si fa riferimento tengono conto delle proprietà del mezzo acquoso (densità unitaria, temperatura di 20°C ecc.), mentre la "permeabilità" (k , espressa in m^2) sarebbe in realtà una proprietà intrinseca dell'acquifero, indipendentemente dal fluido che lo permea. Si continuerà invece ad utilizzare il termine "permeabilità" o "grado di permeabilità" per indicare genericamente e a livello concettuale le proprietà idrogeologiche dei diversi ammassi, senza specifici riferimenti a valori fisici numericamente definiti.

Classe	Conducibilità idraulica in m/s	Descrizione
K1	$> 10^{-4}$	molto alta
K2	10^{-5} a 10^{-4}	alta
K3	10^{-6} a 10^{-5}	medio-alta
K4	10^{-7} a 10^{-6}	media
K5	10^{-8} a 10^{-7}	bassa
K6	$< 10^{-8}$	molto bassa

Tabella 3 – Descrizione delle classi di conducibilità idraulica utilizzate (N.B.: la classificazione non è valida per le rocce carsiche, per le quali è necessaria una valutazione specifica).

L'attribuzione del grado di permeabilità ad ogni complesso idrogeologico attraversato dal tracciato di progetto è basata sui dati di conducibilità misurati nei sondaggi e disponibili in letteratura. Laddove non sono disponibili valori misurati o quando i dati disponibili non garantiscono un'adeguata rappresentatività statistica, la stima della conducibilità è stata basata su una analisi critica dei dati geologici terreno e sull'analogia con formazioni con caratteristiche idrodinamiche simili. Durante le fasi di rilevamento di terreno è stata prestata particolare attenzione alla descrizione dello stato di fratturazione e del grado di cementazione.

Va inoltre specificato che i valori di conducibilità idraulica forniti si riferiscono ad una scala decametrica o pluridecametrica, significativa per la dimensione delle opere in progetto. A piccola scala (metrica o plurimetrica), come già ricordato in precedenza, potrebbero essere incontrati valori anche più elevati di quelli indicati nel presente rapporto e negli elaborati correlati, dal momento che a tale scala la permeabilità potrebbe essere governata dalle caratteristiche idrauliche di singole fratture. Questi elementi tuttavia spesso risultano poco interconnessi a scala maggiore, risultando ininfluenti per considerazioni idrogeologiche a scala medio-grande quale quella di interesse per il presente lavoro.

6.2 Modello idrogeologico locale

Le differenze a livello litologico tra i depositi fluviali recenti e/o attuali, i terreni della coltre detritica e le marne del substrato permettono di individuare due tipologie di acquiferi: superficiale e profondo.

6.2.1 Acquifero superficiale

L'acquifero superficiale, è caratterizzato da permeabilità per porosità da media a medio-alta, riferibile ai depositi alluvionali (fl3) e, pro parte, ai terreni della coltre detritico-colluviale (c); i primi sono verosimilmente sede di una falda libera dotata di maggiore continuità laterale, soprattutto in direzione del fondovalle Scrivia, dove prevalgono depositi grossolani. Lungo il fondovalle degli impluvi minori, come in corrispondenza del sito del pozzo fresa, la natura dei depositi alluvionali riflette più da vicino la composizione del substrato; prevalgono quindi i termini limoso-sabbioso-argillosi e la falda può essere localmente assente o molto limitata; lo spessore dei depositi alluvionali presenti in tali impluvi non consente comunque la formazione di acquiferi con un grande potenziale a livello idrogeologico.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02 Foglio 15 di 27

I depositi detritici e la coltre detritico-colluviale di versante sono sede di piccole falde localizzate e discontinue, e non sono mediamente in grado di assicurare una produzione idrica costante, essendo fortemente condizionati dal regime delle precipitazioni stagionali.

6.2.2 *Acquifero profondo*

L'acquifero superficiale appoggia su 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 (fC). La debole circolazione idrica che si imposta nel substrato è in gran parte confinata allo strato di alterazione superficiale (permeabilità di tipo equivalente a quella di un mezzo poroso), mentre in profondità la circolazione idrica avviene principalmente lungo superfici di discontinuità (giunti di dissoluzione, fratture) caratterizzate da permeabilità bassa o molto bassa. Il substrato marnoso può quindi essere considerato molto poco permeabile, localmente impermeabile.

L'alimentazione degli acquiferi superficiali e, indirettamente, dell'acquifero del substrato, avviene principalmente per il contributo delle precipitazioni dirette e in minor misura per i flussi idrici orientati da SE a NW all'interno dei terrazzi alluvionali più antichi. Le formazioni del substrato subaffioranti lungo i versanti collinari non possono contribuire se non in minima parte all'alimentazione di questi acquiferi ospitati nei depositi alluvionali, poiché come già sottolineato si tratta di terreni essenzialmente impermeabili.

La circolazione idrica sotterranea è disposta verso N e NE nel settore compreso tra Serravalle e Rivalta Scrivia, dove il corso d'acqua esercita un'azione drenante della falda e verso NW nella zona di Tortona, dove lo Scrivia esercita un'azione neutra o di alimentazione della falda.

Le misure piezometriche eseguite nei sondaggi realizzati per il Progetto Esecutivo danno un'idea dell'entità delle oscillazioni piezometriche su scala stagionale: ad esempio, per quanto riguarda il foro SL13, si va da una soggiacenza di -4/-5 m dal p.c. nell'autunno 2012, a -2 m ca. nell'inverno 2012/2013, con un'escursione di 2-3 m.

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 (f13).

6.3 Complessi idrogeologici

6.3.1 Complesso 2 (f13)

Questo complesso presenta una permeabilità primaria per porosità, trattandosi principalmente di depositi alluvionali a granulometria piuttosto grossolana che appartengono al livello litostratigrafico f13.

Per tale livello litostratigrafico f13, sulla base delle indagini eseguite (sondaggi, trincee, pozzetti esplorativi) è stato possibile introdurre una differenziazione tra un orizzonte, generalmente più profondo, meno permeabile, poiché composto da una più abbondante matrice limoso-argillosa (f13a), e un orizzonte maggiormente permeabile, costituito da una matrice sabbioso-ghiaiosa (f13b).

Alla luce di tale suddivisione litostratigrafica si giustifica quanto emerso dai test idraulici eseguiti, che suggeriscono una distribuzione bimodale della conducibilità idraulica. I depositi alluvionali f13a presentano in media conducibilità idrauliche comprese tra $1E-07$ e $1E-05$ m/s, mentre per i depositi f13b le conducibilità prevalenti si collocano nell'intervallo $5E-06$ / $5E-04$ m/s.

Non si possono escludere limitate variazioni verticali e laterali della permeabilità, principalmente per passaggi dei materiali grossolani a intercalazioni di materiali più fini, a granulometria sabbiosa. Effetti di compartimentazione sono comunque ritenuti possibili solo a scala locale.

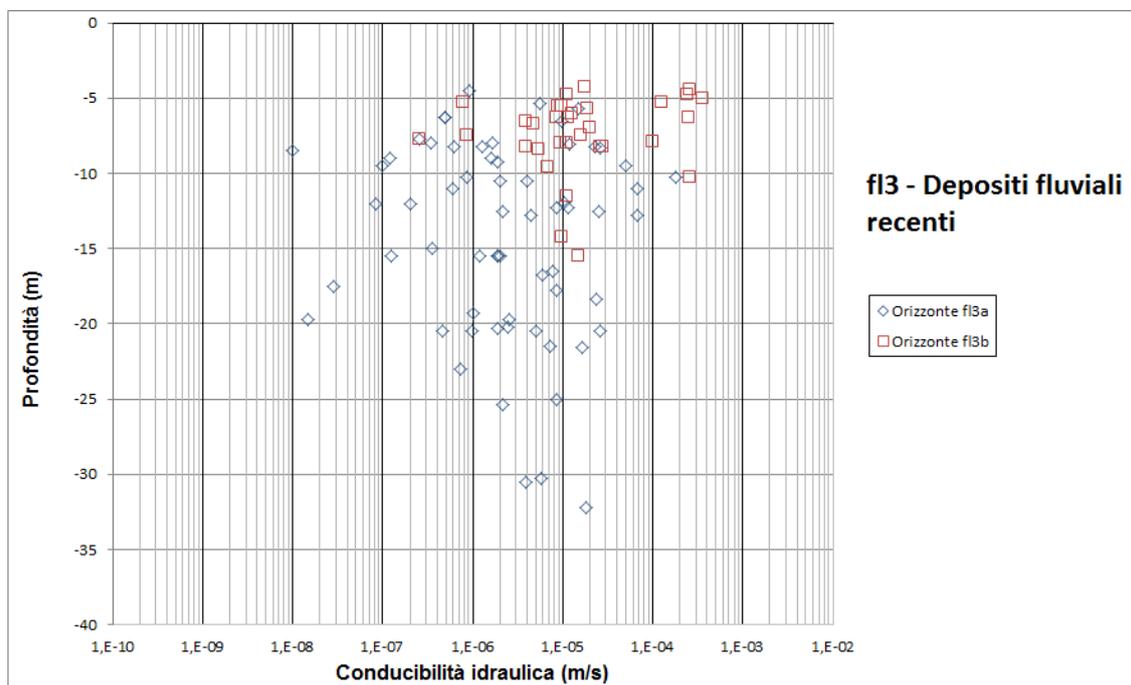


Figura 2. Grafico delle conducibilità idrauliche per i depositi alluvionali f13.

6.3.2 Complesso 4 (c, d, aF)

Il complesso include depositi detritici di smantellamento e alterazione del substrato, la cui natura può variare da zona a zona, in funzione delle rocce del basamento da cui derivano: i litotipi ricchi in fillosilicati (es. argilloscisti) originano coltri detritiche e depositi gravitativi ricchi in matrice fine e,

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02
	Foglio 17 di 27

pertanto, caratterizzati da una permeabilità non particolarmente elevata; per contro, i litotipi ricchi in minerali quarzo-feldspatici o comunque non fillosilicatici originano coltri detritiche con granulometria più grossolana, meno ricchi in matrice fine e, pertanto, più permeabili.

Per i litotipi di questo complesso non esistono test di permeabilità, dal momento che perlopiù essi non interessano direttamente le opere in progetto. Tuttavia, sulla base delle considerazioni precedenti, si può ipotizzare che esista nell'area una distribuzione bimodale della permeabilità, con depositi a permeabilità elevata e depositi a permeabilità media, o comunque non particolarmente elevata.

La permeabilità è comunque sempre legata alla porosità primaria; pur in assenza di test idraulici si può stimare che i depositi a granulometria più grossolana abbiano conducibilità idrauliche dell'ordine di $1E-03 - 1E-04$ m/s. I depositi derivanti da litotipi ricchi in fillosilicati hanno invece, presumibilmente, conducibilità idrauliche dell'ordine di $1E-06 - 1E-08$ m/s. Valori di conducibilità idraulica intermedi sono anche possibili, ma verosimilmente poco frequenti.

La coltre e i depositi detritici di versante hanno spessore variabile, compreso in genere tra 1 e 5 m, localmente fino a 15-20 m, a seconda della posizione rispetto al versante e del substrato da cui derivano. Essi non determinano quindi mai acquiferi di grande importanza, bensì acquiferi sottili, locali e discontinui.

I depositi detritici e colluviali appoggiano su un substrato disarticolato e alterato. Lo spessore dello strato d'alterazione del substrato può essere di alcuni metri fino ad alcune decine di metri. Idrogeologicamente, questo livello di alterazione può ancora essere considerato come parte del deposito detritico o colluviale, sebbene con l'aumentare della profondità si passi da un contesto a permeabilità quasi esclusivamente per porosità, ad un contesto misto di permeabilità per fratturazione e porosità, a seconda del grado di allentamento dell'ammasso roccioso.

6.3.3 Complesso 9 (mA2, mC, mC1)

I litotipi facenti parte di questo complesso sono marne calcaree e calcareniti mediamente cementate, in cui è presente una componente di porosità primaria trascurabile e ove la permeabilità è sostanzialmente legata al grado di fratturazione dell'ammasso roccioso. Le fratture, sviluppandosi comunque in litotipi a componente marnosa, risultano perlopiù poco conduttive.

I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra $1E-07$ e $1E-09$ m/s, meno frequentemente tendenti $1E-10$ m/s, come evidenziato dal diagramma di Figura 3. Questi ultimi valori possono essere riconducibili a situazioni locali in cui la frazione limoso-argillosa è predominante, abbassando ulteriormente i valori di conducibilità dell'ammasso roccioso.

Dall'analisi dei sondaggi è stata individuata un'unica zona di faglia ove sono state eseguite delle prove idrauliche (Figura 3). Dalle osservazioni di terreno e dall'unico dato disponibile si possono stimare valori di conducibilità idraulica dell'ordine di $1E-07/1E-09$ m/s, compatibili con una variazione della conducibilità legata alla percentuale di materiale fine limoso-argilloso che può inoltre indurre un effetto di compartimentazione, sebbene di scarsa rilevanza data la bassa permeabilità media dell'ammasso.

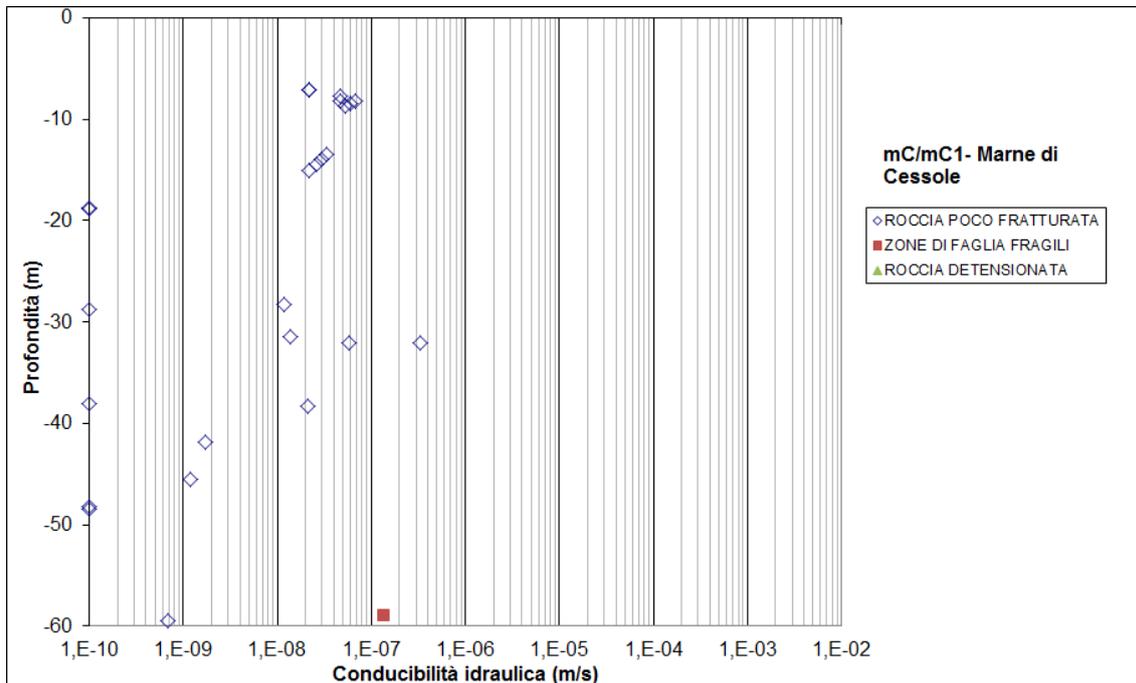


Figura 3. Grafico delle conducibilità idrauliche delle marne di Cessole.

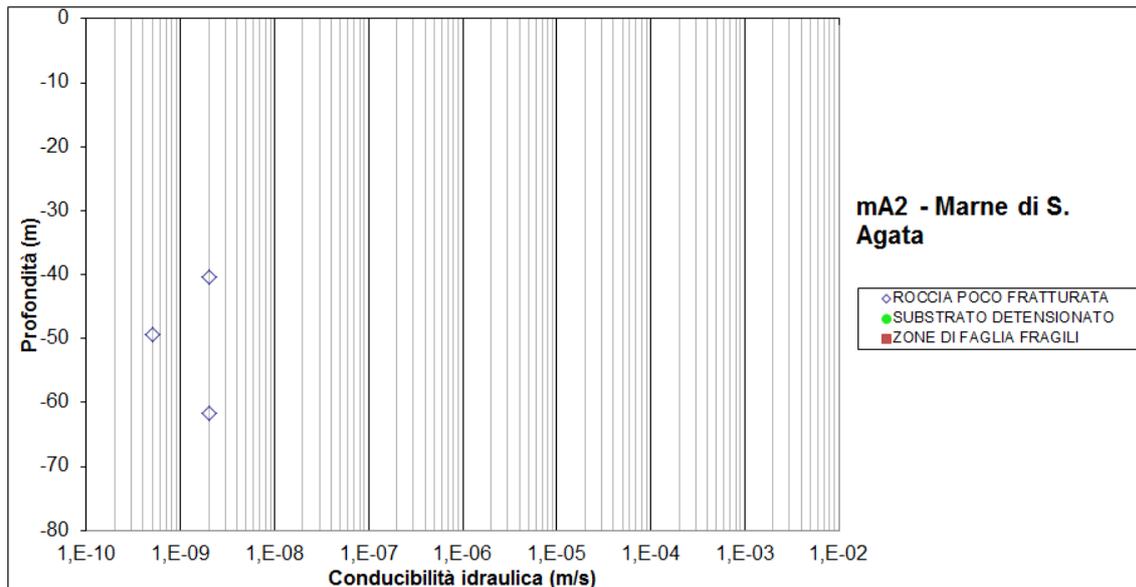


Figura 4. Grafico delle conducibilità idrauliche delle marne di Sant'Agata Fossili, livello mA2.

6.3.4 Complesso 10 (aS, fC, fCa, uMb, fR)

I litotipi facenti parte di questo complesso sono arenarie da medio-fini a medio-grossolane con alternanze di marne siltose, siltiti e marne.

Dai dati di terreno e dall'esame delle carote dei sondaggi disponibili emerge che il complesso è caratterizzato da litotipi con un grado di cementazione abbastanza elevato; perciò si presuppone

che la permeabilità sia prevalentemente legata a fenomeni di fratturazione, mentre la permeabilità per porosità può essere considerata irrilevante.

Il grafico di Figura 5 raccoglie i dati delle prove idrauliche eseguite direttamente all'interno del complesso che indicano per l'ammasso roccioso, al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche comprese all'incirca tra $5E-07$ e $1E-09$ m/s. Sono disponibili soltanto dati per le Arenarie di Serravalle e la Formazione di Costa Areama. Numerosi dati, sulla cui attendibilità esistono tuttavia alcuni dubbi, indicano conducibilità idrauliche inferiori a $1E-09$ m/s. Questi ultimi sono probabilmente legati alla presenza di livelli a composizione marnoso-siltosa.

Come visibile dal diagramma, numerosi test idraulici hanno restituito conducibilità idrauliche comprese tra $1E-07$ e $3E-07$ m/s. Tali valori, che sono i più elevati tra quelli osservati corrispondono presumibilmente ai livelli con composizione arenacea più spiccata, ove le fratture presentano minori riempimenti di materiale fine.

È stata altresì inserita nel grafico di Figura 5 una serie di dati che rappresentano la permeabilità dell'ammasso roccioso detensionato nei primi metri al di sotto della superficie (indicativamente da 2 fino a 10 m); tali dati mostrano conducibilità molto più elevate della media, comprese tra $1E-05$ e $1E-06$ m/s, legate ad un contesto misto di permeabilità per fratturazione e porosità (fratture aperte con riempimento di materiale sciolto).

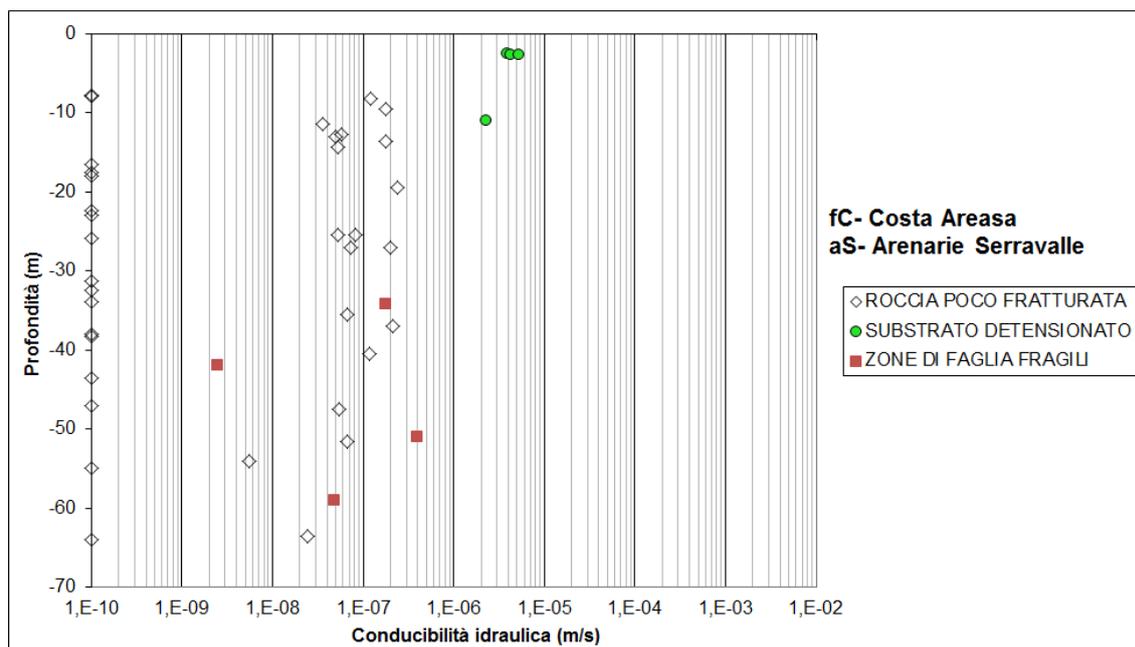


Figura 5. Grafico delle conducibilità idrauliche per la Formazione di Costa Areama (fC) e per le Arenarie di Serravalle (aS).

Dall'analisi dei sondaggi sono state individuate delle zone di faglia ove sono state eseguite delle prove idrauliche, che mostrano una conducibilità compresa circa tra $1E-06$ e $1E-08$ m/s. Dalle osservazioni di terreno si può ipotizzare che, lungo le faglie, le permeabilità maggiori siano relative alle zone di danneggiamento, soprattutto se queste sono costituite da litotipi con bassa percentuale di materiale limoso. Si può anche supporre che le prove idrauliche eseguite nelle zone di faglia non siano del tutto rappresentative della situazione reale, dal momento che sono disponibili solo pochi

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02
	Foglio 20 di 27

dati. È verosimile che, quando le faglie attraversano orizzonti maggiormente arenacei, esse sviluppino maggior fratturazione e quindi permeabilità elevate. Cautelativamente, si è quindi ipotizzato che nelle zone di faglia la conducibilità idraulica possa raggiungere, localmente, anche $1E-05$ m/s.

Le zone di nucleo delle faglie potrebbero talvolta presentare un effetto di compartimentazione per lo sviluppo di materiale cataclastico a granulometria fine e con componente limosa generalmente impermeabile (*gouge*). In ogni caso, l'effetto compartimentante delle zone di faglia non dovrebbe essere particolarmente accentuato, dal momento che i livelli a granulometria fine costituiscono solo delle intercalazioni tra livelli arenacei maggiormente competenti.

7 CONDIZIONI GEOLOGICHE ATTESE IN CORRISPONDENZA DELL'OPERA

7.1 Condizioni geologico-geomorfologiche

Il substrato roccioso in corrispondenza dell'opera è rappresentato dalla Formazione di Costa Areasa (fC). In dettaglio nel settore interessato dalla WBS in progetto la formazione subaffiora soltanto lungo il versante collinare a monte dell'opera, mentre in corrispondenza della WBS in esame il substrato è ricoperto da depositi detritico-colluviali e da sottostanti depositi alluvionali recenti (f13), con spessore e distribuzione discontinui.

La stratificazione nel substrato prequaternario immerge verso NNW di circa 20° - 25° ; i litotipi marnoso-arenacei sono interessati da un ridotto grado di fratturazione, come testimoniato dalle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio eseguiti lungo il tracciato. Una fascia discontinua, di alcuni metri di spessore, localizzata all'interfaccia con la copertura quaternaria 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.

Due sondaggi realizzati in fase di PE, in prossimità della WBS in oggetto, hanno messo in evidenza l'esistenza di un possibile paleoalveo sepolto, riferibile al corso d'acqua principale, che incide il basamento prequaternario a ridosso del versante. L'ipotesi proposta è che questo paleoalveo, di larghezza piuttosto ridotta, possa incidere il substrato secondo un asse curvo che passa tra i due sondaggi XA301V002 e XA301V003, intersechi i fori L2-S38 e L2-S47 e si diriga verso la pianura più a nord.

L'area di studio si colloca al raccordo tra la piana alluvionale terrazzata del T. Scrivia e il versante collinare impostato nel substrato marnoso subaffiorante del fianco sinistro della Valle Scrivia; tale raccordo è caratterizzato dalla presenza di numerosi piccoli conoidi detritico-alluvionali alimentati dal reticolato idrografico secondario, poggianti sulla superficie sub pianeggiante del terrazzo.

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; al contrario, i conoidi sopra descritti sono per lo più

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02
	Foglio 21 di 27

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.

7.2 Condizioni idrogeologiche

I terreni che interessano l'opera in progetto sono caratterizzati da un grado di permeabilità variabile da basso - molto basso ($K=1E-08$ m/s o minore) ovvero basso o medio, nel caso della porzione corticale alterata e detensionata, per il substrato della Formazione di Costa Areasa, fino a medio-alto (K compreso tra $1E-06$ e $1E-04$ m/s) per i depositi alluvionali recenti (fl3), che si collocano al piede della porzione di rilevato in progetto. Il substrato e i depositi fl3, riferiti al paleoalveo fluviale descritto nei paragrafi precedenti, sono ricoperti, in corrispondenza dell'opera, da depositi colluviali cui è stato attribuito un grado di permeabilità medio basso con K compreso tra $1E-07$ – $1E-08$ m/s.

La circolazione dell'acqua sotterranea in corrispondenza dell'opera può avvenire a seguito dell'infiltrazione delle acque meteoriche sul versante a W nei depositi colluviali e nella parte di substrato alterata e detensionata, e da qui nei depositi alluvionali recenti.

In corrispondenza della WBS in progetto si prevede la presenza di una falda libera superficiale localizzata nei depositi colluviali e nelle alluvioni sepolte. All'interno del substrato è possibile la presenza di una ridotta circolazione idrica lungo discontinuità e stratificazione.

7.2.1 Dati piezometrici

Una verifica dei pozzi censiti durante il PD, unitamente a una nuova campagna di misura piezometrica, 2012-2014 (PE) ha permesso di ottenere due serie di dati piezometrici, tra loro ben confrontabili (cfr. Tabella 4), poiché si riferiscono allo stesso mese di agosto.

Rispetto al 2004, nel 2012 si evidenzia un abbassamento generalizzato della quota della piezometrica; tale abbassamento è in genere poco marcato (< 1 m). Un temporaneo abbassamento della falda superficiale è attribuibile alla prolungata assenza di precipitazioni che ha caratterizzato l'estate del 2012; direttamente correlato alla scarsa piovosità, vi è stato, verosimilmente, un maggior prelievo dai pozzi privati a scopo irriguo; ciò giustifica in maniera molto semplice i forti abbassamenti riscontrati in alcuni dei punti d'acqua.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02		Foglio 22 di 27

Codice pozzo	Profondità (m)	Altezza piezometrica (m dal p.c.)		Δ (m)
		PD agosto 2004	PE agosto 2012	
PAR04	9	5	4,70	-0.30
PAR05	4	2,50	3,20	-0.70
PAR15	4,5	3	3,50	-0.50

Tabella 4 – Confronto tra le misure piezometriche eseguite nei pozzi circostanti la WBS in esame nell’agosto 2004 (PD) e nell’agosto 2012 (PE), con le relative differenze di soggiacenza.

I sondaggi realizzati in fase di PP danno ulteriori indicazioni sull’entità delle variazioni stagionali della falda freatica ospitata nei depositi quaternari, mostrando un’escursione del livello di falda talora significativo, dell’ordine di 6-7 m (Tabella 5); il dato di maggiore interesse è quello relativo al piezometro installato nel foro XA301V002, in corrispondenza dell’opera in progetto, che mostra un’escursione pronunciata, di 6.4 m, con un livello massimo di falda a -1 m dal p.c.

Codice	Tipo	Liv_min	Liv_max	Data_min	Data_max
XA301G033	Piezometro	3.1	0.75	17/12/2001	21/11/2003
XA301V001	Piezometro	0.6	-	17/12/2001	-
XA301V002	Piezometro	7.45	1.02	17/12/2001	21/11/2003
XA301V020	Piezometro	9.3	2.6	26/09/2003	27/02/2004

Tabella 5 – Dati piezometrici misurati nei sondaggi del PP.

7.2.2 Interferenza con le risorse idriche

L’assenza di sorgenti censite nell’areale di interesse non rende necessario un calcolo dell’indice di probabilità di isterilimento (DHI) per la zona in esame, relativamente alle sorgenti naturali. Per contro, è disponibile una serie di dati relativi a pozzi ad uso irriguo presenti nell’area circostante la zona di studio tuttavia, dato il tipo di intervento previsto in quest’area, è comunque possibile escludere ogni forma di interferenza tra l’opera e i pozzi esistenti, tanto in fase di cantierizzazione quanto in fase di esercizio.

8 PROBLEMATICHE CONNESSE ALLA REALIZZAZIONE DELL’OPERA

Dal punto di vista geologico e geotecnico non sussistono criticità particolari. Gli unici elementi da tenere in considerazione sono i) la potenziale presenza di livelli limoso-argillosi compressibili nei depositi alluvionali e il comportamento di tali terreni sotto i carichi di progetto e ii) la scarsa qualità geotecnica degli accumuli di materiale di riporto eventualmente presenti nell’area, che andranno rimossi prima di realizzare il sottofondo del rilevato.

L’eventuale suolo e terreno vegetale presenti andranno stoccati a parte per la rinaturalizzazione finale delle aree cantierizzate.

Dal punto di vista idrogeologico non sono state riscontrate problematiche particolarmente significative in relazione alla realizzazione dell’opera e ciò tanto per la fase di cantierizzazione e

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 23 di 27</p>

costruzione quanto per la fase di esercizio; è comunque importante tenere presente il contesto idrogeologico generale in cui sarà realizzata l'opera, che vede la presenza di una falda libera a pochi metri dalla superficie, ospitata in terreni alluvionali relativamente permeabili. Ciò rende la falda particolarmente vulnerabile alla propagazione di inquinanti che si dovessero infiltrare dalla superficie, ad esempio per versamento accidentale di liquidi (carburanti, lubrificanti, ecc.) nell'area di cantiere. Sarà quindi necessario prevedere misure di prevenzione quali ad es. lo stoccaggio di oli e carburanti in aree precedentemente impermeabilizzate, la predisposizione di sistemi di raccolta e decantazione dei reflui superficiali e misure di bonifica di urgenza nel caso che si verifichi un inquinamento imprevisto.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02 Foglio 24 di 27

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 Alpi occidentali-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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 25 di 27</p>

- 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. *Ofioliti*, 26(2a), 161-164.
- D'Atri A. & Tateo F. (1994) - Volcano-sedimentary beds of Oligocene age from the Tertiary Piedmont Basin (NW Italy): biostratigraphy and mineralogy. *Giornale di Geologia*: III, 56/1, 79-95. Bologna.
- 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-Trecate 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.
- Ghibaud 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 26 di 27</p>

- 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.
- 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-Appennines 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-IN1H-00-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 27 di 27</p>

- 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.
- Tateo F. (1992) - Studio mineralogico-geochimico di sedimenti vulcanoderivati (Oligocene-Miocene inferiore) nell'appennino settentrionale. PhD Thesis, Univ. Bologna, 216 pp.
- Tamponi, M. (1994) - Very-low and low grade metamorphism in Internal Ligurid 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.