

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 DI SERRAVALLE
SCAVO MECCANIZZATO BINARIO PARI
DA PK 29+958,49 A PK 33+959,95 -TRATTO BA-
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI	
Consorzio Cociv Ing. A. Pelliccia		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 3	E	C V	R O	G N 1 C A 0	0 0 1	A

Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	GDP <i>[Signature]</i>	16/12/2013	Rocksoil <i>[Signature]</i>	18/12/2013	A. Palomba <i>[Signature]</i>	20/12/2013	
A01	Revisione per istruttoria n.25/GN1BA-GEO-FAN del 03/04/2014	GDP <i>[Signature]</i>	12/07/2014	Rocksoil <i>[Signature]</i>	15/07/2014	A. Palomba <i>[Signature]</i>	17/07/2014	
A02	Revisione Generale	GDP <i>[Signature]</i>	02/02/2015	Rocksoil <i>[Signature]</i>	04/02/2015	A. Palomba <i>[Signature]</i>	06/02/2015	

n. Elab.:	File: IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01
-----------	---------------------------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 2 di 35</p>

INDICE

INDICE.....	2
1 PREMESSA.....	3
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3 ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO.....	3
4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
4.1 Caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche delle unità del Bacino Terziario Piemontese interessate dall'opera in progetto.....	5
4.1.1 Formazione di Serravalle (aS)	5
4.1.2 Marne di Sant'Agata Fossili	6
4.1.3 Gruppo della Gessoso-Solfifera.....	7
4.2 Depositi post-messiniani	9
4.2.1 Argille di Lugagnano (cfr. Argille Azzurre) (aL)	9
4.3 Unità pleistocenico-oloceniche distinte in base al bacino di pertinenza	10
4.3.1 Bacino dello Scrivia.....	10
4.4 Descrizione delle condizioni geologiche generali attese in galleria	11
5 INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	13
6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	14
6.1 Complessi idrogeologici.....	14
6.1.1 Complesso 4 (c, d, aF)	15
6.1.2 Complesso 3 (fl2, fl1).....	15
6.1.3 Complesso 6 (aL, mA1)	16
6.1.4 Complesso 7 (cC)	17
6.1.5 Complesso 8 (gS)	17
6.1.6 Complesso 9 (mA2, mC, mC1).....	18
6.1.7 Complesso 10 (aS, fCa, fC, uMb, fR)	19
6.2 Sistemi di flusso	20
6.3 Afflussi in galleria	21
7 CONDIZIONI GEOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE ATTESE IN GALLERIA PER TRATTE OMOGENEE.....	21
7.1.1 Tratta pk 29+958.49 / pk 31+210.....	22
7.1.2 Tratta pk 31+210 / 32+700.....	22
7.1.3 Tratta pk 32+700 / 32+890.....	23
7.1.4 Tratta pk 33+275 / pk 33+200.....	24
7.1.5 Tratta pk 33+200 / pk 33+800.....	25

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01	Foglio 3 di 35

7.1.6	Tratta pk 33+800 / pk 34+137.41	26
7.2	Interferenze con le risorse di superficie	27
8	BIBLIOGRAFIA	32

1 PREMESSA

Il presente rapporto riguarda la realizzazione dell'opera identificata dal codice GN1CA. 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". L'opera riguarda il tratto CA della galleria naturale di Serravalle, binario dispari, compreso tra le pk 29+968,70 a pk 34+137.41.

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.

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:

- 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01	Foglio 4 di 35

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:
Fiorenza Pennino, Luca Delle Piane;
- supervisione e controllo elaborati:
Fiorenza Pennino, Luca Delle Piane, Paolo Perello;
- coordinamento della produzione:
Alessia Musso, Dario Varrone;
- rilevamento geologico-strutturale, idrogeologico sedimentologico-stratigrafico e geomorfologico, geologia tecnica:
Alessandra Giorza, Alessia Musso, Dario Varrone, Antonio Damiano, Luca Delle Piane, Paolo Perello;
- geologia tecnica opere all'aperto Lotto 1 (zona di pianura lato Piemonte):
Alessandra Giorza, Alessia Musso, Dario Varrone, Emanuele Bissacca;
- idrogeologia, modellazione idrogeologica numerica, idrogeochimica:
Paolo Perello, Alessandro Baietto, Alessandra Giorza, Dario Varrone;
- bilancio idrologico:
Alessandro Baietto, Davide Damato;
- elaborazioni GIS e CAD:
Alessia Musso, Alessandra Giorza, Dario Varrone, Carlo Rolfo;
- disegno tecnico e redazione elaborati:
Andrea Vaccaro, Ivan Zatti, Fabio Caselli, Carlo Rolfo, Raffaella Macri, Andrea Sahner.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01 Foglio 5 di 35

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La Galleria di Serravalle nella tratta compresa tra le progressive 29+968.70 e 34+137.41 ricade all'interno delle successioni sedimentarie terrigene riferibili al settore meridionale del Bacino Terziario Piemontese (BTP) che a nord, verso la pianura alessandrina, sono sormontate dai depositi post-messiniani (Argille di Lugagnano/Argille Azzurre, Sabbie di Asti l.s. e "Villafranchiano" Auct.) e dai depositi alluvionali pleistocenico-olocenici del bacino di Alessandria, rappresentati in questo settore dai depositi del T. Scrivia.

Per una trattazione generale e completa delle caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area in esame si rimanda al relativo elaborato: Relazione Geologico-Gemorfológica generale (GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00).

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

Il tratto di linea oggetto del presente rapporto attraversa le successioni sedimentarie riferibili alle seguenti unità:

- formazione di Serravalle,
- Marne di Sant'Agata Fossili,
- Membro di Riomaggiore del Gruppo della Gessoso Solfifera (gS)
- Conglomerati di Cassano Spinola del Gruppo della Gessoso Solfifera (cC)
- Depositi post-messiniani: Argille di Lugagnano (Argille Azzurre, aL)

La descrizione delle formazioni 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.

4.1.1 Formazione di Serravalle (aS)

La Formazione di Serravalle è costituita da alternanze irregolari di siltiti e arenarie ricche di bioclasti (Figura 1) rappresentati da bivalvi e scafopodi (*Dentalium sp.*). Le siltiti e le arenarie sono intensamente bioturbate e formano gruppi di strati di potenza plurimetrica, organizzati internamente in strati di spessore compreso tra 10 e 20 cm. I corpi arenacei mostrano geometria debolmente lenticolare a scala pluridecametrica. All'interno di essi, gli strati arenacei sono amalgamati e caratterizzati da sottili concrezioni stratiformi; essi mostrano contatti di base netti, gradazione normale, laminazione piano-parallela mal definita alla base e livelli a clay-chips, ripples o lamine oblique a basso angolo verso il tetto. Nelle siltiti si osservano lamine isolate sabbiose a base piana e tetto convesso od ondulato ad estensione laterale decimetrico-metrica, interpretabili come treni isolati di ripple. Nelle siltiti sono comuni tracce riferibili all'icnogenere *Anconichnus* (bioturbazioni da 2 mm a 7 cm di diametro), e rare tracce prodotte da echinidi.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01 Foglio 6 di 35

Localmente sono presenti strati e gruppi di strati costituiti da quarzareniti passanti ad areniti ibride grossolane o microconglomeratiche a struttura caotica, con base e tetto netti, potenti mediamente 1m, e con continuità laterale chilometrica.



Figura 1: Formazione di Serravalle poco a ovest dell’abitato di Serravalle. Arenarie e siltiti a stratificazione piano-parallela; sono riconoscibili alcuni strati maggiormente cementati, costituiti da quarzareniti passanti ad areniti ibride.

4.1.2 *Marne di Sant’Agata Fossili*

Questa unità è in prevalenza costituita da sedimenti marnosi, nel complesso, la formazione ha una potenza massima di circa 400 m. L’associazione a nannofossili calcarei è caratteristica del Tortoniano - Messiniano inferiore.

All’interno delle Marne di Sant’Agata Fossili è possibile differenziare una porzione inferiore (mA2), e una parte superiore (mA1) aventi caratteristiche litologiche differenti.

La porzione inferiore (mA2) è costituita da marne argillose passanti a marne calcaree omogenee di colore grigio a stratificazione mal distinta, bioturbate e ricche in foraminiferi planctonici e nannofossili calcarei, e livelli pelitici laminati. Nella parte basale della formazione ai sedimenti marnosi si intercalano intervalli pluridecimetrici diatomitici e caratteristici livelli silicizzati finemente laminati (contenenti abbondanti resti di squame di pesce e di vegetali), inoltre sono associati a strati centimetrico-decimetrici di arenarie spongolitiche e livelli costituiti interamente da cristalli di dolomite primaria. Gli intervalli diatomitici si presentano fittamente stratificati e finemente laminati e contengono un’associazione di forme marine planctoniche.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01
	Foglio 7 di 35

4.1.3 Gruppo della Gessoso-Solfifera

Il Gruppo della Gessoso-Solfifera comprende tutte le successioni sedimentarie connesse alla crisi di salinità di età Messiniana che secondo il modello CIESM (2008) si è sviluppata attraverso tre stadi evolutivi cui sono legati tre differenti tipi di depositi: 1) evaporiti primarie e peliti euxiniche tempo-equivalenti, 2) evaporiti risedimentate e 3) depositi terrigeni post-evaporitici.

L'unità è riportata tra le Unità tradizionali formalizzate nel fascicolo VII, Quaderno 7, del SGN-ISPRA (Roveri & Manzi, 2007), mentre il termine di Formazione Gessoso Solfifera è stato emendato.

Nel settore di studio affiorano i depositi riferibili alla fase 1) le peliti euxiniche con rari interstrati di gessoclastiti (Membro di Riomaggiore, gS), seguite dai depositi della fase 3) depositi terrigeni post-evaporitici (Conglomerati di Cassano Spinola, cS).

4.1.3a Membro di Riomaggiore

Le peliti euxiniche, in letteratura non sono mai state segnalate in questi settori e soltanto nel corso degli approfondimenti condotti in fase esecutiva del presente progetto è stata rilevata la loro presenza. Questa nuova unità è stata indicata come "Membro di Riomaggiore". In fase di Progetto Definitivo, lo stesso intervallo stratigrafico, era stato riferito genericamente all'unità "Gessoso Solfifera". Questo aggiornamento/revisione della successione stratigrafica risulta particolarmente significativo da un punto di vista della caratterizzazione litologica e geomeccanica dell'ammasso roccioso, infatti in fase di PD l'unità è stata descritta come: "arenarie fini e siltiti con blocchi di gessi selenitici e livelli evaporitici risedimentati", tuttavia i nuovi dati raccolti, unitamente alle informazioni provenienti dai sondaggi eseguiti in fase di Progetto Preliminare e Definitivo, hanno permesso di escludere con un buon margine di certezza la presenza di blocchi di gessi e calcari.

Il Membro di Riomaggiore presenta una potenza massima di 80-100 m circa e risulta nel complesso costituito da argille, siltiti e subordinate arenarie con stratificazione centimetrica molto ben sviluppata e laminazione millimetrica (Figura 2), che conferisce a tali depositi un aspetto "varvato". La colorazione è molto variabile dal giallo bruno, al crema, al grigio e localmente violacea. Ciò che contraddistingue questi depositi è l'assenza di bioturbazione. Il contenuto fossilifero è soprattutto concentrato lungo le superfici di laminazione degli strati argillosi, ed è rappresentato da resti vegetali e squame o resti di pesci e larve di libellula e resti di esemplari adulti. Inoltre sono presenti lamine e gruppi di lamine, caratterizzate da un'abbondante concentrazione di frustoli di diatomee.

A questi sedimenti si intercalano, in misura subordinata, depositi evaporitici rappresentati da livelli millimetrici di gesso cristallino e solo localmente da banchi pluridecimetrici di gesso costituito da gesso laminato microcristallino e da gessoclastiti.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01 Foglio 8 di 35



Figura 2: Livelli millimetrico-centimetrici sottilmente laminati costituiti da peliti, siltiti e gesso cumulitico microcristallino.

4.1.3b *Conglomerati di Cassano-Spinola (cC)*

Questa formazione presenta nel suo complesso una geometria piano-concava con uno spessore massimo di oltre 200 m nel settore di Cassano Spinola (AL) e di 60-80 m circa in prossimità di Serravalle Scrivia e Novi Ligure. La variabilità laterale di spessore della formazione è dovuta principalmente all'irregolarità geometrica del limite erosionale inferiore che a sua volta è fortemente condizionato dall'assetto strutturale dell'area.

La formazione è riferibile alla parte superiore dell'intervallo "post-evaporitico" del Messiniano ed è costituita per la maggior parte da alternanze arenaceo-pelitiche (Figura 3) e subordinatamente da corpi lenticolari di conglomerati. I livelli arenacei sono potenti da qualche decimetro a 2-3 m e talora risultano amalgamati. Internamente essi risultano omogenei oppure sono gradati e caratterizzati da associazioni di strutture trattive (laminazione piano-parallela, laminazione obliqua planare a medio-grande scala, lamine oblique concave a media e piccola scala, laminazione ondulata, laminazione convoluta). Le intercalazioni pelitiche (potenti da pochi centimetri a 1 m circa) corrispondono ad intervalli compositi, costituiti da un'alternanza ritmica fra strati centimetrico-decimetrici di argille omogenee e strati centimetrici di siltiti o strati millimetrico-centimetrici di areniti fini.

I corpi conglomeratici, nel settore interessato dall'opera possono raggiungere i 2-3 m di spessore e mostrano un'estensione laterale variabile intorno alla decina di metri. Si tratta di conglomerati clast-supported, con matrice sabbiosa, a ciottoli centimetrico-decimetrici, passanti lateralmente ad areniti medie e grossolane. Localmente è osservabile l'embriciatura dei ciottoli ed una stratificazione mal definita. Il contatto inferiore con i depositi pelitico-siltosi sottostanti risulta netto ed erosionale.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01 Foglio 9 di 35



Figura 3: Evidenza del passaggio stratigrafico tra il Membro di Riomaggiore (gS) e i Conglomerati di Cassano Spinola (cC), qui rappresentati da facies fini siltoso-argillose.

4.2 Depositi post-messiniani

4.2.1 Argille di Lugagnano (cfr. Argille Azzurre) (aL)

Le Argille di Lugagnano rappresentano il termine basale della successione pliocenica. Il passaggio tra i Conglomerati di Cassano Spinola e le Argille di Lugagnano è stato osservato esclusivamente in carote di sondaggio e risulta di tipo transizionale rapido, sviluppandosi entro pochi metri.

Le Argille di Lugagnano sono costituite da argille e argille siltose, localmente sabbiose-fini, di colore beige (zona di alterazione superficiale) o grigio-azzurro, a stratificazione mal distinta, localmente sottolineata da livelli con maggior contenuto in sostanza organica. Si mostrano localmente bioturbate e contengono resti di bivalvi, gasteropodi, echinidi, pteropodi, associazioni a foraminiferi planctonici e bentonici ed abbondanti frustoli vegetali. Il contenuto fossilifero ed in generale la scarsa frazione carbonatica tendono a diminuire verso la parte alta della formazione

Localmente si rinvencono livelli di arenarie e microconglomerati, che costituiscono corpi lenticolari, potenti fino a qualche metro.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01 Foglio 10 di 35

4.3 Unità pleistocenico-oloceniche distinte in base al bacino di pertinenza

4.3.1 Bacino dello Scrivia

Nell'area oggetto di intervento, i depositi fluviali riferibili al bacino del Torrente Scrivia sono localizzati sia alla sommità dei rilievi collinari prospicienti le aree di pianura, sia in corrispondenza dell'ampio conoide del T. Scrivia, che si sviluppa all'incirca tra Serravalle Scrivia e Tortona.

I depositi fluviali del bacino del Torrente Scrivia sono costituiti da successioni che presentano una granulometria scarsamente differenziata, con netta prevalenza di elementi clastici grossolani, tuttavia sulla base delle caratteristiche litologiche, delle caratteristiche dei suoli cui sono associate e sulla base della posizione geometrica che essi occupano all'interno del bacino si sono potute distinguere in 3 unità principali. L'opera in progetto ricade parzialmente all'interno dell'unità intermedia indicata come Depositi fluviali medi (fl2).

4.3.1a Depositi fluviali medi (fl2)

I depositi fluviali riferiti a questa unità sono ubicati in corrispondenza dell'ampio terrazzo di Novi Ligure, sospeso di 25-45 metri rispetto all'alveo del T. Scrivia e che si estende da Serravalle Scrivia a Pozzolo Formigaro in sinistra idrografica del T. Scrivia.

Le osservazioni stratigrafiche derivano soprattutto dalle stratigrafie di sondaggio e in minima parte da osservazioni dirette. I depositi fluviali medi (fl2) sono costituiti da ghiaie sabbioso-limose debolmente argillose. Dall'analisi granulometrica di 4 campioni raccolti in 1 sito le classi granulometriche risultano così distribuite: 57% ghiaia, 21% sabbia, 15% limo e 7% argilla. La matrice fine, siltoso-arenacea è mediamente alterata. Solo localmente sono presenti livelli metrici di argille e silt-argillosi (Figura 4).



Figura 4.: Sondaggio XA301B111, dettaglio dell'unità fl2.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 11 di 35</p>

La superficie di appoggio basale, di natura erosiva, è modellata sul substrato costituito dalle successioni post-messiniane (Argille di Lugagnano, aL; Sabbie d'Asti e successione Villafranchiana auct., vL). La superficie sommitale dei depositi coincide solo in parte con il top deposizionale essendo in generale sensibilmente rimodellata, soprattutto in corrispondenza dell'orlo del terrazzo che separa i depositi fluviali medi (fl2) da quelli recenti (fl3). I depositi fluviali medi (fl2) sono ricoperti da suoli che presentano un grado di evoluzione medio-basso con potenza media variabile da 0,5 a 2 metri, attualmente utilizzati come strato coltivo. Lo spessore complessivo dei depositi fluviali medi varia da 1-2 metri a 10-15 metri circa.

In base al grado di alterazione e ai rapporti con le altre unità, i depositi fluviali medi possono essere indicativamente riferiti al Pleistocene medio-superiore.

4.4 Descrizione delle condizioni geologiche generali attese in galleria

Il modello geologico di riferimento generale prevede che la galleria attraversi le formazioni delle arenarie di Serravalle (aS), delle marne di S. Agata Fossili (mA2), del gruppo della Gessoso-Solfifera (gS, cC) e delle Argille Azzurre (aL); l'interfaccia tra il substrato prequaternario e i sedimenti alluvionali riferibili al Fluviale Medio del bacino del T. Scrivia (fl2) dovrebbe essere intercettata esclusivamente in prossimità della pk 32+625 circa, anche se non è possibile escludere a priori la presenza di irregolarità morfologiche della superficie di appoggio dei depositi quaternari, dovute ad es. a paleoalvei sepolti, che potrebbero detrimanere localmente la comparsa in calotta di depositi fluviali.

Data la giacitura degli strati e dei contatti, mediamente inclinata tra NNE e NNW di 15-35° e progressivamente decrescente verso nord, l'intersezione della galleria con il substrato prequaternario incontrerà degli strati debolmente inclinati nella direzione di avanzamento, con possibile leggera immersione apparente dal paramento destro al paramento sinistro, o anche opposta; la debole inclinazione dei limiti geologici, fa sì che questi, una volta incontrati, possano essere seguiti per un tratto considerevole, con presenza di fronti di scavo misti e a permeabilità differenziata.

Nel tratto relativo all'opera GN1CA si possono configurare le seguenti criticità di natura geologica/idrogeologica:

1. la presenza di alcune zone di faglia presunte, in particolare tra le pk 30+505 e 30+550 e tra le pk 30+975 e 31+020, all'interno delle Arenarie di Serravalle.

In questi settori è prevedibile un locale aumento dello stato di fratturazione del substrato, una maggiore permeabilità proporzionale alla maggiore densità di fratture, la presenza di alcune venute d'acqua e in generale una maggiore alterazione della roccia legata alla circolazione di acqua.

2. la presenza di alcune zone di faglia presunte, in particolare tra le pk 32+850 e 33+025, al contatto tra Marne di S. Agata Fossili e il Gruppo della Gessoso-Solfifera; e tra le pk 33+890 e 33+925, tra il Gruppo della Gessoso-Solfifera e le Argille Azzurre (aL).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 12 di 35</p>

In questi settori è prevedibile un locale aumento dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso, una maggiore permeabilità proporzionale alla maggiore densità di fratture, la presenza di alcune venute d'acqua e in generale una maggiore alterazione della roccia legata alla circolazione di acqua. La presenza di lenti di gessi all'interno del membro di Riomaggiore della Gessoso-Solfifera, potrebbe determinare, in corrispondenza delle zone di faglia, la comparsa di cavità da dissoluzione carsica, eventualmente riempite da depositi residuali di dissoluzione con scadenti caratteristiche geotecniche, nonché la possibile presenza di acque chimicamente aggressive nei confronti del calcestruzzo.

3. La presenza di irregolarità della superficie basale di appoggio dei depositi fluviali quaternari sul substrato prequaternario, legate a morfologie erosionali sepolte, come ad esempio dei paleoalvei; una situazione di questo tipo è ipotizzata tra le pk 32+875 e 32+970, anche se non si hanno elementi precisi per escludere che la medesima situazione non si possa riscontrare anche in altri settori, soprattutto oltre la pk 33+000, dove la copertura in substrato al di sopra della calotta è particolarmente esigua.

In queste condizioni sono ipotizzabili venute d'acqua in calotta, provenienti dai depositi fluviali saturi soprastanti; ciò sia nel caso in cui vengano intercettate direttamente in calotta le alluvioni, sia nel caso in cui queste non vengano intercettate ma l'estensione della zona plastica legata allo scavo raggiunga l'interfaccia substrato/alluvioni, anche diversi metri sopra alla calotta; in questo secondo caso, potrebbe generarsi una comunicazione idraulica tra la galleria e il mezzo saturo, con conseguente aumento degli afflussi d'acqua nello scavo.

4. Come accennato al punto precedente, a partire dalla pk 32+875, la copertura sopra alla galleria in terreni litoidi del substrato prequaternario è esigua, in genere pari o inferiore a 15 m; non si possono escludere paleoalvei sepolti che portino le alluvioni a breve distanza dalla calotta, o anche intercettare lo scavo.

In tutto il settore a N della pk 32+875, si potranno quindi verificare condizioni per cui l'estensione della zona plastica legata allo scavo può raggiungere l'interfaccia substrato/alluvioni, aumentando la permeabilità del substrato e determinando una comunicazione idraulica tra la galleria e il mezzo saturo, con conseguente aumento degli afflussi d'acqua nello scavo.

La ridotta copertura in materiale roccioso o litoide implica anche una ridotta resistenza della volta e del contorno del cavo alle sollecitazioni imposte dal carico citostatico; infatti, lo strato di depositi alluvionali al di sopra della calotta, che ha uno spessore medio di 10-12 m, non dà verosimilmente alcun contributo al sostegno del cavo (a meno che non siano presenti livelli cementati), andando anzi a gravare passivamente sul ridotto spessore resistente della calotta. Questa condizione è peggiorata inoltre dal carico idraulico, essendo accertato che le alluvioni ospitano una falda freatica.

5. La presenza di fronti di scavo misti, caratterizzati da un possibile contrasto di permeabilità e/o di comportamento geotecnico; le zone di contatto tra le diverse formazioni sono localizzate tra le pk:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01	Foglio 13 di 35

- 31+175 – 31+240: contatto aS (siltiti e arenarie) / mA2 (marne);
- 32+470 – 32+720: contatto mA2 (marne) / mA1 (marne argillose + peliti);
- 33+250 – 33+270: contatto gS (argille + siltiti + arenarie ± gessi)/ cC (arenarie + peliti ± conglomerati);
- 33+580 – 33+920: contatto cC (arenarie + peliti ± conglomerati) / aL (argille marnose);
- 33+275 – 34+400: contatto cC (arenarie + peliti ± conglomerati) / aL (argille marnose);
- 33+460 – (fine tratta): possibile contatto aL (argille marnose)/ depositi alluvionali (f12).

I contatti gS/cC e cC/aL interessano una tratta in condizioni di fronte misto di notevole lunghezza, data la debole inclinazione della stratificazione e dei contatti stessi.

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche ritenute significative per la ricostruzione geologico-idrogeologica del settore d'interesse sono di seguito elencate, secondo l'ordine in cui compaiono lungo la WBS in oggetto:

CODICE	FASE PROGETT.	UNITA' ATTRAVERSATE
L3-S4	PE	Arenarie di Serravalle, aS
L3-S8	PE	Arenarie di Serravalle, aS
SA301G036	PP	Arenarie di Serravalle, aS + faglia
AA301G039	PP	Arenarie di Serravalle, aS
AA301G037	PP	Arenarie di Serravalle, aS; Marne si S.Agata Fossili, mA
AA301G038	PP	Marne si S.Agata Fossili, mA
SA301G040	PP	Marne si S.Agata Fossili, mA
L3-S11	PE	Marne si S.Agata Fossili, mA
S1	PP	Gruppo Gessoso Solfifera + Depositi fluviali (f12)
S4	PP	Gruppo Gessoso Solfifera + Depositi fluviali (f12)
S7	PP	Gruppo Gessoso Solfifera + Depositi fluviali (f12)
S5	PP	Gruppo Gessoso Solfifera + Depositi fluviali (f12)
S6	PP	Gruppo Gessoso Solfifera + Argille Azzurre (aL) + Depositi fluviali (f12)
SC28	PD	Gruppo Gessoso Solfifera

SA301B041	PP	Gruppo Gessoso Solfifera
L3-S12	PE	Gruppo Gessoso Solfifera +Argille Azzurre (aL) + Depositi fluviali (f12)
L3-S7	PE	Gruppo Gessoso Solfifera +Argille Azzurre (aL) + Depositi fluviali (f12)
L3S7 bis	PE	Gruppo Gessoso Solfifera +Argille Azzurre (aL) + Depositi fluviali (f12)
S-OV42-1	PE	Gruppo Gessoso Solfifera +Argille Azzurre (aL) + Depositi fluviali (f12)
L3-S13	PE	Gruppo Gessoso Solfifera +Argille Azzurre (aL) + Depositi fluviali (f12)
SA301B042	PE	Gruppo Gessoso Solfifera +Argille Azzurre (aL) + Depositi fluviali (f12)
L3-S5	PE	Gruppo Gessoso Solfifera +Argille Azzurre (aL) + Depositi fluviali (f12)
L3-S5 bis	PE	Gruppo Gessoso Solfifera +Argille Azzurre (aL) + Depositi fluviali (f12)
L3-S6	PE	Gruppo Gessoso Solfifera +Argille Azzurre (aL) + Depositi fluviali (f12)
S-OV42-3	PE	Gruppo Gessoso Solfifera +Argille Azzurre (aL) + Depositi fluviali (f12)

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

6.1 Complessi idrogeologici

L'area di studio 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.

Per una trattazione generale e completa relativa all'assetto idrogeologico dell'area d'interesse si rimanda alla relativa Relazione Idrogeologica Generale (GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-02-001-A00).

Per quanto riguarda più strettamente l'opera in progetto, questa è quasi interamente realizzata all'interno del substrato prequaternario, che rappresenta un acquifero dalla produttività e dalla connettività idraulica estremamente limitate.

La base dell'acquifero residente nei depositi quaternari (f12) si colloca mediamente tra 10 e 15 m al di sopra della calotta della galleria; non è da escludere comunque, anche se non vi sono indizi specifici in tal senso, che eventuali irregolarità della superficie di appoggio dei depositi alluvionali (come ad es. un paleoalveo sepolto) possano portare l'interfaccia alluvioni/substrato a quote molto prossime a quella della calotta.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01
	Foglio 15 di 35

6.1.1 Complesso 4 (c, d, aF)

I depositi quaternari non sono oggetto di interesse diretto per questa tratta poiché essa si sviluppa interamente nel substrato prequaternario. Essi risultano comunque significativi per l'opera in progetto, vista la possibilità che costituiscano dei serbatoi in grado di garantire un'alimentazione rilevante a strutture idrogeologiche del substrato, che potrebbero essere intercettate dalla galleria.

In quest'area i depositi quaternari dominanti sono quelli della coltre detritico-colluviale che si forma a spese del substrato sottostante. La coltre ha spessore variabile, compreso tra 1 e 2 metri, a seconda della posizione rispetto al versante e del substrato da cui deriva.

La coltre, nelle porzioni più pellicolari, è costituita da elementi litoidi di taglia da subcentimetrica a decimetrica, immersi in matrice limoso-sabbiosa, e con caratteristiche variabili in funzione del litotipo di provenienza; questo tipo di depositi presenta dunque una conducibilità idraulica per porosità primaria. In profondità, dove il deposito consiste principalmente del substrato disarticolato si passa ad un contesto misto di permeabilità per fratturazione e porosità a seconda del grado di allentamento dell'ammasso roccioso.

Non sono disponibili prove di tipo idraulico per i depositi quaternari ma sembra comunque ragionevole presupporre una conducibilità stimata compresa tra 1×10^{-6} e 1×10^{-8} m/s.

6.1.2 Complesso 3 (fl2, fl1)

Questo complesso idrogeologico è caratterizzato da un grado di cementazione variabile e la cui permeabilità è principalmente legata alla porosità primaria del deposito.

I test idraulici eseguiti (Figura 5), mettono in evidenza valori di conducibilità idraulica piuttosto dispersi, con tuttavia dei valori medi compresi tra 1×10^{-5} e 1×10^{-7} m/s; localmente si potrebbero riscontrare conducibilità maggiori (fino a 1×10^{-3} m/s) o minori (fino a 1×10^{-8} m/s) dipendenti dalla presenza di orizzonti differenziabili in relazione al diverso rapporto percentuale tra ghiaie, sabbie, limi e argille.

La stratigrafia di questi sedimenti, nota sulla base dei sondaggi eseguiti nell'ambito della progettazione preliminare e definitiva del tracciato, evidenzia una successione di orizzonti a composizione limoso-argillosa che possono causare locali effetti di compartimentazione.

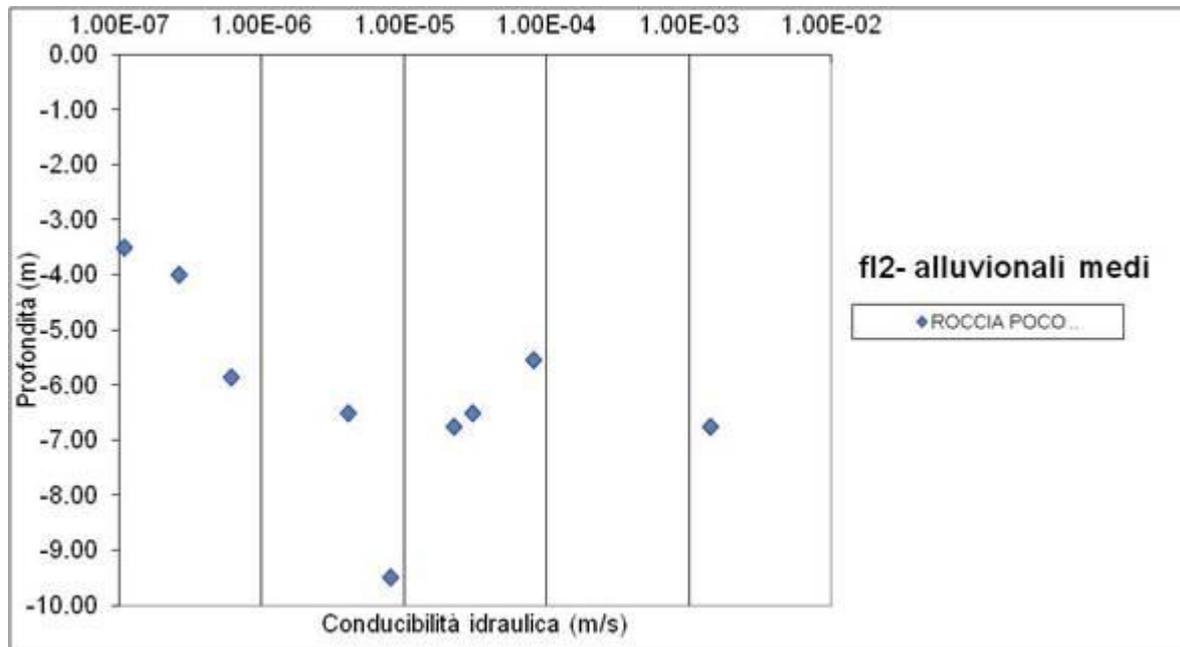


Figura 5. Grafico delle conducibilità idrauliche per i depositi alluvionali medi (fl2) da prove sui sondaggi del Progetto preliminare (R004, D015, G022, G040, B042, B043, B044).

6.1.3 Complesso 6 (aL, mA1)

Dalle osservazioni di terreno emerge che il complesso idrogeologico 6 è costituito prevalentemente da argille e argille siltose (aL) e marne con intercalazioni pelitiche (mA1), in cui la permeabilità è prevalentemente legata allo stato di fratturazione dell'ammasso, mentre la permeabilità primaria è da considerarsi trascurabile, fatta eccezione per locali corpi lenticolari di arenarie e micro conglomerati con scarsa continuità laterale.

I test idraulici eseguiti direttamente su questo complesso idrogeologico mostrano conducibilità idrauliche prevalenti, fuori dalle zone di faglia, tra 1×10^{-8} a 1×10^{-10} m/s (Figura 6), localmente si potrebbero riscontrare conducibilità maggiori fino a 1×10^{-7} m/s, probabilmente legate a livelli con un basso grado di cementazione e una più elevata porosità.

Per le zone di faglia la conducibilità idraulica è stata stimata, essendo presente un unico dato misurato, tra 1×10^{-7} e 1×10^{-10} m/s. Dalle osservazioni di terreno si può ipotizzare che lungo le faglie di questo complesso le permeabilità maggiori siano relative alle zone di danneggiamento, mentre le zone di nucleo possono presentare un effetto di compartimentazione per lo sviluppo di rocce di faglia a granulometria fine e con componente argillosa generalmente impermeabile.

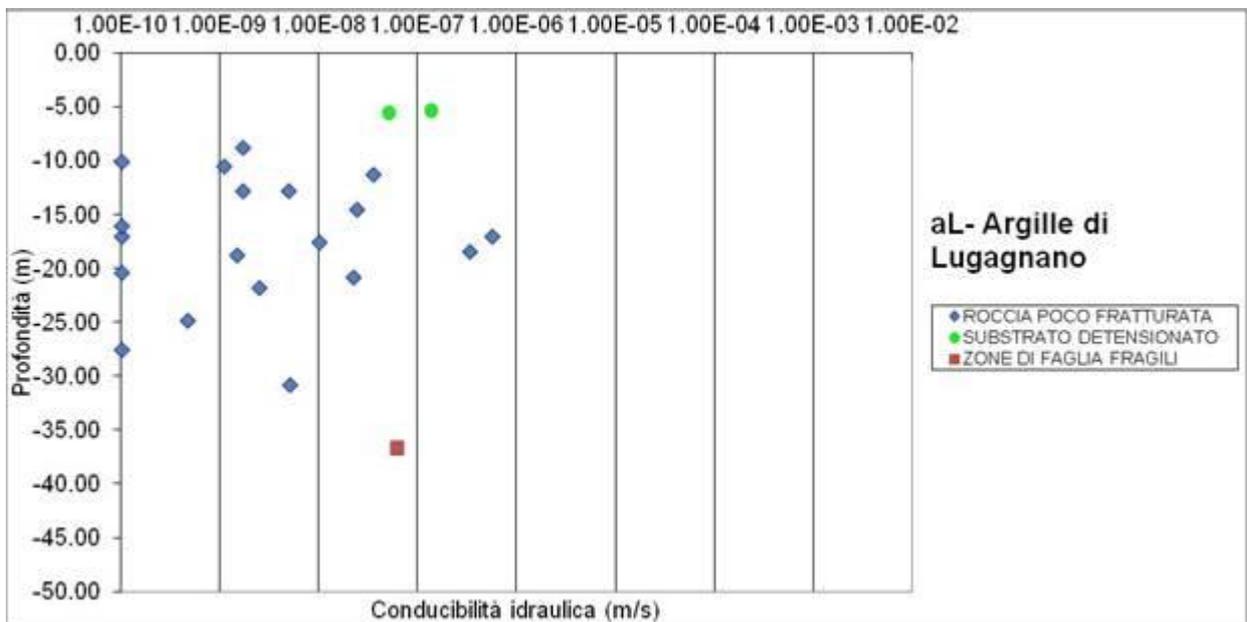


Figura 6. Grafico delle conducibilità idrauliche per le Argille di Lugagnano da prove sui sondaggi del Progetto preliminare (R005, R006, R010, R011, G022, G023, G024, B042, B043, B044, R062, R063) e definitivo (SF10).

6.1.4 Complesso 7 (cC)

Questo complesso idrogeologico è formato unicamente dalla Formazione di Cassano Spinola.

Dai dati di terreno emerge che questa formazione include occasionalmente orizzonti poco compattati e con un basso grado di cementazione. In corrispondenza di questi orizzonti poco cementati essa presenta sostanzialmente una permeabilità per porosità, mentre in corrispondenza di zone in cui il grado di cementazione tende ad aumentare può essere presente una componente di permeabilità per fratturazione.

Per questo complesso idrogeologico sono disponibili pochi dati da test idraulici eseguiti in foro nei sondaggi del Progetto Preliminare XA301G022 e XA301G023. Essi mettono in evidenza una conducibilità idraulica dell'ordine di 1×10^{-8} - 1×10^{-9} m/s; cautelativamente si è comunque ipotizzato che si possano raggiungere valori fino a 1×10^{-6} m/s, vista la possibile presenza di livelli poco cementati.

Per le zone di faglia la conducibilità idraulica è stata stimata nell'intervallo 1×10^{-6} / 1×10^{-9} m/s. Si può ipotizzare che lungo le faglie del complesso le permeabilità maggiori siano relative alle zone di danneggiamento, mentre le zone di nucleo possono presentare un effetto compartimentante per la presenza più o meno continua di prodotti di frizione tettonica con granulometria fine.

6.1.5 Complesso 8 (gS)

Il complesso idrogeologico formato dal Membro di Riomaggiore, facente parte del Gruppo della Gessoso Solfifera, è costituito prevalentemente da argille e silti con livelli millimetrico-centimetrici di gesso e occasionali orizzonti di potenza metrica di gessoclastiti. La porosità primaria di questo complesso è considerata trascurabile ed anche la permeabilità per fratturazione potrebbe risultare

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01 Foglio 18 di 35

molto bassa, anche se può subire locali incrementi legati a fenomeni di deformazione fragile. Di conseguenza il grado di permeabilità è generalmente basso o molto basso.

È stato eseguito un unico test idraulico all'interno di questo complesso nel sondaggio SA301B041 con un valore di conducibilità idraulica pari a 1.70×10^{-9} m/s. Per il complesso è stato quindi stimato un intervallo di conducibilità compreso tra 1×10^{-8} e 1×10^{-10} m/s, benché localmente possano comparire valori di conducibilità maggiori (fino a 10^{-7} m/s), riferibili a condizioni di maggiore fratturazione locale dell'ammasso roccioso.

Per le zone di faglia, che spesso costituiscono i principali elementi idrogeologici dell'ammasso roccioso, non sono disponibili dati di tipo idraulico ma sono comunque state stimate delle conducibilità comprese tra 1×10^{-7} e 1×10^{-9} m/s, con possibilità di fenomeni di compartimentazione legati allo sviluppo di rocce di faglia a granulometria fine.

La presenza di livelli millimetrico-centimetrici a composizione gessosa rende questo complesso suscettibile a fenomeni di dissoluzione chimica del gesso che potrebbero portare localmente l'ammasso roccioso a permeabilità medio-alte. Ciononostante la discontinuità di questi livelli, il loro spessore esiguo e la presenza di strati argillosi dovrebbe impedire l'estensione a grande scala del fenomeno, che rimane confinato a livello locale. Fenomeni di maggiore portata potrebbero essere legati ai livelli di gessoclastiti, di potenza maggiore ma anch'essi con una continuità laterale modesta (massimo 100 m).

6.1.6 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 non 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 1×10^{-7} e 1×10^{-9} m/s, meno frequentemente tendenti 1×10^{-10} m/s, come evidenziato dal diagramma di Figura 7. 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 7). Dalle osservazioni di terreno e dall'unico dato disponibile si possono stimare valori di conducibilità idraulica dell'ordine dei $1 \times 10^{-7}/1 \times 10^{-9}$ m/s, compatibili con una variazione della conducibilità legata alla percentuale di materiale fine limoso-argilloso che può inoltre indurre un effetto di compartimentazione.

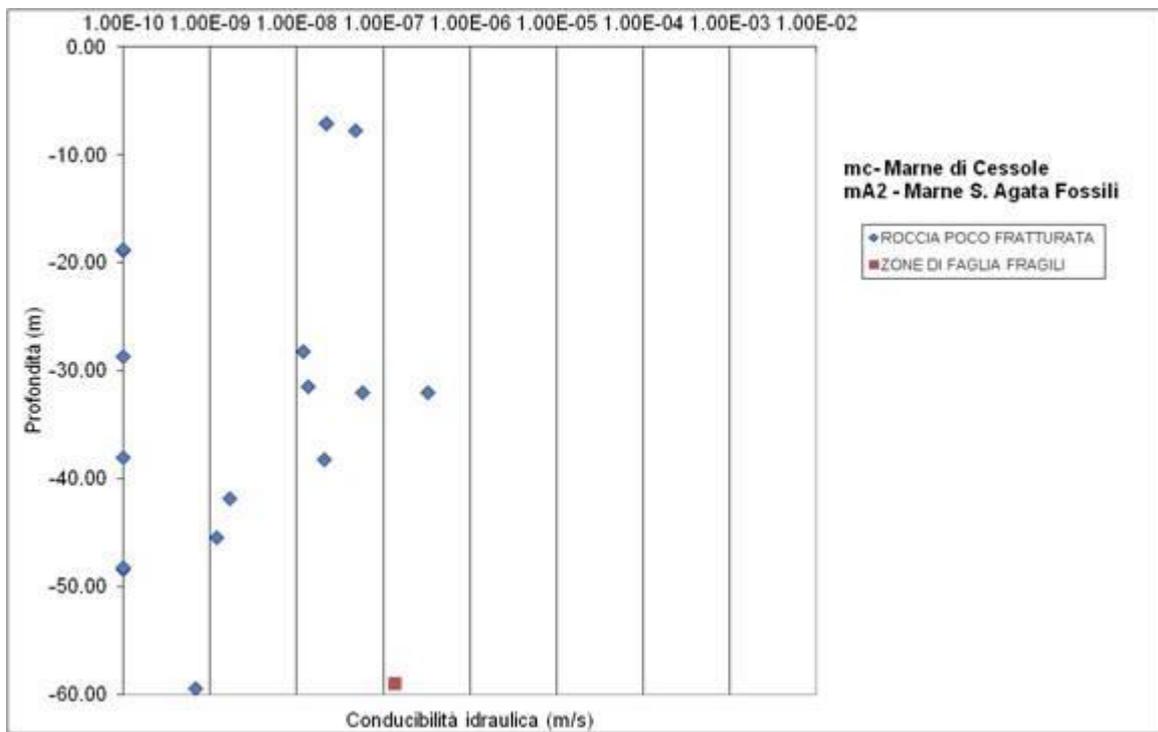


Figura 7. Grafico delle conducibilità idrauliche delle marne di Cessole (mC e mC1) e per le Marne di S. Agata Fossili (mA2) da prove sui sondaggi del Progetto esecutivo (SI42) e preliminare (AA301G034, AA301G035, AA301G037, AA301G038, XA301V021).

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

I litotipi facenti parte di questo complesso sono arenarie da medio-fini a medio-grossolane con alternanze di marne siltose e 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 8 raccoglie i dati delle prove idrauliche eseguite direttamente all'interno di questo complesso che indicano per l'ammasso roccioso, al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche comprese tra 10^{-7} e 10^{-9} m/s. Numerosi dati, sulla cui attendibilità esistono tuttavia alcuni dubbi, indicano conducibilità idrauliche inferiori a 1×10^{-9} m/s. Questi ultimi sono probabilmente legati alla presenza di livelli a composizione marnoso-siltosa. E' stata altresì inserita, nel grafico di Figura 8, 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, comprese tra 1×10^{-5} e 1×10^{-6} m/s, legate ad un contesto misto di permeabilità per fratturazione e porosità.

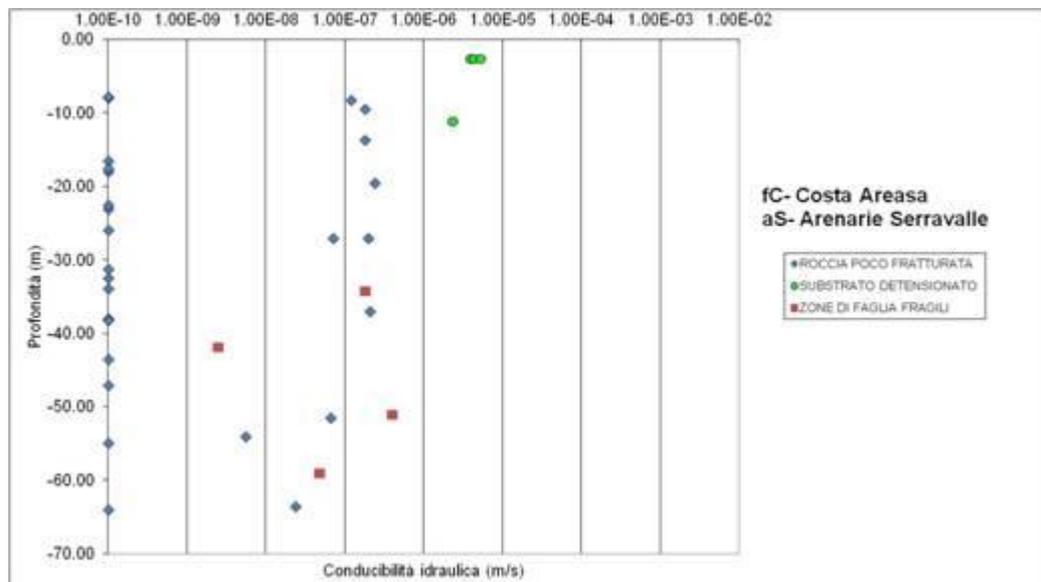


Figura 8. Grafico delle conducibilità idrauliche per la Formazione di Costa Areasa (fC) e per le Arenarie di Serravalle (aS) da prove in foro di sondaggi del progetto preliminare (G036, G037, G029, V001, V002, V003, G033, G032, V020, G031, G029, G028). Sono state distinte prove eseguite in roccia poco fratturata, substrato detensionato e zone di faglia.

Dall'analisi dei sondaggi e dal confronto con i dati di terreno sono state individuate delle zone di faglia ove sono state eseguite delle prove di tipo idraulico, che mostrano una conducibilità tra 10^{-6} e 10^{-8} m/s. Dalle osservazioni di terreno si può ipotizzare che lungo le faglie di questo complesso le permeabilità maggiori siano relative alle zone di danneggiamento soprattutto se queste sono costituite da litotipi con una bassa percentuale di materiale limoso, mentre le zone di nucleo possono talvolta presentare un effetto di compartimentazione per lo sviluppo di rocce di faglia a granulometria fine e con componente limosa generalmente impermeabile.

6.2 Sistemi di flusso

La tratta di galleria compresa nella WBS di interesse si sviluppa in due contesti geologici e geomorfologici distinti, il primo tratto (circa fino alla pk 32+875) è inserito in un contesto collinare in cui il substrato è perlopiù affiorante con locali zone di copertura detritico-colluviale potenti pochi metri, il secondo tratto si sviluppa in un contesto di pianura, in corrispondenza di un terrazzo di origine alluvionale, in cui i depositi alluvionali poggiano sul substrato con una buona continuità laterale.

All'interno del primo tratto sono stati ipotizzati dei sistemi di flusso superficiali che si sviluppano all'interfaccia tra copertura quaternaria e substrato. La copertura quaternaria in questa zona ha una potenza compresa tra 1 e 3 m, derivante dall'alterazione delle Arenarie di Serravalle e dalle Marne di Sant'Agata Fossili e origina quindi degli acquiferi poco capacitivi e locali. Lungo la stessa tratta sono presenti due zone di faglia principali, dirette circa NE-SW e N-S, lungo cui è possibile che si sviluppino dei sistemi di flusso, presumibilmente misti o profondi. La presenza di tali sistemi di flusso è incerta, tuttavia, qualora presenti, le circolazioni avverrebbero direzione da SW verso NE (e da NE verso SW) e da S verso N.

Nel secondo tratto il contesto geologico e idrogeologico della tratta di pianura è caratterizzato dalla presenza dei depositi alluvionali (fl2), rappresentanti l'acquifero superficiale, con spessori crescenti da est verso ovest. Sono state ipotizzate direzioni di flusso con direzione da SE a NW, derivanti dalla somma di due componenti principali; una diretta dal bordo del terrazzo verso ovest, condizionata dal cambiamento di spessore dell'acquifero e dalla giacitura della superficie di contatto con il substrato, ed una diretta N-S legata al normale deflusso dipendente dalla topografia generale della Valle Scrivia, le cui quote tendono a diminuire verso nord. I piezometri presenti nell'area sono di numero troppo esiguo per definire in modo omogeneo l'andamento della falda superficiale, comunque i dati presi in considerazione sembrano confermare l'ipotesi di un deflusso in questa direzione.

6.3 Afflussi in galleria

La stima degli afflussi in fase di scavo è stata effettuata sulla base di diversi parametri quali la conducibilità idraulica dei vari complessi idrogeologici, il carico idraulico, la presenza di zone di faglia e fratturazione, la presenza di zone carsificate o con fenomeni di dissoluzione del carbonato. I valori di afflusso attribuiti scaturiscono, inoltre, dall'esperienza acquisita durante lo scavo di tunnel in contesti simili e dall'analisi bibliografica sui dati idrogeologici di tunnel già scavati.

Sui profili allegati, per l'attribuzione degli afflussi in fase di scavo è stata utilizzata la classificazione di Bieniawski (1989), individuando 4 classi che definiscono una portata stimata in l/s normalizzata per 10 m di scavo (Tabella 1). In alcuni casi, nelle fincature dei profili allegati sono stati aggiunti dei simboli "-", "- -", "+" e "++" che indicano possibili variazioni locali di una ("- e "+") o due ("- - e "++") classi di portata rispetto alla classe prevalente prevista. La probabilità di occorrenza dei suddetti aumenti/diminuzioni rispetto alla classe principale è stata stimata nell'ordine dello 0-30%.

Classe	Stima degli afflussi in fase di scavo (l/s per 10 m di scavo)
1	0-0.16
2	0.16-0.4
3	0.4-2
4	>2

Tabella 1 – Descrizione delle classi stimate per gli afflussi in galleria in regime transitorio secondo la classificazione di Bieniawski (1989), espressa in l/s per 10 m di scavo.

7 CONDIZIONI GEOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE ATTESE IN GALLERIA PER TRATTE OMOGENEE

Di seguito viene presentata una breve descrizione dell'assetto geologico e idrogeologico atteso per tratte omogenee lungo il tracciato della galleria di Serravalle nella sezione qui considerata.

Si precisa che, a fini conservativi le previsioni degli afflussi idrici riportate nei paragrafi successivi sono state formulate assumendo che la galleria sia liberamente drenante.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01
	Foglio 22 di 35

7.1.1 Tratta pk 29+958.49 / pk 31+210

Assetto geologico: in questa tratta la sezione di scavo è interamente impostata all'interno della formazione delle Arenarie di Serravalle (aS), costituita da alternanze irregolari di siltiti e arenarie ricche di bioclasti, in gruppi di strati di potenza plurimetrica, organizzati internamente in strati di spessore compreso tra 10 e 20 cm. I corpi arenacei mostrano geometria debolmente lenticolare a scala pluridecametrica. Localmente sono presenti strati e gruppi di strati costituiti da quarzareniti passanti ad areniti ibride grossolane o microconglomeratiche a struttura caotica, con base e tetto netti, potenti mediamente 1 m e con continuità laterale chilometrica.

La giacitura degli strati è grosso modo immergente nella direzione di avanzamento (circa NNW), con possibili variazioni verso NNE, quindi con blande ondulazioni sul fronte di scavo, a scala almeno decametrica; l'inclinazione degli strati è compresa tra 20 e 35°.

Alla pk 31+210 è previsto il contatto in arco rovescio con la soprastante formazione delle Marne di S. Agata Fossili; sono attese condizioni di fronte misto tra le pk 31+175 (prima comparsa in calotta delle marne) e 31+220 (scomparsa delle arenarie in arco rovescio).

Permeabilità/connettività: in questi settori non è prevista l'intersezione con discontinuità importanti. Il grado di permeabilità atteso è da molto basso a basso con corrispondente connettività ridotta. Fanno eccezione i due settori di attraversamento di zone di faglia alla pk 30+525 e alla pk 31+000 circa in cui si possono ipotizzare permeabilità medie, legate soprattutto alla fratturazione presente nella zona di danneggiamento della faglia. La connettività in questo contesto viene stimata abbastanza alta.

Carichi idraulici: i carichi idraulici stimati sono molto variabili da 100 a circa 0 m, in relazione alla topografia del versante. Il sondaggio XA301G039 mostra un livello d'acqua pari a circa 27 m.

Portate massime transitorie: le portate massime transitorie stimate sono riferibili alla classe 1/1+ ipotizzando un ammasso roccioso non fratturato, con aumenti alle classi 2 e 3- in corrispondenza delle faglie.

7.1.2 Tratta pk 31+210 / 32+700

Assetto geologico: è previsto l'attraversamento della formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili, costituita da sedimenti marnosi; in particolare, fino alla pk 32+545 ca. sarà interessata dallo scavo la porzione inferiore dell'unità (mA2), costituita da marne argillose passanti a marne calcaree omogenee di colore grigio a stratificazione mal distinta, bioturbate e ricche in foraminiferi planctonici e nanofossili calcarei, e livelli pelitici laminati. Nella parte basale, ai sedimenti marnosi si intercalano intervalli pluridecimetrici diatomitici e caratteristici livelli silicizzati finemente laminati, inoltre strati centimetrico-decimetrici di arenarie spongolitiche e livelli costituiti interamente da cristalli di dolomite primaria. Gli intervalli diatomitici si presentano fittamente stratificati e finemente laminati e contengono un'associazione di forme marine planctoniche.

Verso il termine della tratta, approssimativamente al di là della pk 32+545, la galleria intercetterà, dapprima in calotta e progressivamente a tutta sezione, la parte superiore della formazione (mA1), litologicamente distinta da quella inferiore (mA2), in quanto caratterizzata da un significativo

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01 Foglio 23 di 35

aumento di intercalazioni pelitiche laminate di colore scuro, ricche in sostanza organica, sempre più frequenti verso l'alto.

A partire dalla pk 32+200 ca., la copertura topografica si riduce notevolmente, passando da 45 a 30 m ca. a 20 m ca. verso la fine della tratta.

In prossimità della pk 32+865 è previsto il contatto per faglia con il Gruppo della Gessoso-Solfifera. Le caratteristiche geologiche di questo settore sono descritte nel paragrafo successivo.

Permeabilità/connettività: in questa tratta non è prevista l'intersezione con discontinuità importanti e il grado di permeabilità ipotizzato è molto basso con corrispondente connettività ridotta, essendo presenti su tutta la tratta rocce marnose poco fratturate.

Carichi idraulici: i carichi idraulici stimati sono variabili nell'intervallo tra 0 e 80 m, il sondaggio AA301G038 mette in evidenza un livello d'acqua pari a circa 14 m.

Portate massime transitorie: le portate massime transitorie stimate sono riferibili alla classe 1 inferiori a 0.16 l/s/10 m, esse sono legate sia alla presenza di un basso carico idraulico che alla scarsa permeabilità e fratturazione del litotipo.

7.1.3 Tratta pk 32+700 / 32+890

Assetto geologico: è ipotizzata una zona di faglia che mette in contatto tettonico le formazioni mA2 e gS. È prevedibile un locale aumento dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso, una maggiore permeabilità proporzionale alla maggiore densità di fratture, la presenza di alcune venute d'acqua e in generale una maggiore alterazione della roccia legata alla circolazione di acqua.

La presenza di lenti di gessi all'interno del membro di Riomaggiore (Gr. della Gessoso-Solfifera), potrebbe determinare, in corrispondenza delle zone di faglia, la comparsa di cavità da dissoluzione carsica, eventualmente riempite da depositi residuali di dissoluzione con scadenti caratteristiche geotecniche, nonché la possibile presenza di acque chimicamente aggressive nei confronti del calcestruzzo.

Permeabilità/connettività: in questa tratta è prevista l'intersezione con una zona di faglia al passaggio tra due formazioni, le marne di St. Agata Fossili e il Membro di Rio Maggiore, ed all'interno del Membro di Riomaggiore (pk 33+025 circa). Entrambe le formazioni mostrano permeabilità molto basse, è perciò verosimile attribuire un grado di permeabilità molto basso anche alla zona di faglia, con locali passaggi a permeabilità basse legate allo stato di fratturazione della zona di danneggiamento, dove comunque il grado di connettività rimane basso.

Carichi idraulici: i carichi idraulici stimati potrebbero essere nell'ordine dei 20 m, ipotizzando una zona di faglia per gran parte satura. L'unica formazione in grado di rappresentare un acquifero omogeneo è quella dei depositi della coltre detritico-colluviale superficiale, che tuttavia ospita una falda di proporzioni estremamente ridotte, sostanzialmente un orizzonte saturo localizzato all'interfaccia coltre/substrato, caratterizzato da forte variabilità stagionale; i litotipi marnosi mA1/mA2 non sembrano invece in grado di ospitare una falda significativa, per cui il carico idraulico si assume nullo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01 Foglio 24 di 35

Portate massime transitorie: le portate massime transitorie sono stimate inferiori a 0.16 l/s/10 m, benché sia prevista l'esistenza di una zona di faglia, data la presenza di litotipi a bassissima permeabilità. La presenza eventuale di cavità da dissoluzione carsica nei livelli gessosi non dovrebbe dare luogo a venute d'acqua significative, in quanto tali livelli sono compresi tra litotipi molto poco permeabili, inoltre le cavità potrebbero essere in gran parte intasate da prodotti residuali da dissoluzione. Localmente, tra le pk 32+870 e pk 32+980 circa, sono attese portate riferibili alla classe 4 per la possibile presenza, in calotta, di depositi fluviali (fl2).

7.1.4 *Tratta pk 33+275 / pk 33+200*

Assetto geologico: in questo tratto è previsto l'attraversamento del Membro di Riomaggiore (Gr. della Gessoso Solfifera) nonché il progressivo passaggio alla formazione dei Conglomerati di Cassano Spinola (cC) che fanno la loro prima comparsa in calotta intorno alla pk 33+200 circa. In corrispondenza della pk 32+950 circa è previsto l'attraversamento di una zona di faglia.

I Conglomerati di Cassano Spinola sono costituiti per la maggior parte da alternanze arenaceo-pelitiche e subordinatamente da corpi lenticolari di conglomerati. I livelli arenacei sono potenti da qualche decimetro a 2-3 m, risultano omogenei o gradati e sono caratterizzati da laminazioni piano-parallele, oblique, ondulate e/o convolute. Le intercalazioni pelitiche sono in genere potenti da pochi centimetri a 1 m circa e corrispondono a intervalli compositi, costituiti da alternanze ritmiche di strati centimetrico-decimetrici di argille omogenee, strati centimetrici di siltiti e/o strati millimetrico-centimetrici di areniti fini.

I corpi conglomeratici, nel settore interessato dall'opera possono raggiungere i 2-3 m di spessore e mostrano un'estensione laterale variabile intorno alla decina di metri. Si tratta di conglomerati clast-supported, con matrice sabbiosa, a ciottoli centimetrico-decimetrici, passanti lateralmente ad areniti medie e grossolane, con stratificazione mal definita. Il contatto con i sedimenti pelitico-siltosi sottostanti risulta netto ed erosionale.

L'intera tratta è caratterizzata da condizioni di debole copertura topografica (20-25 m circa); di questa copertura, una buona parte (da 8 a 10 m almeno) è costituita dai depositi alluvionali del Fluviale Medio fl2, che dal punto di vista geomeccanico non contribuiscono al sostegno dello scavo, andando a gravare passivamente sulla volta. La base dei depositi alluvionali è inoltre satura, con una superficie piezometrica ubicata mediamente tra 2 e 6 metri dal piano campagna.

Non si esclude la possibilità che vengano intercettate dalla galleria delle morfologie sepolte (paleoalvei) che possono portare le alluvioni a quota della calotta, con conseguenti potenziali venute d'acqua e problemi di stabilità e di cedimenti superficiali.

Permeabilità/connettività: in questa tratta non è prevista l'intersezione con discontinuità importanti e il grado di permeabilità ipotizzato è molto basso, con corrispondente connettività ridotta, localmente passante a basso in presenza di livelli poco cementati. Localmente, in prossimità della pk 33+900, è previsto l'attraversamento di una zona di faglia.

Carichi idraulici: i carichi idraulici stimati sono variabili nell'intervallo tra 15 e 20 m, essendo la tratta situata nella zona di pianura, dove il carico idraulico è controllato dalla piezometria della falda freatica residente nelle alluvioni. In assenza di connessione idraulica tra substrato e alluvioni, il

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01 Foglio 25 di 35

carico idraulico nel substrato è verosimilmente trascurabile; in presenza di fenomeni di plasticizzazione del cavo, la connettività idraulica aumenta e il carico si approssima ai valori suddetti. Non sono disponibili dati da sondaggio sul livello piezometrico; ciononostante si prevede un livello d'acqua abbastanza prossimo alla superficie (primi 3-5 metri dal piano campagna).

Portate massime transitorie: le portate massime transitorie stimate sono ipotizzate inferiori a 0.16 l/s/10 m, con un possibile aumento fino a 0.4 l/s/10 m in presenza di livelli meno cementati e/o fratturati. Qualora venisse intercettato dalla volta della galleria il contatto tra substrato e alluvioni, non si escludono portate localmente maggiori di 2 l/s/10 m, anche se questa circostanza appare difficile da prevedere con precisione.

7.1.5 *Tratta pk 33+200 / pk 33+800*

Assetto geologico: in questo tratto è previsto l'attraversamento dei Conglomerati di Cassano Spinola (cC), e della formazione delle Argille Azzurre (Argille di Lugagnano, aL) che fanno la loro comparsa in zona di calotta dalla pk 33+550 circa. In corrispondenza della pk 33+750/33+800 viene attraversata una zona di faglia.

I Conglomerati di Cassano Spinola sono costituiti per la maggior parte da alternanze arenaceo-pelitiche e subordinatamente da corpi lenticolari di conglomerati. I livelli arenacei sono potenti da qualche decimetro a 2-3 m, risultano omogenei o gradati e sono caratterizzati da laminazioni piano-parallele, oblique, ondulate e/o convolute. Le intercalazioni pelitiche sono in genere potenti da pochi centimetri a 1 m circa e corrispondono a intervalli compositi, costituiti da alternanze ritmiche di strati centimetrico-decimetrici di argille omogenee, strati centimetrici di siltiti e/o strati millimetrico-centimetrici di areniti fini.

I corpi conglomeratici, nel settore interessato dall'opera possono raggiungere i 2-3 m di spessore e mostrano un'estensione laterale variabile intorno alla decina di metri. Si tratta di conglomerati clast-supported, con matrice sabbiosa, a ciottoli centimetrico-decimetrici, passanti lateralmente ad areniti medie e grossolane, con stratificazione mal definita. Il contatto con i sedimenti pelitico-siltosi sottostanti risulta netto ed erosionale.

Le Argille di Lugagnano sono costituite da argille e argille siltose, localmente sabbiose-fini, di colore beige (zona di alterazione superficiale) o grigio-azzurro, a stratificazione mal distinta, localmente sottolineata da livelli con maggior contenuto in sostanza organica. Localmente si rinvencono livelli di arenarie e microconglomerati, che costituiscono corpi lenticolari, potenti fino a qualche metro.

L'intera tratta è caratterizzata da condizioni di debole copertura topografica (20-25 m circa); di questa copertura, una buona parte (da 8 a 10 m almeno) è costituita dai depositi alluvionali del Fluviale Medio (f12), che dal punto di vista geomeccanico non contribuiscono al sostegno dello scavo, andando a gravare passivamente sulla volta. La base dei depositi alluvionali è inoltre satura, con una superficie piezometrica ubicata mediamente tra 2 e 6 metri dal piano campagna.

Non si esclude la possibilità che vengano intercettate dalla galleria delle morfologie sepolte (paleovalvei) che possono portare le alluvioni a quota della calotta, con conseguenti potenziali venute d'acqua e problemi di stabilità e di cedimenti superficiali.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01 Foglio 26 di 35

Permeabilità/connettività: in questa tratta non è prevista l'intersezione con discontinuità importanti e il grado di permeabilità ipotizzato è molto basso, con corrispondente connettività ridotta, localmente passante a basso in presenza di livelli poco cementati.

Carichi idraulici: i carichi idraulici stimati sono variabili nell'intervallo tra 15 e 20 m, essendo la tratta situata nella zona di pianura, dove il carico idraulico è controllato dalla piezometria della falda freatica residente nelle alluvioni. In assenza di connessione idraulica tra substrato e alluvioni, il carico idraulico nel substrato è verosimilmente trascurabile; in presenza di fenomeni di plasticizzazione del cavo, la connettività idraulica aumenta e il carico si approssima ai valori suddetti. Non sono disponibili dati da sondaggio sul livello piezometrico; ciononostante si prevede un livello d'acqua abbastanza prossimo alla superficie (primi 3-5 metri dal piano campagna).

Portate massime transitorie: le portate massime transitorie stimate sono ipotizzate inferiori a 0.16 l/s/10 m, con un possibile aumento fino a 0.4 l/s/10 m in presenza di livelli meno cementati e/o fratturati. Qualora venisse intercettato dalla volta della galleria il contatto tra substrato e alluvioni, non si escludono portate localmente maggiori di 2 l/s/10 m, anche se questa circostanza appare difficile da prevedere con precisione.

7.1.6 Tratta pk 33+800 / pk 34+137.41

Assetto geologico: in questo tratto è previsto l'attraversamento della formazione delle Argille Azzurre (Argille di Lugagnano, aL).

Le Argille di Lugagnano sono costituite da argille e argille siltose, localmente sabbiose-fini, di colore beige (zona di alterazione superficiale) o grigio-azzurro, a stratificazione mal distinta, localmente sottolineata da livelli con maggior contenuto in sostanza organica. Localmente si rinvencono livelli di arenarie e microconglomerati, che costituiscono corpi lenticolari, potenti fino a qualche metro.

L'intera tratta è caratterizzata da condizioni di debole copertura topografica (20-25 m circa); di questa copertura, una buona parte (da 8 a 10 m almeno) è costituita dai depositi alluvionali del Fluviale Medio (fl2), che dal punto di vista geomeccanico non contribuiscono al sostegno dello scavo, andando a gravare passivamente sulla volta. La base dei depositi alluvionali è inoltre satura, con una superficie piezometrica ubicata mediamente tra 2 e 6 metri dal piano campagna.

Non si esclude la possibilità che vengano intercettate dalla galleria delle morfologie sepolte (paleovalvei) che possono portare le alluvioni a quota della calotta, con conseguenti potenziali venute d'acqua e problemi di stabilità e di cedimenti superficiali.

Permeabilità/connettività: in questa tratta non è prevista l'intersezione con discontinuità importanti e il grado di permeabilità ipotizzato è molto basso, con corrispondente connettività ridotta, localmente passante a basso in presenza di livelli poco cementati.

Carichi idraulici: i carichi idraulici stimati sono variabili nell'intervallo tra 15 e 20 m, essendo la tratta situata nella zona di pianura, dove il carico idraulico è controllato dalla piezometria della falda freatica residente nelle alluvioni. In assenza di connessione idraulica tra substrato e alluvioni, il carico idraulico nel substrato è verosimilmente trascurabile; in presenza di fenomeni di plasticizzazione del cavo, la connettività idraulica aumenta e il carico si approssima ai valori

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01 Foglio 27 di 35

suddetti. Non sono disponibili dati da sondaggio sul livello piezometrico; ciononostante si prevede un livello d'acqua abbastanza prossimo alla superficie (primi 3-5 metri dal piano campagna).

Portate massime transitorie: le portate massime transitorie stimate sono ipotizzate inferiori a 0.16 l/s/10 m, con un possibile aumento fino a 0.4 l/s/10 m in presenza di livelli meno cementati e/o fratturati. Qualora venisse intercettato dalla volta della galleria il contatto tra substrato e alluvioni, non si escludono portate localmente maggiori di 2 l/s/10 m, anche se questa circostanza appare difficile da prevedere con precisione.

7.2 Interferenze con le risorse di superficie

Le risorse idriche di superficie con le quali potrà interferire la galleria in esame sono costituite unicamente dai pozzi.

Nella prima parte della tratta (circa fino alla pk 32+875) la galleria si sviluppa in un contesto morfologico collinare o di transizione tra rilievo e pianura, in cui sono presenti degli acquiferi ospitati nella coltre quaternaria, sottili e di scarsa estensione laterale. Per questo tipo di acquiferi è stato ritenuto appropriato valutare la pericolosità di impatto sui pozzi attraverso l'indice di isterilimento DHI (Drawdown Hazard Index, Dematteis et al., 1999), benché tale metodo sia stato sviluppato per le sorgenti. I pozzi in questione sono infatti captazioni molto superficiali, in acquiferi sottili, che possono essere equiparati a sorgenti captate e sviluppate mediante drenaggio con dreni di bassa profondità.

La seconda parte della tratta si sviluppa in un contesto di pianura in cui la falda è ospitata in un acquifero più potente, poggiante al di sopra del substrato, rappresentato da un mezzo poroso quale i depositi fluviali medi (f12). La tratta è localizzata su un terrazzo di origine alluvionale che poggia su un substrato costituito da sud verso nord dal Membro di Riomaggiore, dalla Formazione di Cassano Spinola e dalle Argille di Lugagnano. La falda si sviluppa all'interno dei depositi alluvionali (fluviale medio) di cui si ipotizza uno spessore maggiore verso est, tendente a rastremarsi verso ovest, con direzioni di deflusso da SE verso NW. Le fasce di possibile drenaggio da parte della galleria sono state ipotizzate tenendo quindi conto sia dei parametri sopra elencati che del contesto idrogeologico.

Per questa porzione della tratta si è ritenuto opportuno non utilizzare il DHI, perché non conforme al calcolo rispetto alla casistica sopradescritta; è stato invece utilizzato un modello analitico basato sulla formula di Perrochet e Musy (1992), per un inquadramento generale circa le metodologie adottate si faccia riferimento alla Relazione Idrogeologica Generale (GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-02-001-A00 e revisioni successive).

Nella Tabella 2 sono riportati i valori di pericolosità d'isterilimento delle risorse idriche superficiali calcolati, con le varie metodologie sopra indicate, per i pozzi di cui è stato possibile reperire delle informazioni.

N POZZ	x coord	y coord	Comune	Profon	Livell	uso	quota	pointid	monit	DHI
PSS30	1488488,4630	4950700,7462	Serravalle S	0	0		325	501	si	1
PSS31	1488701,1885	4950896,0091	Serravalle S	0	0		322	502		1
PSS32	1488524,9756	4951069,0469	Serravalle S	0	0		299	503		1
PSS33	1488712,3010	4951091,2719	Serravalle S	0	0		300	504	si	1
PSS34	1488721,8260	4951194,4596	Serravalle S	0	0		290	505		1
PSS35	1488698,0135	4951257,9598	Serravalle S	0	0		284	506		1
PSS36	1488699,6010	4951381,7850	Serravalle S	0	0		266	507		1
PSS37	1488315,4252	4951278,5973	Serravalle S	0	0		257	508	si	1
PSS38	1488334,4752	4951380,1975	Serravalle S	0	0		260	509		1
PSS39	1488397,9754	4951486,5602	Serravalle S	0	0		248	510		1
PSS40	1487620,0988	4951149,1497	Serravalle S	0	0		298	511		1
PSS41	1487743,1303	4951252,3374	Serravalle S	0	0		307	512		1
PSS42	1487695,5052	4951378,0147	Serravalle S	0	0		335	513	si	1
PSS43	1487674,3385	4951416,3794	Serravalle S	0	0		335	514		1
PSS23	1487151,7854	4952118,7172	Serravalle S	10	998	IRRIGUO	280	515		1
PSS25	1487120,1676	4952814,9697	Serravalle S	10	1,6	NESSUNO	240	516	si	1
PSS24	1488658,7587	4952968,4283	Serravalle S	15	9,7	NESSUNO	268	517		1
PSS0338	1487273,8908	4953127,3109	Serravalle S	0	0		234	518		2
PNL146	1486648,6767	4954330,5029	Novi Ligure	8,3	6,3	DOMESTICO	223	587	si	1
PNL121	1485980,4950	4954183,1348	Novi Ligure	17,5	16	IRRIGUO	234	606		1
PNL134	1486170,4748	4953921,6204	Novi Ligure	30	27,5	IRRIGUO	245	610		1
PNL127	1486343,2728	4954090,0292	Novi Ligure	7	5	IRRIGUO	228	611		1
PNL137	1486413,5229	4953988,3418	Novi Ligure	9,5	5	IRRIGUO	229	620		1
PNL136	1486387,6903	4953959,9483	Novi Ligure	11	9	IRRIGUO	230	621		1
PNL135	1486413,5229	4953926,9086	Novi Ligure	11	9	IRRIGUO	231	622		1
PNL139	1486449,2777	4953924,1603	Novi Ligure	10	5	IRRIGUO	230	623		1
PNL138	1486435,0677	4953959,8872	Novi Ligure	9	7	DOMESTICO//	229	624	si	1
PNL140	1486370,0322	4953839,4198	Novi Ligure	998	998	NO USO	238	625		nd
PNL141	1486381,8736	4953812,5699	Novi Ligure	10	6	IRRIGUO	239	626		1
PNL124	1486172,5632	4954274,6151	Novi Ligure	14	998	IRRIGUO	224	628		1
PNL128	1486286,2386	4954159,1966	Novi Ligure	9	7	DOMESTICO	227	629	si	1
PNL129	1486249,5688	4954199,5016	Novi Ligure	9	7	IRRIGUO	226	630		1
PNL130	1486221,4557	4954179,9595	Novi Ligure	8	6	DOMESTICO	226	631		1
PNL122	1486082,9261	4954143,0485	Novi Ligure	10	6,5	IRRIGUO	231	632		1
PNL133	1486110,7223	4954105,7046	Novi Ligure	998	998	998	233	633		nd
PNL123	1486137,9571	4954163,6248	Novi Ligure	11	2,5	DOMESTICO//	228	634		1
PNL132	1486167,5536	4954110,4049	Novi Ligure	10	7,5	IRRIGUO	231	635		1
PNL131	1486191,7205	4954142,1776	Novi Ligure	10	8	DOMESTICO	228	636		1
PNL143	1486508,2303	4953957,3326	Novi Ligure	10	7,5	IRRIGUO	228	725		1
PNL144	1486600,3055	4953935,1076	Novi Ligure	998	998	IRRIGUO	228	726		nd
PNL145	1486549,5054	4953904,9450	Novi Ligure	998	998	998	229	727	si	nd
PNL147	1486670,1556	4953727,1447	Novi Ligure	12	9,5	IRRIGUO	234	728	si	1
PSS15	1486662,2181	4953706,5071	Novi Ligure	12	10,5	IRRIGUO	235	729		1
PSS14	1486689,2056	4953612,8444	Serravalle S	12	10	IRRIGUO	237	730		1
PSS13	1486744,7682	4953609,6694	Serravalle S	12	10,5	IRRIGUO	235	731	si	2
PSS22	1486797,1559	4953571,5694	Serravalle S	21	998	DOMESTICO	234	732	si	3
	1486781,2808	4953549,3443	Serravalle S	0	0		235	733		4
PSS21	1486852,7185	4953587,4444	Serravalle S	13	9,8	IRRIGUO	233	734	si	2

Tabella 2 – Tabella riassuntiva in cui vengono specificate le caratteristiche dei pozzi nell'intorno dell'opera.

Nelle figure 9 e 10 sono riportati i vari pozzi presenti nell'intorno dell'opera con i relativi cromatismi riferiti al grado di pericolosità d'instesilimento.

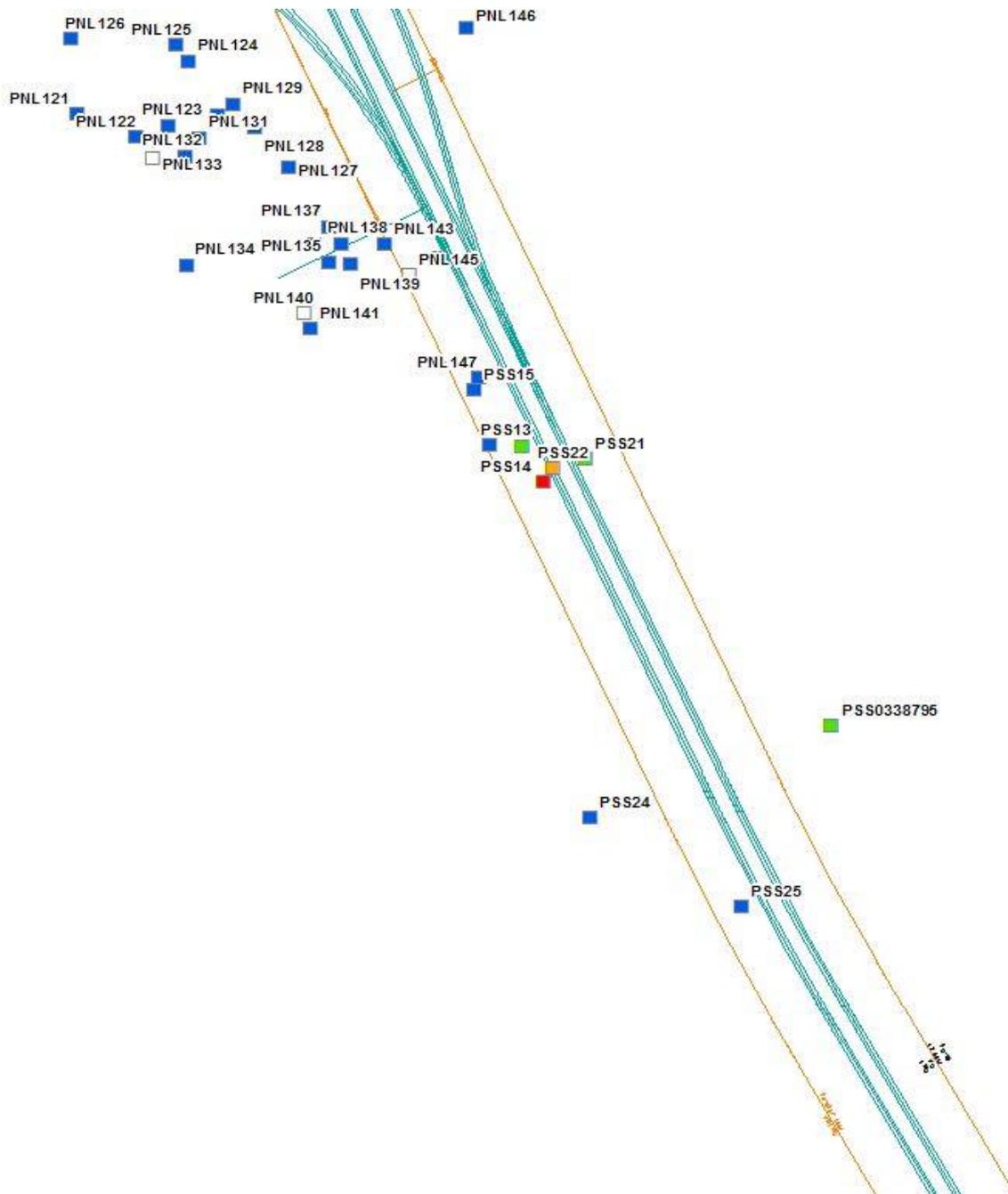


Figura 9. Ubicazione dei pozzi e valori di pericolosità d'instesilimento in riferimento alle WBS GN1BA e GN1CA. Colore rosso: pericolosità alta; colore arancione: pericolosità media; colore verde: pericolosità bassa; colore blu: pericolosità nulla o trascurabile; colore bianco: dato non disponibile.

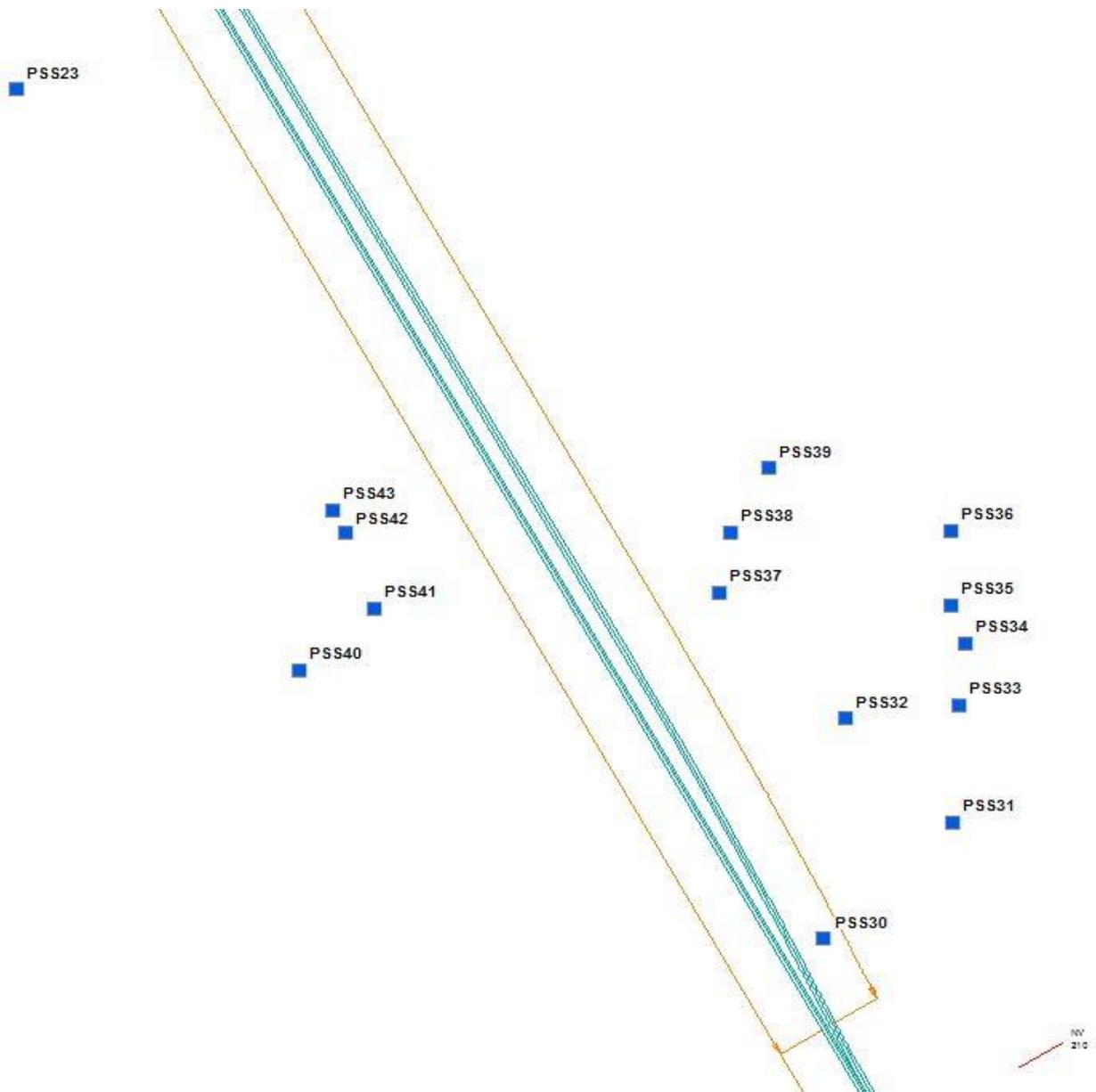


Figura 10. Ubicazione dei pozzi e valori di pericolosità d'insterilimento in riferimento alle WBS GN1BA e GN1CA. Colore rosso: pericolosità alta; colore arancione: pericolosità media; colore verde: pericolosità bassa; colore blu: pericolosità nulla o trascurabile; colore bianco: dato non disponibile.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01</p>	<p>Foglio 31 di 35</p>

Sulla base di quanto riportato in figura 14 ed in tabella 15, emerge che i pozzi nell'intorno significativo dell'opera in questione sono caratterizzati dai seguenti valori di pericolosità d'instabilimento:

- (pozzo privo di sigla, coordinate 1486781-4953549) pericolosità elevata;
- PSS22 pericolosità media;
- PSS21, PSS13 e PSS0338795 pericolosità bassa;
- PNL133, PNL139 e 140 dati non disponibili.

Tutti i restanti pozzi presentano pericolosità da nulla a trascurabile.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01</p> <p>Foglio 32 di 35</p>

8 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 33 di 35</p>

- 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. *Ofioliti*, 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. *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-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.
- 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,

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 34 di 35</p>

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.
- 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-03-E-CV-RO-GN1C-A0-001-A01</p>	<p>Foglio 35 di 35</p>

- 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.
- 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.