

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 VALICO BINARIO DISPARI GN15X - DA POZZO FRESA A CAMERONE TIPO D - TRATTO 6

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing. E. Pagani	

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

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	GDP 	24/02/2014	Rocksoil 	26/02/2014	A. Palomba 	28/02/2014	
A01	Rimissione	GDP 	24/11/2014	Rocksoil 	26/11/2014	A. Palomba 	28/11/2014	
A02	Modifica lotto costruttivo a seguito 2° A.M.	GDP 	21/06/2016	Rocksoil 	21/06/2016	A. Mancarella 	23/06/2016	

n. Elab.:	File: IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02
-----------	---------------------------------------

CUP: F81H92000000008

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02</p>	<p>Foglio 2 di 32</p>

INDICE

INDICE.....	2
1 PREMESSA	4
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3 ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO	4
4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	5
4.1 Caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche delle unità del BTP interessate dall'opera in progetto	7
4.1.1 Formazione di Costa Areea	7
4.2 Depositi quaternari	8
5 INDAGINI GEOGNOSTICHE	9
5.1 Sondaggi del Progetto Preliminare.....	9
5.1.1 AA301G031 / BH27bisPZ	9
5.1.2 AA301G030 / BH26bisPZ	10
5.1.3 AA301G029 / BH25bisPZ	10
5.1.4 SA301G028 / BH25	10
5.2 Sondaggi del Progetto Definitivo	11
5.2.1 SC31	11
5.3 Sondaggi del Progetto Esecutivo.....	12
5.3.1 SLI13.....	12
5.3.2 SLI14.....	12
5.3.3 SI50.....	12
5.4 Indagini geofisiche	13
6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	17
6.1 Considerazioni generali	17
6.2 Modello idrogeologico locale	20
6.3 Complessi idrogeologici.....	21
6.3.1 Complesso 2 (f13).....	21
6.3.2 Complesso 10 (aS, fC, fCa, uMb, fR)	21
7 PROBLEMATICHE GEOLOGICHE A QUOTA GALLERIA	23
7.1 Condizioni geologiche.....	23
7.1.1 Presenza di faglie e piani di taglio a basso angolo	23
7.1.2 Grado di fratturazione medio al di fuori delle faglie	24
7.2 Aspetti correlati alla geomorfologia e alla geologia del Quaternario	24

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 32</p>

7.3	Condizioni idrogeologiche.....	25
7.3.1	Piezometria	25
7.3.2	Carico idraulico	26
7.3.3	Permeabilità/connettività.....	26
7.3.4	Afflussi transitori in fase di scavo.....	27
7.3.5	Criticità di natura idrogeologica locale	27
7.3.6	Afflussi stabilizzati.....	27
7.3.7	Interferenze con risorse idriche	28
7.4	Sintesi delle problematiche di scavo	28
8	BIBLIOGRAFIA	29

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 4 di 32</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 GN15X, che si riferisce allo scavo della Galleria Naturale di Valico, binario dispari, dal pozzo fresa di Cascina Radimero al Camerone Tipo "D" (tratto 6, da pk 27+579.51 a pk 27+668.60) dove le due gallerie di linea confluiscono in un'unica galleria, prima di uscire in corrispondenza dell'imbocco nord di valico.

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 e nuove indagini geognostiche.

Le parti generali relative all'inquadramento geologico e idrogeologico sono state redatte considerando le caratteristiche di una tratta della galleria di valico compresa tra le pk 22+000 e 28+000, al fine di rendere più esauriente la trattazione dal punto di vista del contesto geologico-strutturale e idrogeologico (cfr. Figura 1).

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 5 di 32</p>

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

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

Il gruppo di lavoro è così costituito:

- coordinamento generale: Dott. Geol. 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.

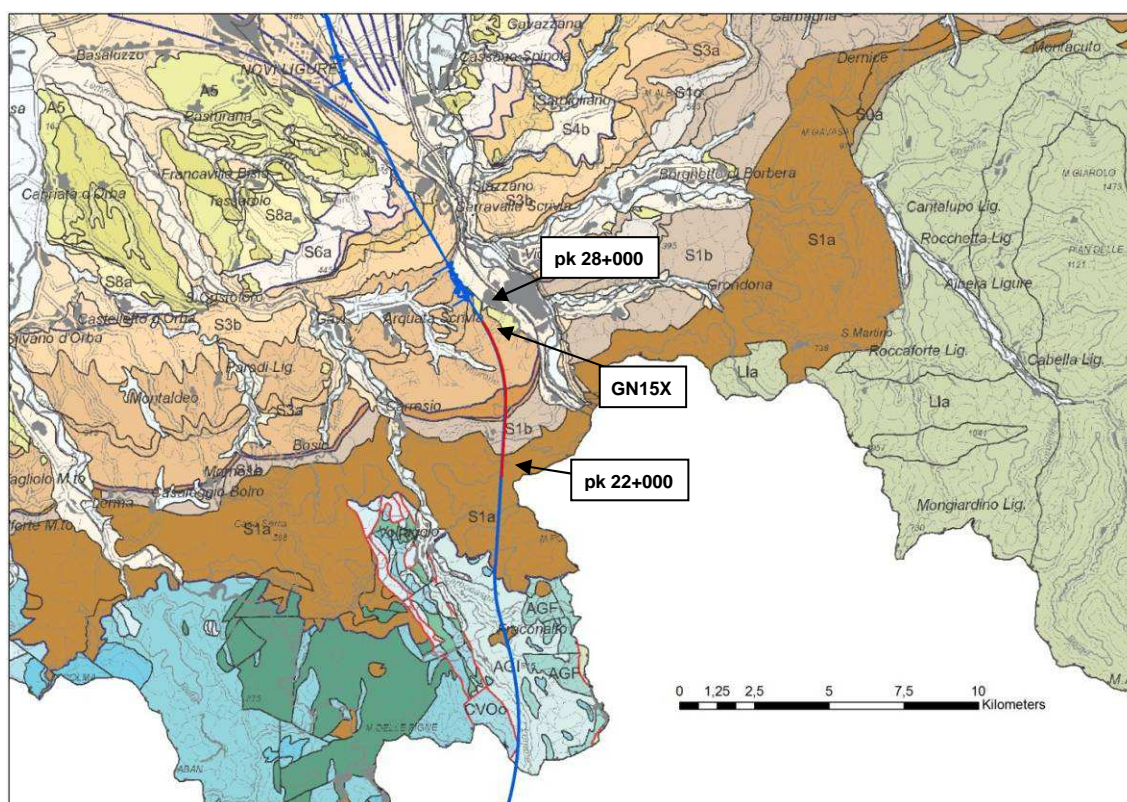
4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Viene di seguito data una breve sintesi del contesto geologico in cui si colloca l'opera in esame. Per ulteriori dettagli e per tutto quanto non esplicitamente descritto nel presente rapporto si faccia riferimento alla relazione geologica e geomorfologica generale, doc. n. IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A01.

La Galleria di Valico, nella tratta in esame, ricade interamente nel settore meridionale del Bacino Terziario Piemontese (BTP). Verso sud le unità del BTP poggiano in discordanza sulle unità metamorfiche del "Gruppo di Voltri" Auct. (unità tettonometamorfiche Figogna e Cravasco-Voltaggio; cfr. Foglio 213-230 "Genova" della Carta Geologica d'Italia), mentre a nord, verso la pianura alessandrina, esse sono sormontate dai depositi post-messiniani (Argille di Lugagnano/Argille Azzurre, Sabbie di Asti I.s. e "Villafranchiano" Auct.) e dai depositi alluvionali

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

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.



LEGENDA

Depositi alluvionali

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

Bacino Terziario Piemontese

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

Zona a scaglie tettoniche – Zona Sestri-Voltaggio

Unità Figogna: **AGI** Argilloscisti di Costagiutta (Cretacico inf.); **AGF** Argilloscisti di Murta (Cretacico inf.?).

Unità Cravasco-Voltaggio: **CVOo** metabasalti e metagabbri (Giurassico medio? – sup.).

Figura 1 – Estratto della Carta Geologica del Piemonte in scala 1:250.000 (in prep.) con l'ubicazione del tracciato di progetto e della WBS in esame.

Il BTP può essere considerato come un bacino di retroforeland alpino, che si è evoluto in seguito al retroscorrimento delle unità metamorfiche alpine su quelle liguri (Roure et al., 1990; Fantoni et al., 2002), retroscorrimento che in superficie è rappresentato dalla Zona Sestri-Voltaggio (Cortesogno

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02	Foglio 7 di 32

et al., 1979; Cortesogno & Haccard, 1984; Hoogerdujin Strating, 1994). Con l'apertura del Bacino Ligure-Provenzale, alla fine dell'Oligocene inferiore, la parte occidentale del BTP alpino viene incorporata in una nuova catena a vergenza appenninica, differenziandosi in diversi domini tettonostratigrafici:

- l'Alto Monferrato e il bacino delle Langhe (su substrato metamorfico alpino);
- il Monferrato e la zona Borbera-Grue (su substrato non metamorfico ligure);
- la Collina di Torino (su substrato costituito da unità sudalpine).

A partire dal Serravalliano il BTP è coinvolto nella tettonica Nord-vergente padana (Falletti et al., 1995; Laubscher et al., 1992; Piana, 2000; Pieri & Groppi, 1981).

4.1 Caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche delle unità del BTP interessate dall'opera in progetto

La WBS in progetto attraversa la formazione di Costa Areama (Figura 2), la cui 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.

4.1.1 Formazione di Costa Areama

La formazione di Costa Areama (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.

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 Areama, 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.

4.1.1a Arenite 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.

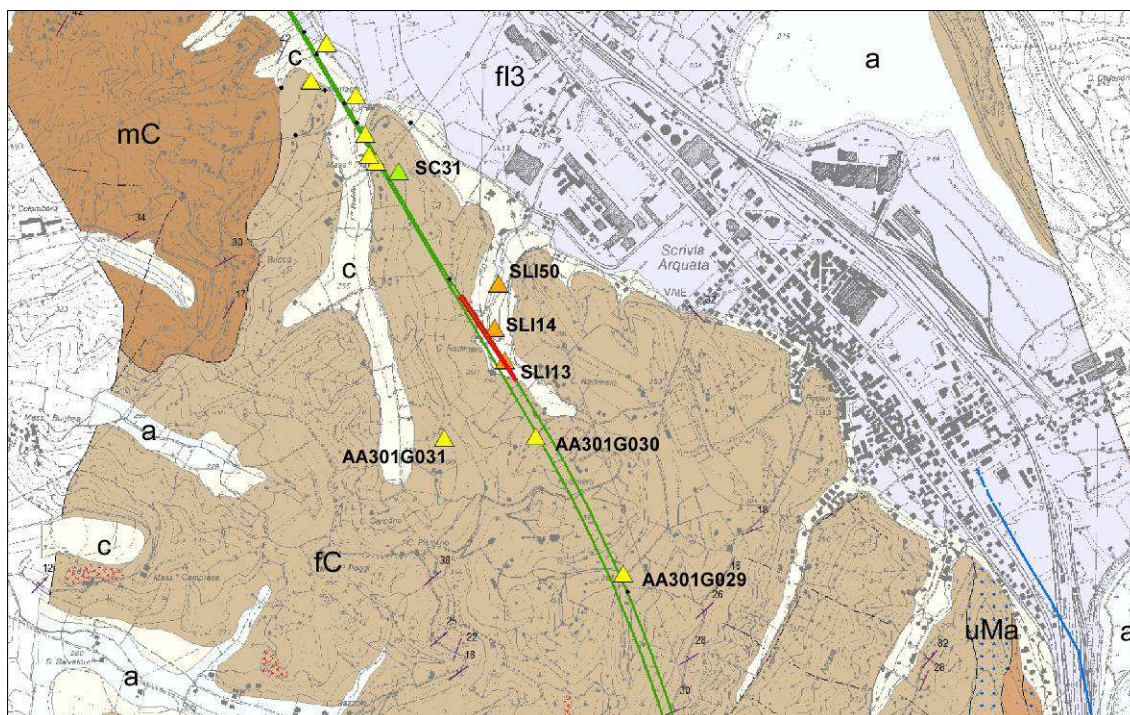


Figura 2 – Carta geologica interpretativa del settore interessato dalla WBS in esame, con ubicazione dei sondaggi ad oggi eseguiti (giallo: sondaggi PP; arancione: sondaggi PE).

4.2 Depositi quaternari

Alla base del versante modellato nella formazione di Costa Areasa sub affiorante, si trovano accumuli di depositi misti detritico-alluvionali, cui si possono localmente associare, lungo l'asse del fondovalle minore su cui si colloca il pozzo fresa di cascina Radimero, dei depositi alluvionali sottili, riferibili al fluviale recente e non distinguibili cartograficamente con precisione.

Si tratta di terreni sciolti a granulometria prevalentemente argilloso-limosa ± sabbiosa, formanti accumuli di spessore variabile, generalmente dell'ordine di pochi metri; la potenza massima al piede

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02	Foglio 9 di 32

del versante nell'area considerata è di circa 4-5 m, mentre verso monte lungo il pendio, dove subaffiora il substrato marnoso, arriva a circa 0.5-1 m.

La porzione superficiale del substrato è alterata e parzialmente pedogenizzata a costituire un livello di alterazione di spessore variabile da 1 a 2 m ca. 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.

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

I sondaggi al momento disponibili nel settore di studio e più vicini alla WBS in esame sono rappresentati dai fori eseguiti nelle campagne di indagini del Progetto Preliminare ed Esecutivo (Figura 2):

- AA301G031 / BH27bisPZ (PP)
- AA301G030 / BH26bisPZ (PP)
- AA301G029 / BH25bisPZ (PP)
- SA301G028 / BH25 (PP)
- SLI13 (PE)
- SLI14 (PE)
- SI50 (PE)

Nell'ambito della campagna di indagini del Progetto Definitivo è stato inoltre realizzato il sondaggio SC31, ubicato più a NE, presso il binario dispari ma non esattamente in asse, intorno alla pk 28+140.

Oltre ai dati dei sondaggi, sono inoltre disponibili alcune linee sismiche realizzate per il PE (TreEsse, 2012), che interessano la WBS in oggetto e la zona del Pozzo Fresa Radimero (GA1U).

5.1 Sondaggi del Progetto Preliminare

5.1.1 AA301G031 / BH27bisPZ

Località: C. Sordo, 295 m a WSW dell'asse di linea (zona pozzo Radimero), pk_{dispari} 27+260 ca. (perpendicolarmente al tracciato).

Anno: 2002; lunghezza: 55 m, interamente carotato.

Unità attraversata: formazione di Costa Aresa.

- da 0 a 7.3 m: terreno vegetale limoso-sabbioso, quindi limi sabbiosi e argille limose ad elementi lapidei marnosi e arenacei.
- Da 7.3 m a 55 m (fondo foro): marne ± arenacee grigie, compatte e poco fratturate, senza tracce di circolazione d'acqua in frattura.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02 Foglio 10 di 32

Le tre prove Lugeon eseguite negli intervalli 16÷20 m, 21÷25 m e 30÷35 m (Tabella 1) sono state interrotte per il mancato assorbimento di acqua da parte della roccia; l'ammasso marnoso risulta quindi caratterizzato da bassissima permeabilità.

5.1.2 AA301G030 / BH26bisPZ

Località: C. Radimero, 28 m a SW dell'asse di linea, $pk_{dispari}$ 27+120 ca.

Anno: 2002; lunghezza: 70 m, interamente carotato.

Unità attraversata: formazione di Costa Areasa.

- da 0 a 3.7 m: terreno vegetale limoso-sabbioso, quindi limi sabbiosi marroni (tracce di circolazione d'acqua).
- Da 3.7 a 9 m: argilla limosa grigia con limo sabbioso, inglobante organici; seguono argille marnose grigie molto alterate (cappellaccio)
- Da 9 a 70 m (fondo foro): marne ± arenacee grigie, compatte e poco fratturate, senza tracce di circolazione d'acqua in frattura.

Sono state eseguite tre prove Lugeon negli intervalli 41÷46 m, 51.5÷56.5 m e 61÷66 m (Tabella 1). La prova n° 1 (41÷46 m) è stata interrotta per mancato assorbimento d'acqua. Dall'interpretazione dei risultati delle prove n°2 (51.5÷56.5 m) e n°3 (61÷66 m) risultano valori di permeabilità di 5,5E-9 e 2,4E-8 m/s rispettivamente. Il grado di permeabilità determinato dalla prove Lugeon in questo sondaggio varia quindi da basso a molto basso.

5.1.3 AA301G029 / BH25bisPZ

Località: C. Lo Casale, 26 m a ENE dell'asse di linea, $pk_{dispari}$ 26+570 ca.

Anno: 2002; lunghezza: 50 m, interamente carotato.

Unità attraversata: formazione di Costa Areasa.

- da 0 a 9.5 m: terreno vegetale limoso-sabbioso, quindi limi sabbiosi e argillosi marroni e argille limose marroni e grigie (tracce di circolazione d'acqua).
- Da 9.5 a 50 m (fondo foro): marne ± arenacee grigie, compatte e poco fratturate, senza tracce di circolazione d'acqua in frattura.

Sono state eseguite tre prove Lugeon negli intervalli 9.5÷12.6 m, 14÷19 m e 31.7÷36 m (Tabella 1). Le prove n°2 e 3 sono state interrotte per mancanza di assorbimento. L'interpretazione dei risultati della prova n° 1 (9.5÷12.6 m), eseguita al probabil e passaggio tra il substrato alterato e quello sano, indica un valore di permeabilità pari a 2,3E-6 m/s (grado medio).

5.1.4 SA301G028 / BH25

Località: Pratolungo, 230 m a WSW dell'asse di linea, $pk_{dispari}$ 25+800 ca.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02 Foglio 11 di 32

Anno: 2001; lunghezza: 70 m, interamente carotato.

Unità attraversata: formazione di Costa Areasa.

- da 0 a 1.2 m: substrato marnoso alterato e fratturato, con tracce di ossidazione e circolazione d'acqua.
- Da 1.2 a 8 m: marne ± arenacee grigie, fratturate, senza tracce di circolazione d'acqua.
- Da 8 a 70 m (fondo foro): marne ± arenacee grigie, compatte e poco fratturate, senza tracce di circolazione d'acqua in frattura.

Le quattro prove Lugeon eseguite negli intervalli 36÷40 m, 45÷49 m, 53÷56.85 m e 62÷66 m (Tabella 1) sono state interrotte per il mancato assorbimento di acqua da parte della roccia; l'ammasso marnoso risulta quindi caratterizzato da bassissima permeabilità.

5.2 Sondaggi del Progetto Definitivo

5.2.1 SC31

Dal punto di vista stratigrafico, il sondaggio SC31 ha attraversato terreni di tipo granulare limoso-argilloso-sabbiosi, localmente con frammenti litoidi, riferibili alla coltre detritica e/o allo strato superficiale di basamento alterato, fino a 8.70 m dal p.c., quindi i litotipi marnosi della formazione di Costa Areasa fino a fondo foro.

La falda misurata nell'SC31 durante la perforazione (fine agosto 2004) si è attestata intorno a 5,5 m a metà perforazione e a 15,2 m a termine perforazione, a riprova della poca quantità di acqua presente nel foro e della scarsa o nulla alimentazione proveniente dai depositi superficiali.

Sondaggio	Unità	Test di permeabilità Lugeon con valore di K da interpretazione				
		<i>n.a.: nessun assorbimento</i>				
		1	2	3	4	5
AA301G031	Costa Areasa	16÷20	21÷25	30÷35	-	-
		n.a.	n.a.	n.a.	-	-
AA301G030	Costa Areasa	41÷46	51.5÷56.5	61÷66	-	-
		n.a.	5,5E-09	2,4E-08	-	-
AA301G029	Costa Areasa	9.5÷12.6	14÷19	31.7÷36	-	-
		2,3E-06	n.a.	n.a.	-	-
SA301G028	Costa Areasa	36÷40	45÷49	53÷56.85	62÷66	-
		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-

Tabella 1 – Riepilogo dei test di permeabilità Lugeon eseguiti nei fori di sondaggio del Progetto Preliminare (2001-2002).

5.3 Sondaggi del Progetto Esecutivo

5.3.1 SLI13

Località: C. Radimero, in asse al binario dispari, pk 27+398.

Anno: 2012; lunghezza: 40 m, interamente carotato.

Unità attraversata: formazione di Costa Areama.

- da 0 a 6 m: depositi detritico-colluviali costituiti da limi argillosi
- da 6 a 8 m: substrato marnoso alterato
- da 8 a 40 m: formazione di Costa Areama, costituita da marne e siltiti a consistenza litoide, dure e compatte, poco fratturate (RQD > 80%) tranne che nei primi 4,5 m.

Le prove Lugeon effettuate in sondaggio forniscono una conducibilità idraulica dell'ordine di 10^{-8} m/s (Tabella 2).

SLI13	Costa Areama	12.5÷15.5	-	-	-	-
		5.6E-08	-	-	-	-
SLI14	Costa Areama	12.3÷17.2	28,4-33,4	-	-	-
		1,02E-07	2,34E-07	-	-	-
SC31	Costa Areama	24÷30	34÷40	-	-	-
		2.0E-07	2.1E-07	-	-	-

Tabella 2 – Riepilogo dei test di permeabilità Lugeon eseguiti nei fori di sondaggio del Progetto Definitivo ed Esecutivo (2012).

5.3.2 SLI14

Località: C. Radimero, 40 m ca. a NE dall'asse del binario dispari, pk_{dispari} 27+512.

Anno: 2012; lunghezza: 40 m, interamente carotato.

Unità attraversata: formazione di Costa Areama.

- da 0 a 6,8 m: depositi detritico-colluviali costituiti da limi sabbioso-argillosi
- da 6,8 a 9 m: substrato marnoso alterato
- da 9 a 40 m formazione di Costa Areama, costituita da marne e siltiti a consistenza litoide, compatte e poco fratturate, con RQD sempre superiore a 70% a partire dalla profondità di 10 m.

Le prove Lugeon effettuate in sondaggio forniscono per le marne dell'SLI14 una conducibilità idraulica dell'ordine di 10^{-8} m/s (Tabella 2).

5.3.3 SI50

Località: C. Radimero, 130 m ca. a NE dall'asse del binario dispari, pk_{dispari} 27+634.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02 Foglio 13 di 32

Anno: 2012; lunghezza: 20 m, interamente carotato. Nel foro è stato installato un piezometro Ø 2" a tubo aperto.

Unità attraversata: formazione di Costa Areasa.

- da 0 a 1.2 m: coltre detritico-colluviale + terreno vegetale
- da 1.2 a 4.0 m: limo argilloso da ocre a marrone chiaro e scuro (depositi detritico-alluvionali), con inclusi millimetrici (1-2 mm) di colore bianco, verdastro e rossastro (noduli carbonatici); la marcata colorazione bruna indica una certa alterazione per ossidazione legata alla presenza, sporadica o costante, di umidità;
- da 4,0 a 6,25 m: limo argilloso e/o argilla debolmente marnosa da grigio chiaro a marrone, debolmente umida, molto consistente; tracce di ossidazione sporadiche, indicano una circolazione d'acqua più limitata e localizzata, dovuta anche alla bassa permeabilità del sedimento;
- da 6.2 a 20 m: formazione di Costa Areasa, costituita da marne di colore grigio-biancastro e grigio, con alterazione debole o assente e basso grado di fratturazione (RDQ mai inferiore a 30-40%, localmente anche molto buono). Localmente è visibile una sottile stratificazione. Sono pressoché assenti tracce di ossidazione riferibili ad alterazione per circolazione di acqua, il che conferma la sostanziale impermeabilità del substrato marnoso.

5.4 Indagini geofisiche

Nell'ambito delle indagini per il PE, sono state realizzate da TreEsse (2012) tre sezioni sismiche a rifrazione in corrispondenza del Pozzo Fresa di Cascina Radimero (GA1U) e della WBS in esame (Figura 3); le sezioni hanno messo in evidenza la presenza di una coltre superficiale di natura detritico-colluviale caratterizzata da basse velocità delle onde P ($V_p < 1200$ m/s), per uno spessore di alcuni metri dalla superficie (Figura 4).

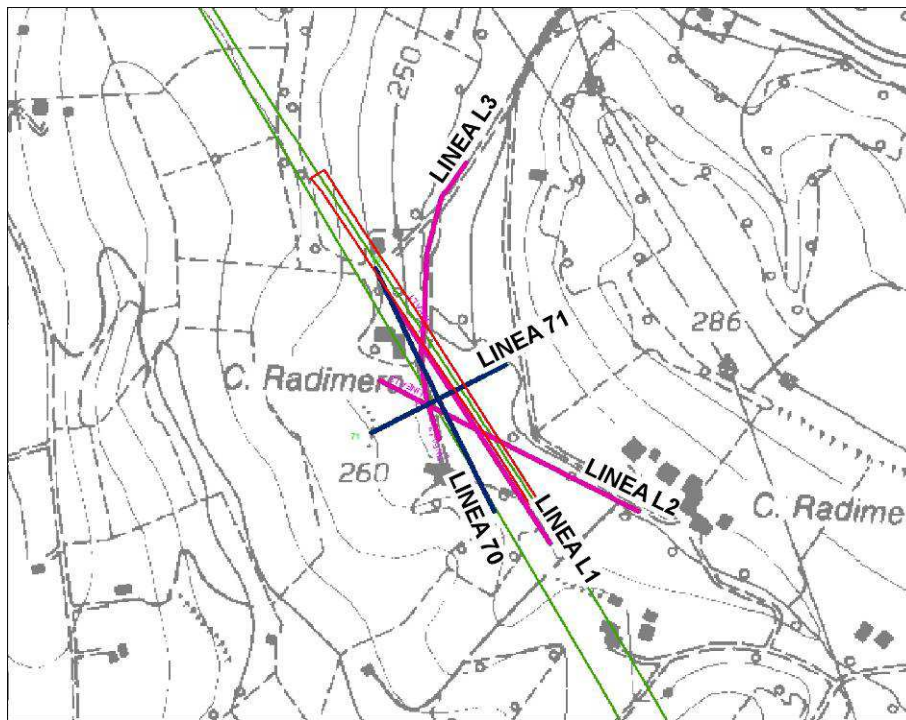


Figura 3 – Ubicazione delle linee sismiche L1/L3 (PE) e 70-71 (PP) realizzate nella zona del Pozzo Fresca Radimero (GA1U), in relazione alla posizione della WBS in esame (in rosso).

Il tetto del substrato marnoso non alterato ($V_p = 2.5$ k/s) è interpretato a circa 10 m di profondità (Figura 4); le sezioni evidenziano anche un orizzonte inferiore, potente da 20 a 40 m, di “materiale a vario stato di fratturazione ed alterazione”, soprastante il basamento roccioso più consistente ($V_p > 3400$ m/s).

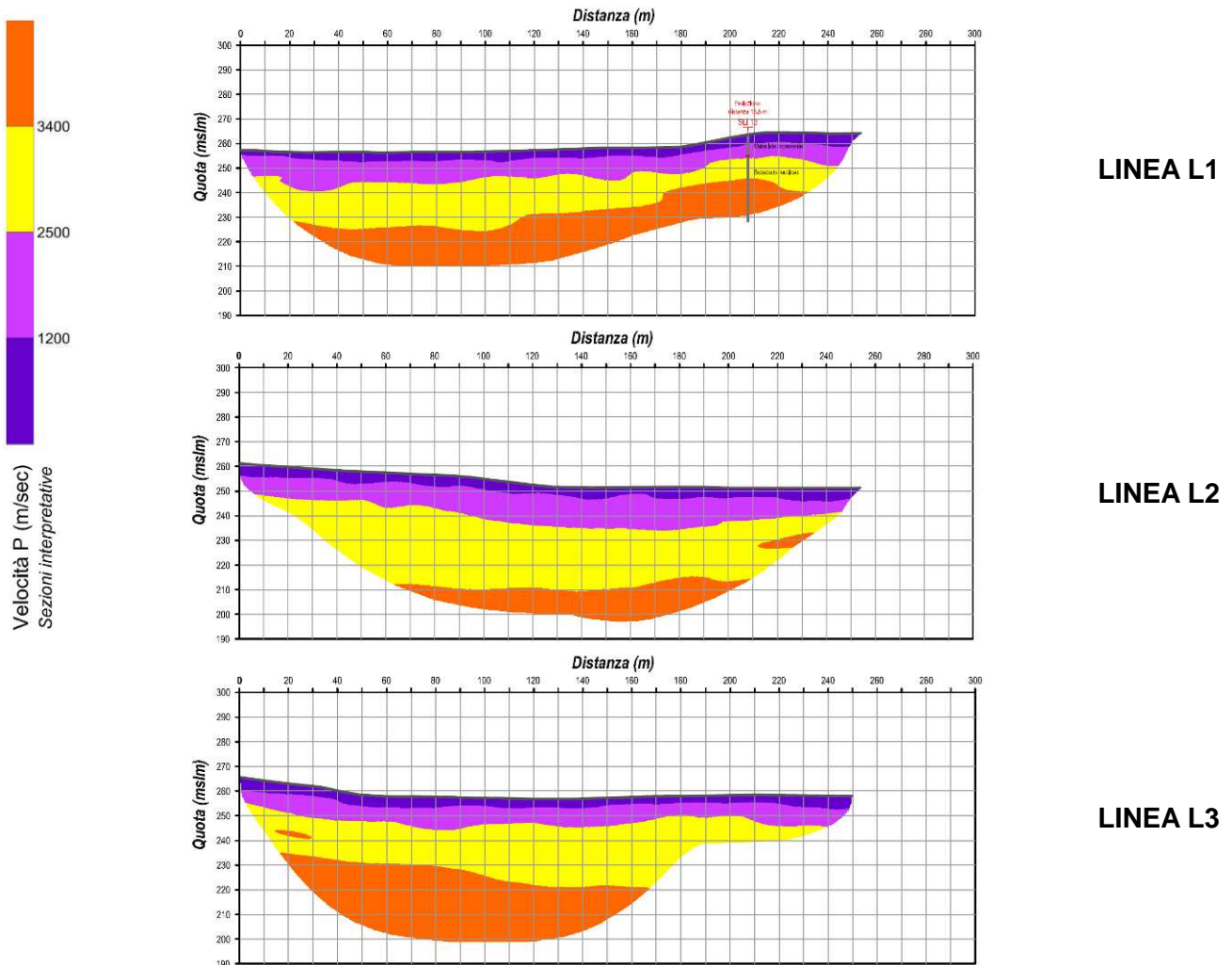


Figura 4 – Linee sismiche realizzate nella zona del Pozzo Fresa Radimero (GA1U), comprendente la parte terminale della WBS in esame (linea verde tratteggiata).

UNITÀ	Velocità P (m/s)	Descrizione delle unità
1	$V_p < 1200$	Materiale di copertura.
2	$1200 < V_p < 2500$	Materiale caratterizzato da stato di fratturazione ed alterazione significativo.
3	$2500 < V_p < 3400$	Materiale a vario stato di fratturazione ed alterazione.
4	$V_p > 3400$	Materiale roccioso maggiormente consistente.

Tabella 3 – Interpretazione del possibile significato geologico dei diversi orizzonti di velocità sismica individuati nelle sezioni a rifrazione L1-L3 (da rapporto TreEsse del 10/06/2013).

Risultati sostanzialmente analoghi sono forniti dalle linee sismiche tomografiche 70 (longitudinale) e 71 (trasversale), realizzate nel corso della campagna di indagini del Progetto Preliminare (Figura 5). Le sezioni individuano del materiale detritico di copertura da argilloso-limoso ($V_p < 1000-1250$ m/s) a prevalentemente ghiaioso-sabbioso (V_p 1500-2000 m/s) di spessore massimo pari a 10-15 m, quindi un substrato marnoso che viene interpretato come “alterato e allentato” (V_p compresa tra 2000 e 3000 m/s) per ulteriori 15 m di profondità circa, cui seguono infine marne più compatte, con valori di V_p compresi tra 3000 e 3750 m/s, oltre i 10-30 m di profondità. Il tetto della Formazione di Costa Areaa non alterata è assunto in corrispondenza di $V_p = 2500$ m/s.

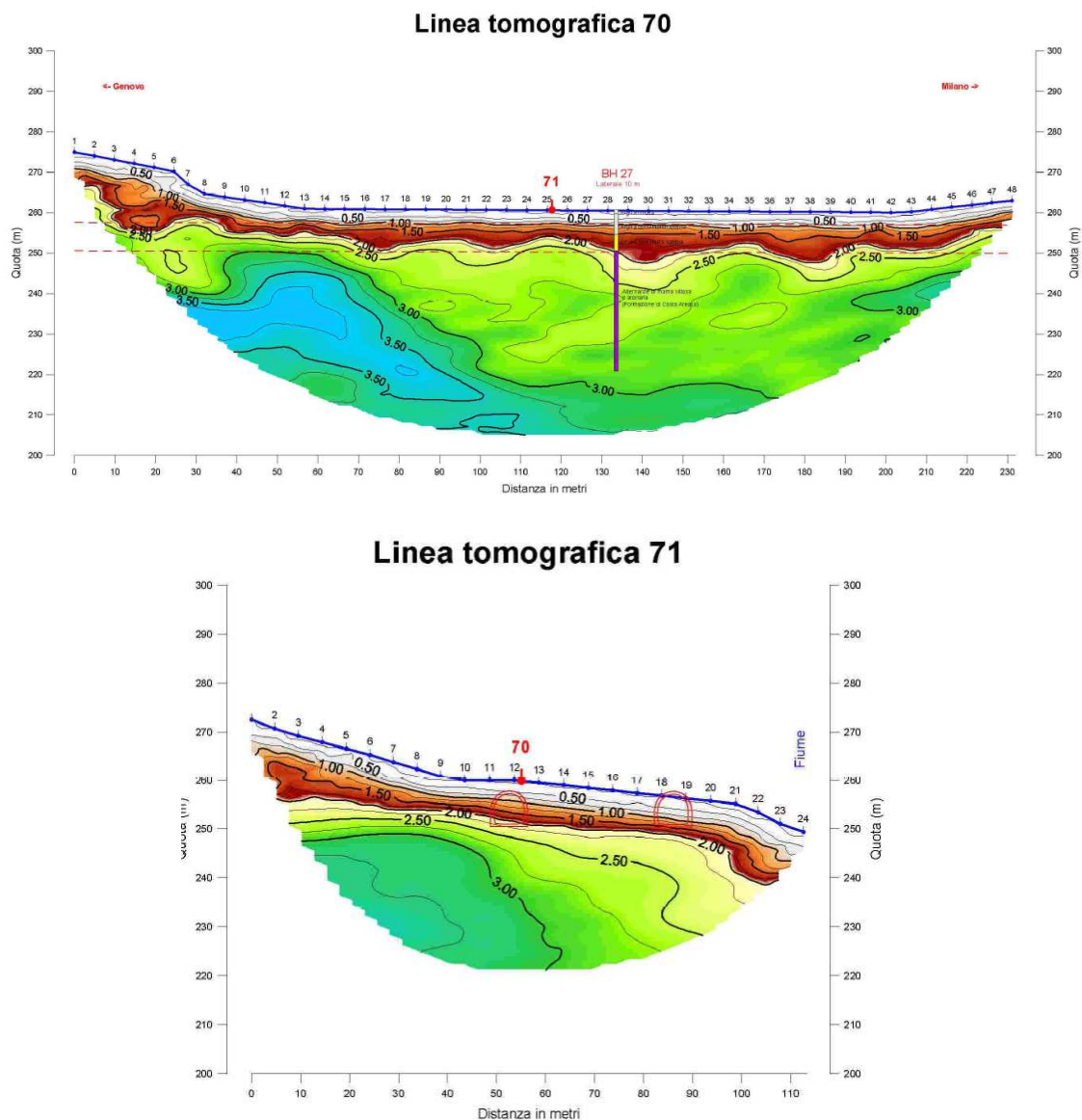


Figura 5 – Sezioni sismiche tomografiche realizzate per il Progetto Preliminare nella zona del Pozzo Fresa Radimero (GA1U).

È da notare che, mediamente, nei sondaggi carotati non vi è traccia del “substrato alterato e allentato” che viene sempre indicato nelle relazioni di accompagnamento alle indagini geofisiche e

<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-GN15-X0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 17 di 32</p>

che sarebbe da mettere in relazione a velocità delle onde intermedie tra quelle della coltre quaternaria e quelle del substrato cosiddetto “inalterato”.

In realtà, i sondaggi mettono in luce quasi sempre una transizione brusca dalla coltre quaternaria al substrato marnoso compatto, molto poco alterato, privo di tracce di circolazione d’acqua in profondità e quasi privo di fratture. L’indicazione di “substrato alterato e allentato” in senso “geofisico” non sembra quindi avere una rispondenza con un reale stato di degradazione dei litotipi marnosi. Le minori velocità di propagazione rilevate potrebbero, quindi, essere semplicemente il risultato di un orizzonte superficiale soggetto a un carico litostatico significativamente più basso rispetto ai livelli più profondi, senza che ciò costituisca un reale limite fisico, legato a meccanismi di degradazione.

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.

La permeabilità delle unità di basamento prequaternario nell’area di interesse è molto spesso anisotropa e il flusso avviene preferenzialmente lungo discontinuità più o meno diffuse al loro interno. A rigore in contesti di questo tipo dovrebbero essere definite le permeabilità lungo i sistemi di frattura, ma ciò di fatto non è realistico per i seguenti motivi:

- alla scala dei tunnel e ancor di più alla scala del massiccio, le permeabilità delle singole fratture, o dei singoli sistemi di fratture, non sono particolarmente significative, poiché la circolazione sotterranea avviene sempre lungo percorsi misti, che sfruttano più sistemi di fratture variamente interconnessi.
- Per definire il grado di permeabilità dei singoli sistemi di fratture sarebbero necessari studi di estremo dettaglio sullo stato di fratturazione, che varia da zona a zona, studi evidentemente non realizzabili nell’ambito di opere lineari di lunghezza di diverse decine di chilometri.

- Le prove idrauliche in foro, strumento principale attraverso cui viene definito il grado di permeabilità, restituiscono valori medi calcolati in una camera di prova che comprende generalmente più fratture.

Per le precedenti ragioni si è ritenuto opportuno introdurre una semplificazione, riconducendo la permeabilità discontinua dell'ammasso roccioso a quella di un mezzo poroso e facendo quindi riferimento al concetto di "permeabilità equivalente", ovvero ad un tensore di permeabilità, del quale per la classificazione è stato considerato il valore maggiore.

Nel presente capitolo ai fini descrittivi si farà riferimento alle classi di permeabilità indicate nella successiva Tabella 4.

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 m²) 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 4 – 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).

Un'ulteriore premessa a carattere più generale è che, con riferimento alla permeabilità nel substrato cristallino, indipendentemente dagli aspetti legati alla litologia, si possono distinguere due diversi contesti:

1. ammasso roccioso in normali condizioni di fratturazione;
2. zone di faglia.

Il contesto di tipo 1 è quello largamente dominante; la permeabilità è indotta dalla presenza di un reticolo di fratture poco persistenti lateralmente (metri-decametri), o al più da faglie discrete con zona di tettonizzazione cataclastica di spessore modesto (dell'ordine del metro) e persistenza anch'essa modesta (metri-decametri). Ciò significa che a scala decimetrica, o metrica, talora, si possono avere permeabilità anche piuttosto elevate, determinate dalla presenza di singole fratture aperte o faglie discrete, ma a scala decametrico-ettometrica la permeabilità media risulta per lo più bassa, poiché le fratture hanno un grado d'interconnessione reciproca non molto elevato.

<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-GN15-X0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 19 di 32</p>

Il contesto di tipo 2 è subordinato e correlato alla presenza di zone di faglia cataclastiche principali di spessore plurimetrico fino a decametrico, in cui oltre a una densità di fratturazione molto elevata, possono essere presenti anche livelli di brecce tettoniche (materiale pseudo-poroso). In questo contesto la permeabilità è generalmente piuttosto alta, poiché il grado di interconnessione tra le fratture è elevato e sovente le fratture presentano riempimenti granulari poco coesivi (brecce e microbrecce). Si deve comunque tenere conto del fatto che nelle zone di faglia le rocce cataclastiche più permeabili costituiscono due salbande dette “zone di danneggiamento” poste sui due lati di una fascia maggiormente deformata detta “zona di nucleo”. In questa fascia può essere presente una maggior quantità di materiale a grana fine (gouge) poco permeabile. La zona di nucleo può pertanto costituire un setto poco permeabile più o meno potente, interno alla fascia permeabile.

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.

Durante la fase di perforazione dei sondaggi geognostici del PD sono state eseguite prove di tipo Lefranc e Lugeon (campagne geognostiche 1992-1993, 1996, 2001-2002 e 2004). I valori di conducibilità, espressi in Unità Lugeon e in m/s, sono stati dedotti dall’interpretazione delle prove idrauliche.

I terreni testati presentano, nella maggior parte dei casi, un grado di permeabilità primario basso o molto basso; il deflusso idrico sotterraneo è quindi determinato dalla permeabilità per fratturazione, condizionata dal grado di interconnessione dei sistemi di fratture.

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

L’acquifero residente nei depositi quaternari superficiali è confinato, alla base, all’orizzonte superiore del substrato prequaternario più alterato e detensionato, che ha una permeabilità più elevata del substrato indisturbato.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 20 di 32</p>

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:

- **acquifero superficiale**, caratterizzato da permeabilità per porosità da media a medio-bassa, riferibile ai depositi alluvionali e, pro parte, ai terreni della coltre detritica; 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.

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.

- **Acquifero profondo**, impostato nei litotipi marnoso-arenacei del substrato, caratterizzati da permeabilità da bassa a molto bassa, in probabile diminuzione con la profondità; 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: per quanto riguarda il foro SL113, si va da una soggiacenza di -4/-5 m dal p.c. -2 m ca., con un'escursione di 2-3 m.

All'assenza totale di falda nel sondaggio SL114 nell'autunno, fa riscontro una falda prossima al p.c. nel periodo invernale.

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, 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.

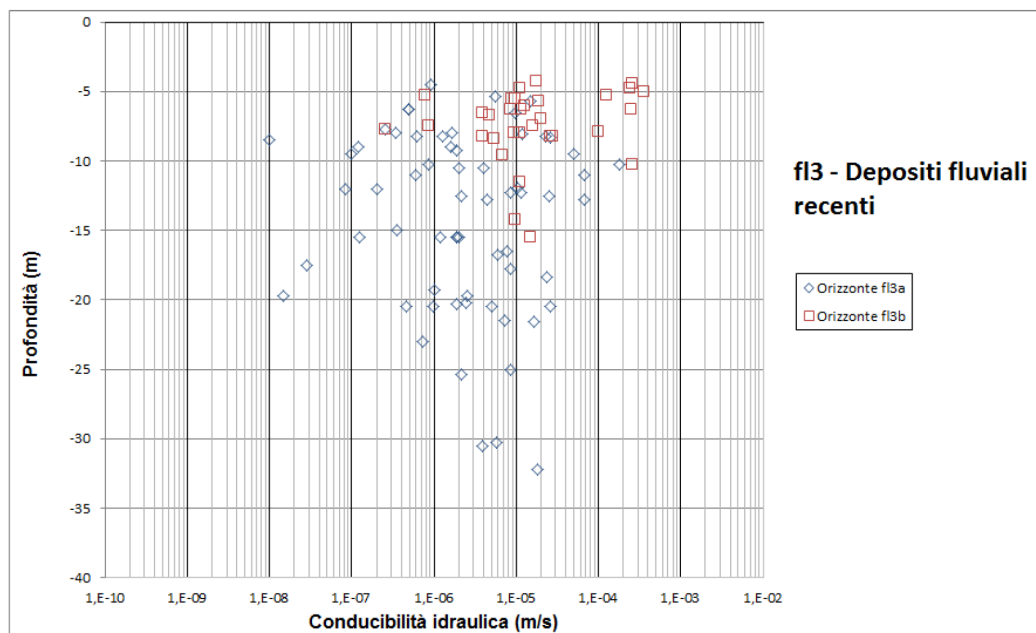


Figura 6 – 01 Grafico delle conducibilità idrauliche per i depositi alluvionali f13.

6.3.2 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 7 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 Areaa. 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 7 una serie di dati che rappresenta 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).

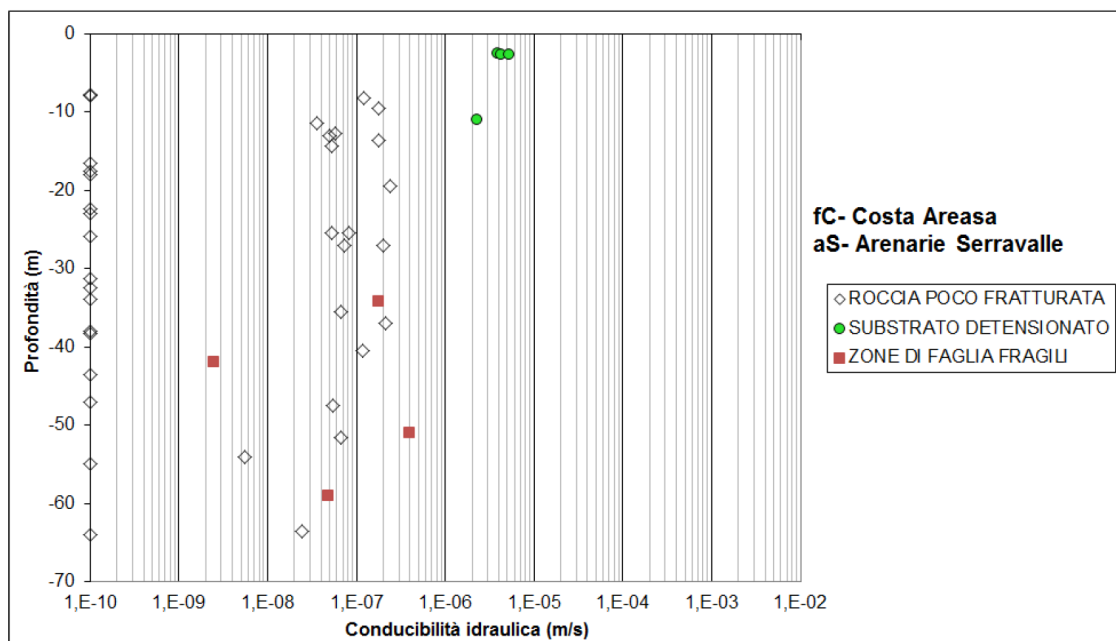


Figura 7 - Grafico delle conducibilità idrauliche per la Formazione di Costa Areaa (fC) e per le Arenarie di Serravalle (aS) da prove in foro di sondaggi del progetto preliminare (G036, G037, G029, V001, V002, V003, G033, G032, V020, G031, G029, G028). Sono state distinte prove eseguite in roccia poco fratturata, substrato detensionato e zone di faglia.

Dall'analisi dei sondaggi 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02 Foglio 23 di 32

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 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 PROBLEMATICHE GEOLOGICHE A QUOTA GALLERIA

7.1 Condizioni geologiche

La successione sedimentaria attraversata da questo tratto di opera è rappresentata dalla sola formazione di Costa Areea (fC), costituita da alternanze di strati arenaceo-pelitici, torbiditici e livelli di emipelagiti con rapporto arenaria/pelite < 1 . Per la descrizione litologica e paleoambientale di dettaglio si rimanda al capitolo 4, relativo alla descrizione delle unità del BTP in cui ricade l'opera.

I sondaggi esistenti per il settore d'interesse, realizzati nelle fasi Preliminare, Definitiva ed Esecutiva del progetto, sono in generale congruenti con quanto riscontrato sul terreno per la formazione di Costa Areea.

Dal punto di vista geologico la criticità principale è rappresentata dalla bassa copertura al di sopra della calotta del tunnel, inoltre dalla possibilità che nella tratta a minore copertura in marne, possa eventualmente essere intercettato il limite di appoggio basale dei depositi detritico-colluviali superficiali, con conseguenti problemi legati alla stabilità della volta e a possibili subsidenze in superficie.

7.1.1 Presenza di faglie e piani di taglio a basso angolo

Nel settore di indagine, a causa della diffusa coltre detritico-colluviale, della densa copertura vegetale e delle rielaborazioni agricole, non vi è evidenza diretta della presenza di faglie, anche per l'assenza di marker stratigrafici che permettano di evidenziare eventuali incongruenze geometriche all'interno della formazione. Non si può escludere del tutto la presenza di alcune faglie minori di spessore centimetrico-decimetrico, la cui densità e posizione non è tuttavia definibile.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 24 di 32</p>

7.1.2 Grado di fratturazione medio al di fuori delle faglie

Il grado di fratturazione può variare da medio a basso, con sviluppo di fratture più nette all'interno dei livelli cementati (arenarie e marne carbonatiche) e di clivaggi di fratturazione pervasivi nei livelli marnosi meno cementati.

7.2 Aspetti correlati alla geomorfologia e alla geologia del Quaternario

La zona di studio fa parte del bacino idrologico legato allo sbocco sulla pianura del Torrente Scrivia; la morfologia di questo tratto del corso d'acqua è stata condizionata dallo spostamento progressivo dell'alveo del T. Scrivia a est di Pozzolo e poi ancora verso est, sino al raggiungimento della posizione attuale; i terrazzi alluvionali così creatisi si elevano rispetto all'alveo attuale dello Scrivia di 20 m ca. nel tratto di monte (zona di Serravalle-Novì) e di 5 m ca. nel tratto di valle (tra Rivalta Scrivia e Tortona).

Dal punto di vista geomorfologico, 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.

Il raccordo tra il versante e il terrazzo alluvionale principale 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 e urbano della zona; nell'area di indagine non si evidenziano processi deposizionali attivi; al contrario, i conoidi sopra descritti sono per lo più dissecati da piccoli alvei con drenaggio verso NE, approfonditi anche di alcuni metri rispetto al piano campagna.

La dinamica di versante è legata prevalentemente all'innescò di piccole frane per colamento dei terreni della coltre detritica superficiale, derivante da un substrato marnoso e caratterizzata quindi da granulometria fine, bassa permeabilità, limitata capacità di drenaggio delle acque di infiltrazione e suscettibilità al dissesto relativamente alta. Sui versanti possono innescarsi limitati fenomeni di soliflusso, colamento lento o, al limite, piccole frane di scivolamento a carico della coltre, innescate da precipitazioni intense e prolungate.

In sintesi, i rilievi di dettaglio effettuati in sito hanno permesso di evidenziare le seguenti problematiche superficiali:

- tendenza all'instabilità della coltre superficiale, nei settori a maggiore pendenza, dovuta alle scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni che costituiscono il primo sottosuolo;
- erosione lineare lungo il reticolato idrografico esistente;
- tendenza all'esonazione del reticolato idrografico secondario, in caso di piogge eccezionali;
- eventuali piccole frane per scivolamento a carico del substrato (anche non affiorante), che possono interessare i tratti di versante caratterizzati da stratificazione/scistosità orientata a franapoggio (versanti con esposizione compresa tra W e N).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02 Foglio 25 di 32

Alla luce delle caratteristiche sopra descritte e data la posizione dell'opera prevista, che si colloca interamente nel sottosuolo, sul lato settentrionale della piccola valle laterale di Cascina Radimero, l'influenza di fenomeni geomorfologici superficiali è da ritenersi di scarsa rilevanza. Il settore considerato è caratterizzato da una morfologia dolce e poco acclive e dall'assenza di fenomeni di instabilità gravitativa profonda che possano andare a interessare la quota del tunnel.

L'area adiacente allo scavo della galleria sarà interamente cantierizzata per la realizzazione del pozzo di C. Radimero, per l'imbocco della fresa; pertanto, l'attuale assetto geomorfologico verrà comunque completamente modificato in fase di esecuzione, su un'area piuttosto ampia; a tutela delle zone di cantiere inerenti la WBS in oggetto, si dovranno quindi adottare soluzioni integrate con quelle prescritte a livello progettuale per l'area del pozzo fresa.

Nella carta geologico-geomorfologica allegata, sono comunque riportati i principali depositi alluvionali pleistocenico-attuali, gli accumuli dei principali fenomeni gravitativi e le forme del paesaggio ad esse connessi.

7.3 Condizioni idrogeologiche

7.3.1 Piezometria

In base ai dati sondaggi precedentemente descritti è possibile osservare come, anche se l'equipaggiamento con piezometro a tubo aperto non permette di distinguere un'eventuale falda ospitata nelle marne del substrato da quella presente nei depositi superficiali, le prove di permeabilità e le caratteristiche delle carote indicano comunque che la falda nel substrato è assente.

La piezometria misurata nei sondaggi è quindi quella della falda ospitata nei depositi quaternari, che è una falda libera soggetta a forti oscillazioni stagionali; l'acquifero superficiale è confinato, alla base, dal substrato marnoso a bassa permeabilità. Le oscillazioni stagionali della falda sono evidenti: nell'SLI14 la falda è assente in fase di perforazione (autunno 2012), ma è prossima al piano campagna nell'inverno 2013; l'SLI13 mette in evidenza un'escursione di 2-3 m. Queste variazioni sono evidentemente legate alle precipitazioni, tuttavia la permeabilità relativamente bassa dei depositi superficiali fa sì che il livello piezometrico oscilli molto lentamente e con una certa inerzia rispetto ai picchi di precipitazione.

Durante la fase di PP e PD sono stati censiti i pozzi presenti nel comune di Arquata Scrivia, alcuni dei quali localizzati alla base dei versanti, altri lungo i versanti stessi (impostati nel substrato marnoso), altri ancora nei settori di piana alluvionale.

I dati piezometrici raccolti nel settore di pianura mettono in evidenza una falda freatica con soggiacenza compresa tra -3 e -7 m dal p.c. e andamento subparallelo alla superficie topografica. Una certa dispersione nella distribuzione dei valori di soggiacenza misurati è normale, sia per i tempi di risposta dell'acquifero dilatati, rispetto al regime pluviometrico, sia per l'emungimento di acqua dal sottosuolo a scopi irrigui, che si verifica principalmente in estate.

Le verifiche e le campagne di misura piezometrica eseguite in fase di PE sui pozzi censiti durante il PD, mostrano altrettanto bene le variazioni della quota della superficie piezometrica, con escursioni

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 26 di 32</p>

dell'ordine dei 2 m, e il carattere temporaneo di tali variazioni, condizionate sia dalle precipitazioni sia dai prelievi effettuati a scopo irriguo dai pozzi privati; ciò giustifica in maniera molto semplice i forti abbassamenti riscontrati in alcuni dei punti d'acqua.

7.3.2 Carico idraulico

Il carico idraulico per la tratta in questione, sulla base delle misure eseguite nei piezometri installati nei sondaggi appare legato essenzialmente alla circolazione all'interno dei depositi detritico-colluviali superficiali, che colmano il fondo della piccola valle laterale di Cascina Radimero, attraversata dall'asse di linea.

In base ai dati di sondaggio si stima che il carico idraulico riferito alla quota dell'arco rovescio possa arrivare a 20 m ca. (10 m ca. dalla calotta). All'interno della formazione marnosa il carico idraulico è virtualmente assente, data la sua permeabilità molto bassa; in presenza di discontinuità idraulicamente conduttive che mettano in connessione la galleria con i depositi quaternari, il carico può essere stimato nell'ordine di 20-25 m.

In dettaglio, i carichi idraulici attesi sono:

- da 0 a 10 m, tra la pk 27+579.51 (inizio WBS) e la pk 27+610;
- da 10 a 30 m, tra la pk 27+610 e la pk 27+668.60 (termine WBS)

7.3.3 Permeabilità/connettività

L'intera tratta si sviluppa all'interno della Formazione di Costa Areasa, nella facies ad alternanze di areniti e peliti, in condizioni di bassa copertura topografica a partire dalla pk 27+658 ca. Dal momento che non sono previste faglie significative lo scavo procederà in ammasso in normale stato di fratturazione per il quale le proprietà idrauliche sono le medesime riportate nel paragrafo precedente, con conducibilità idraulica media dell'ordine di $5E-08$ m/s.

A scala locale (decametrica) può esistere una distribuzione bimodale della conducibilità, che risulta inferiore nelle zone con maggior concentrazione di strati a granulometria fine (k mediamente inferiore a $1E-09$ m/s) e maggiore nelle zone con frequenti interstrati arenitici ($1E-07 > k > 1E-08$ m/s).

Nelle situazioni in cui la copertura topografica sulla galleria si riduce considerevolmente, fino a divenire inferiore a 20-30 m, la galleria entra in un settore di ammasso in cui è verosimile la presenza di fenomeni di alterazione meteorica e detensionamento superficiale; è quindi possibile che il grado di permeabilità sia maggiore che in normali condizioni sotto coperture più elevate. Si può dunque ipotizzare che in queste zone la conducibilità idraulica sia dell'ordine dei $1E-07$ m/s.

Conducibilità ancora maggiori potrebbero esistere nella tratta compresa fra la pk 27+400 e 27+550 ove non si può escludere che zona di calotta della galleria sia collocata al di sopra del limite tra depositi sciolti superficiali e substrato prequaternario alterato. In questo caso è stata ipotizzata una conducibilità idraulica dell'ordine di $1E-06$ m/s.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 27 di 32</p>

7.3.4 *Afflussi transitori in fase di scavo*

Entrando nella zona a basse coperture non si possono escludere, ove fosse previsto uno scavo in condizioni non drenate, afflussi che cautelativamente potrebbero essere dell'ordine di 0,5-1 l/s per 10 m di galleria, nella tratta a minore copertura e maggior conducibilità.

7.3.5 *Criticità di natura idrogeologica locale*

Data la permeabilità ridotta delle marne della formazione di Costa Areasa, non si dovrebbero avere criticità particolari legate a venute d'acqua direttamente provenienti dal substrato prequaternario, in cui si prevedono condizioni di assenza di acqua o, al limite, di umidità.

Tuttavia, un aspetto potenzialmente critico è rappresentato dalla bassa copertura topografica al di sopra della galleria, in particolare tra l'inizio della WBS e la pk 27+610; in questo tratto, la copertura in marne sopra alla calotta è compresa tra 1 e 10 m; le marne sono in contatto con uno strato superficiale di depositi misti detritico-colluviali-alluvionali, che, pur non ospitando una falda di elevato spessore ed estesa arealmente, sono verosimilmente saturi per buona parte dell'anno.

La creazione, al contorno della galleria, di una zona di detensionamento dell'ammasso marnoso, legata allo scavo, potrebbe determinare un incremento sia dello stato di fratturazione, sia dell'apertura delle discontinuità preesistenti (stratificazione o giunti) e la conseguente creazione di un collegamento idraulico tra le marne e i depositi superficiali parzialmente saturi, in particolare nel tratto dove lo spessore in marne sopra alla volta è più ridotto.

Inoltre, la possibilità che la calotta del tunnel intercetti il limite coltre/substrato e che, quindi, la galleria entri parzialmente nei depositi superficiali, per variazioni della morfologia della loro superficie di appoggio basale, costituisce un ulteriore fattore di criticità dal punto di vista sia geologico, sia idrogeologico.

Manifestazioni idriche costituite da stillicidi diffusi e intensi e/o da venute concentrate, potenzialmente associate ad afflusso in galleria di materiale detritico sciolto, potrebbero quindi verificarsi, in assenza di interventi appropriati, soprattutto in corrispondenza del settore a minore copertura e dove i depositi detritici hanno spessore maggiore.

Nella restante parte della tratta considerata, con il progressivo aumento della copertura in marne sopra alla calotta, le manifestazioni idriche andranno progressivamente attenuandosi, dato il basso grado di conducibilità testimoniato dalle prove eseguite in sondaggio.

7.3.6 *Afflussi stabilizzati*

La WBS si colloca a limite tra due zone a comportamento idrogeologico leggermente differenziato, limite posto intorno alla pk 27+658. Prevale comunque l'aspetto legato alla presenza di basse coperture topografiche. Qualora non si proceda alla messa in opera di un rivestimento definitivo non drenante e in grado di ripristinare una piezometria prossima a quella naturale, sono da prevedere portate stabilizzate dell'ordine dei 2 l/s, quando si consideri una singola canna scavata, o di 4 l/s, quando si considerino le due canne contemporaneamente.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 28 di 32</p>

7.3.7 *Interferenze con risorse idriche*

Nella zona della WBS in oggetto sono presenti numerosi punti di captazione che sono censiti come pozzi e dei quali spesso non è però chiara la reale natura; la loro posizione sul versante e la profondità relativamente ridotta farebbe infatti spesso ritenere che, più che di veri e propri pozzi, si tratti di cisterne, o comunque di captazioni che sfruttano livelli non molto permeabili, che garantiscono una minima riserva d'acqua. In ogni caso la valutazione di pericolosità d'impatto è stata eseguita assumendo che si tratti di captazioni che sfruttano sistemi di flusso attivi nel substrato prequaternario, il che garantisce una stima a favore di sicurezza.

Alla luce delle precedenti considerazioni, qualora non venisse messo in opera un rivestimento definitivo non drenante e in grado di ripristinare una piezometria prossima a quella naturale, è da considerare a pericolosità di impatto molto elevata la captazione PAR 29, a pericolosità piuttosto elevata la captazione PAR 30, mentre un impatto medio è da considerare per le captazioni PAR 28 e PAR 41.

7.4 Sintesi delle problematiche di scavo

Le problematiche di scavo saranno legate essenzialmente alle condizioni di stabilità a breve termine nei tratti a minore copertura e al potenziale innesco di fenomeni di subsidenza della superficie, con possibile ingresso di acqua in galleria proveniente dai depositi quaternari che colmano la vallecchia di Cascina Radimero.

I problemi di stabilità in calotta potrebbero ulteriormente aggravarsi qualora dovesse essere intercettata l'interfaccia tra substrato e depositi detritico-colluviali saturi.

I potenziali problemi di stabilità si accompagnano ad analoghe criticità dal punto di vista idrogeologico, determinate dagli stessi fenomeni sopra citati.

Per la fase costruttiva è quindi opportuno prevedere la presenza di una falda idrica all'interno dei depositi superficiali, che dovrebbe avere come base l'interfaccia con il substrato marnoso, o al limite con la base dello strato di alterazione delle marne stesse.

Gli scavi dovranno quindi essere drenati e/o impermeabilizzati per tutta la parte impostata nei terreni alluvionali e detritici e per i primi metri del substrato prequaternario più alterato. È da prevedere inoltre che nel periodo invernale la falda possa portarsi fino in prossimità della superficie topografica.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02 Foglio 29 di 32

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.
- Cortesogno L., Di Battistini G., Lucchetti G. & Venturelli G. (1979) - Metamorphic assemblages of two high pressure-low temperature ophiolitic units of central-western Liguria: mineralogical and chemical features and tectonic significance. *Ophioliti*, 4 (2): 121-156.
- Cortesogno L. & Haccard D. (1984) - Note illustrative alla carta geologica della zona Sestri-Voltaggio. *Mem. Soc. Geol. It.*, 28: 115-150.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 30 di 32</p>

- 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, 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 31 di 32</p>

- 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.
- 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-04-E-CV-RO-GN15-X0-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 32 di 32</p>

- 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.