

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 SCAVO
MECCANIZZATO DA PK 24+297 A PK 25+981,51- RELAZIONE
GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA**

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

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 2	E	C V	R O	G N 1 5 V 0	0 0 1	A

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



n. Elab.:	File: IG5102ECVROGN15V0001A00
-----------	-------------------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5102ECVROGN15V0001A00</p>	<p>Foglio 3 di 38</p>

INDICE

INDICE.....		3
1	PREMESSA	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3	ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO	5
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	6
4.1	Evoluzione tettonostratigrafica del Bacino Terziario Piemontese (BTP).....	6
4.2	Caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche delle unità del Bacino Terziario Piemontese interessate dall'opera in progetto.....	10
4.2.1	Formazione di Molare	11
4.2.2	Formazione di Rigoroso	15
4.2.3	Formazione di Costa Montada	17
4.2.4	Formazione di Costa Areasa	19
5	INDAGINI GEOGNOSTICHE	19
5.1	Sondaggi del Progetto Preliminare.....	20
5.1.1	AA301G031 / BH27bisPZ	20
5.1.2	AA301G030 / BH26bisPZ	20
5.1.3	AA301G029 / BH25bisPZ	21
5.1.4	SA301G028 / BH25	21
5.1.5	AA301G055	21
5.2	Sondaggi del Progetto Definitivo	22
5.2.1	SR16.....	22
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	22
6.1	Complessi idrogeologici.....	22
6.1.1	Formazione di Molare	24
6.1.2	Formazione di Rigoroso – litofacies marnosa (mR).....	25
6.1.3	Formazione di Costa Areasa litofacies torbidityca (fC), formazione di Costa Montada – litofacies marnosa silicizzata e torbidityca (uMb/c), formazione di Rigoroso – marne siltose con strati arenitici (fR).26	
6.1.4	Formazione di Costa Montada – litofacies arenitica (uMa), formazione di Costa Areasa litofacies arenitica con interstrati (fCa).....	27
7	PROBLEMATICHE GEOLOGICHE A QUOTA GALLERIA.....	27
7.1	WBS GN15V – PK 24+297+25+981,51	27
7.1.1	Condizioni geologiche attese in corrispondenza dell'opera	27
7.1.2	Presenza di faglie	28
7.1.3	Condizioni idrogeologiche attese in corrispondenza dell'opera	28
7.1.4	Sintesi delle problematiche di scavo	29



8	ASPETTI CORRELATI ALLA GEOMORFOLOGIA E ALLA GEOLOGIA DEL QUATERNARIO.....	30
9	CENNI SULLA SISMICITÀ DELL'AREA	30
9.1	Dati disponibili.....	30
9.2	Caratteri generali della sismicità regionale.....	30
9.3	Classificazione sismica dell'area di progetto.....	32
9.4	Stima delle proprietà sismiche dei terreni interessati dal progetto.....	33
10	BIBLIOGRAFIA	35

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5102ECVROGN15V0001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 5 di 38</p>

1 PREMESSA

Il presente rapporto riguarda la realizzazione delle opere identificate dal codice WBS GN15V e riferite allo scavo meccanizzato lungo il binario di linea dispari, dalla PK 24+297 alla PK 25+981,51. L'intervento si inserisce nel quadro delle opere di linea previste dal Progetto Esecutivo del nuovo collegamento AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi".

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

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 alla PK 27+327,50, comprendente le 4 WBS GN15U, GN15T, GN15V e GN15W, che sono in continuità, al fine di rendere più esauriente la trattazione dal punto di vista del contesto geologico – strutturale e idrogeologico.

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".

3 ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO

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

- l'esecuzione di una ricerca bibliografica;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 6 di 38

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

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

Il gruppo di lavoro è così costituito:

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

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La Galleria di Valico nella tratta compresa tra le progressive 22+000 e 27+327,50 ricade interamente nelle successioni sedimentarie terrigene, prevalentemente silicoclastiche, riferibili al 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).

4.1 Evoluzione tettonostratigrafica del Bacino Terziario Piemontese (BTP)

I depositi del BTP ricoprono in discordanza unità di diversa composizione e pertinenza crostale (unità metamorfiche alpine e unità sedimentarie liguri), che sono state tra loro giustapposte dalla

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00
	Foglio 7 di 38

fase collisionale eocenica mesoalpina (Castellarin, 1994), corrispondente alla “fase ligure” (Elter & Pertusati, 1973). Tale configurazione è il risultato dell’evoluzione collisionale, a doppia vergenza, della catena alpina (Roure et al., 1996) che ha portato all’individuazione, sul suo lato interno, di un prisma orogenico complesso, riconoscibile anche nel sottosuolo fino ad una profondità di 6-7 km.

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

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

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

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

In posizione interna rispetto al thrust belt sud-padano si riconoscono due settori in subsidenza (Alessandria e Savigliano), la cui evoluzione post-pliocenica è da mettere in relazione a strutture compressive tardo mioceniche-attuali. In queste aree sono stati riconosciuti oltre 3.000 m di sedimenti plio-quadernari (Pieri & Groppi, 1981). Nel complesso la successione sedimentaria del BTP, prevalentemente terrigena-silicoclastica, si sviluppa dall’Eocene superiore al Miocene superiore (Messiniano), raggiungendo spessori che superano talora i 4.000 m (Mutti et al., 1995). Sulla base dei dati biostratigrafici e litostratigrafici, la successione sedimentaria del BTP è stata suddivisa in unità e gruppi di unità delimitati da superfici di discontinuità, cui corrispondono specifici eventi tettonici e variazioni assolute del livello marino.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5102ECVROGN15V0001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 8 di 38</p>

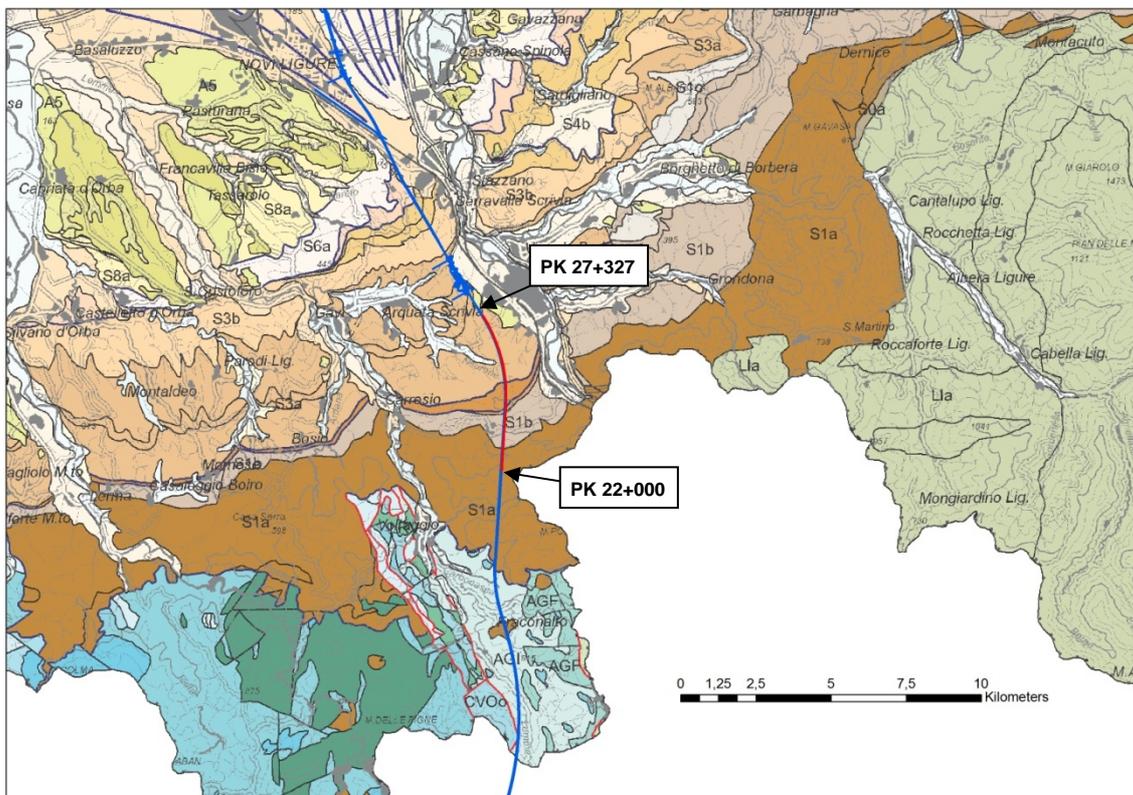
Nell'intento di garantire una continuità tra la terminologia adottata in fase di Progetto Definitivo ed Esecutivo, senza tuttavia tralasciare le informazioni derivanti dai dati di letteratura più recenti, è stata realizzata una tabella (Tabella 1) in cui è messa a confronto la nomenclatura derivante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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG5102ECVROGN15V0001A00		Foglio 9 di 38

CARTA GEOLOGICA DEL PIEMONTE alla scala 1:250.000 (in prep).	CATALOGO delle FORMAZIONI ITALIANE e CARIMATI (cfr. Carta geologica d'Italia, scala 1:100.000 e PROGETTO CARG, scala 1:50.000)		Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" PROGETTO DEFINITIVO		Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" PROGETTO ESECUTIVO	
Successioni terrigene messiniane, S6a	Gruppo della Gessoso-Solfifera	Formazione di Cassano Spinola, CSS	Conglomerati di Cassano Spinola, cC		Gruppo della Gessoso-Solfifera	Conglomerati di Cassano Spinola, cC
Evaporiti clastiche messiniane, S5a		Complesso Caotico della Valle Versa, CTV	Formazione Gessoso-Solfifera, gS			<u>Complesso Caotico della Valle Versa, gS</u>
Successioni marnose tortoniano-messiniane, S4a	Marne di S. Agata Fossili, SAF		Marne di S. Agata Fossili	marne e peliti, mA1	Marne di S. Agata Fossili	marne e peliti, mA1
Corpi arenaceo-conglomeratici tortoniano-messiniani, S4b				areniti fini, mA2		areniti fini, mA2
Successioni arenaceo-pelitiche ed arenacee serravalliano-tortoniane, S3b	Formazione di Serravalle, SEV		Arenarie di Serravalle, aS		Arenarie di Serravalle, aS	
Successioni arenaceo-pelitiche e marnose burdigaliano-langhiane, S3a	Marne di Cessole, CES		Marne di Cessole, mC		Marne di Cessole, mC	
	Formazione di Costa Areasa		Formazione di Costa Areasa, fC		Formazione di Costa Areasa, fC <u>Formazione di Costa Areasa, areniti medie e fini, fCa</u>	
Successioni prevalentemente carbonatiche burdigaliane, S2a	Formazione di Rigoroso, RIO		Membro di Costa Montada	marne e areniti, uMc	Formazione di Costa Montada	<u>alternanze di marne e areniti, uMc</u>
Depositi silicei aquitaniano-burdigaliani, S1d				arenarie medie, uMb		<u>areniti medio-grossolane, uMb</u>
Successioni marnose rupeliano-aquitane, S1b				Marne, uMa		<u>marne e marne silicizzate, uMa</u>
	Marne di Rigoroso	areniti e marne, fR	Formazione di Rigoroso	<u>marne con livelli arenacei, fR</u>		
marne grigie, mR		<u>marne siltose, mR</u>				
Successioni arenacee e arenaceo-pelitiche rupeliane, S1a	Formazione di Molare, MOR – Conglomerati di Savignone, SAV		Formazione di Molare	Membro arenaceo, FMa	Formazione di Molare	<u>Litofacies arenacea, FMa</u>
				Membro conglomeratico cementato, FMc		<u>Litofacies siltoso-pelitica, FMs</u>
				Conglomerati poligenici, FMp		<u>Litofacies ruditica calcarea, FMc</u>
				Brecce della Costa di Cravara, FMbc		<u>Litofacies ruditica poligenica, FMp</u>
-	Brecce della Costa di Cravara, CRA		Brecce della Costa di Cravara		<u>Brecce della Costa di Cravara</u>	

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

**LEGENDA****Depositi alluvionali**

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

Bacino Terziario Piemontese

S8a Successioni marnoso-siltose zanclane; **S6a** Successioni terrigene messiniane; **S4c** Evaporiti e successioni euxiniche messiniane; **S4b** Corpi arenaceo-conglomeratici tortoniano-messiniani; **S4a** Successioni marnose tortoniano-messiniane; **S3b** Successioni arenaceo-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-aquitaniense; **S1c** Corpi lenticolari arenaceo-conglomeratici rupeliano-aquitaniense; **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 nuova Carta Geologica del Piemonte in scala 1:250.000 (Piana et al., in prep.)

con l'ubicazione del tracciato della linea AV/AC (in blu) e della tratta oggetto del presente rapporto (traccia rossa + frecce). La parte in bianco è in territorio ligure.

4.2 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 rupeliano-langhiane del Bacino Terziario Piemontese; in particolare, dal basso verso l'alto stratigrafico si trovano:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 11 di 38

- la formazione di Molare,
- la formazione di Rigoroso,
- la formazione di Costa Montada,
- la formazione di Costa Areasa.

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.

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

4.2.1 *Formazione di Molare*

NOTA

In fase di Progetto Definitivo la formazione delle Breccie della Costa di Cravara è stata inclusa in una delle litofacies della formazione di Molare. In questa sede si ritiene invece opportuno mantenere la distinzione formazionale presente in letteratura in quanto le "Breccie della Costa di Cravara" presentano caratteristiche litologiche e geometriche (es. discordanza angolare) tali da poter essere riferite ad un differente ciclo sedimentario rispetto a quello della formazione di Molare. La formazione di Molare comprende a sua volta litofacies brecciose monogeniche e poligeniche che però occupano posizioni stratigrafiche differenti rispetto alla formazione delle Breccie della Costa di Cravara. È particolarmente importante quindi tenere conto di questi aspetti soprattutto nella fase di realizzazione dei profili geologici e nella valutazione dello spessore delle due diverse unità.

Nel settore di studio la formazione affiorante più antica è rappresentata da una potente successione ruditico-arenitica riferibile al Rupeliano, di ambiente da continentale a marino marginale. In letteratura questi depositi sono indicati a ovest dello Scrivia come "formazione di Molare", mentre ad est si trovano i Conglomerati di Savignone e i Conglomerati della Val Borbera (Ghibaudo et al., 1985). In generale si tratta di depositi parzialmente coevi con un significato paleoambientale confrontabile. L'area di studio si trova ad ovest dello Scrivia e quindi le suddette unità sono state indicate come formazione di Molare.

La formazione di Molare, che può raggiungere una potenza di oltre 1.500 metri (Gnaccolini et al., 1999), poggia in discontinuità angolare sul substrato metamorfico (unità tettonometamorfiche Figogna e Cravasco-Voltaggio, cfr. Foglio 213-230 "Genova" della Carta Geologica d'Italia) o sulla formazione delle Breccie della Costa di Cravara. La formazione di Molare rappresenta i primi depositi della successione del BTP che si sedimentano su un substrato fortemente irregolare, caratterizzato da alti e bassi strutturali che ne determinano la forte variabilità nello spessore complessivo e nella composizione dei clasti. Da questo ne deriva inoltre che la superficie di appoggio basale, geometricamente irregolare, spesso non è congruente con la giacitura della stratificazione regionale.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 12 di 38

Le principali aree-sorgente dei clasti sono rappresentati, in questo settore, dalle unità tettonometamorfiche Figogna e Cravasco-Voltaggio; subordinatamente si trovano clasti riferibili alle “unità liguri” (come l’unità Erro-Tobbio) e a quelle “appenniniche” (Flysch dell’Antola).

All’interno della formazione di Molare sono state distinte cinque litofacies, caratterizzate da rapporti geometrici reciproci di sovrapposizione e/o di eteropia di facies:

- *litofacies brecciosa (fmbc),*
- *litofacies ruditica poligenica parzialmente cementata (fmp),*
- *litofacies ruditica cementata a clasti calcarei dominanti (fmc),*
- *litofacies siltoso-pelitica (fms),*
- *litofacies arenacea (fma).*

Allo stato attuale delle conoscenze le litofacies individuate sono cinque, tuttavia non è da escludere che, in seguito ad ulteriori approfondimenti, possano esserne individuate altre.

4.2.1a *Litofacies brecciosa (FMbc)*

Si tratta di una breccia monogenica, a supporto di clasti, ad elementi di serpentiniti e subordinate metaperidotiti. Scarsa matrice argillosa grigio-verdastra. Localmente sono presenti blocchi di dimensioni metriche (Figura 2). Nel complesso si tratta di una litofacies ben cementata, osservata a vari livelli stratigrafici, all’interno e nella parte alta della litofacies Fmp. Lo spessore massimo osservato per questa unità è inferiore a 50 m.



Figura 2 - Dettaglio della litofacies brecciosa monogenica ad elementi di serpentiniti (FMbc).

Data la scarsa maturità composizionale e tessiturale e l’assenza di strutture sedimentarie, questi sedimenti possono essere interpretati come dei depositi di versante-conoide detritico ad alimentazione locale-intrabacinale, scarsamente mobilizzati.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 13 di 38

Come indicato, la quasi totalità dei clasti è costituita da rocce serpentinitiche, tuttavia sul terreno è stata rilevata una presenza piuttosto scarsa di asbesti, concentrati in rare, sottili patine in frattura all'interno di alcuni clasti serpentinitici, anche se non si esclude che localmente possano essere presenti delle concentrazioni maggiori.

Questa unità è riferibile al Rupeliano per inquadramento con le altre unità.

4.2.1b *Litofacies ruditica poligenica parzialmente cementata (FMp)*

L'unità è costituita da conglomerati e subordinati livelli arenacei (Figura 3). I conglomerati da clast- a matrix-supported con matrice arenacea, si presentano in strati metrici, localmente gradati e con gli elementi di dimensioni inferiori embricati. I ciottoli presentano un grado di arrotondamento variabile (da subangolosi a ben arrotondati) e consistono di metabasiti, serpentiniti, eclogiti, calcescisti, marmi e micascisti; localmente sono stati osservati anche dolomie e calcari. I clasti serpentinitici talora contengono asbesti in modeste quantità concentrati in fratture, anche se non si esclude che localmente possano essere presenti delle concentrazioni maggiori.



Figura 3 - Litofacies ruditica poligenica (FMp): evidenti le alternanze di areniti grossolane e ruditi a scarsa matrice e clasti pluricentimetrici.

I clasti hanno dimensioni medie tra 10 e 20 cm, ma eccezionalmente si possono trovare blocchi fino ad oltre 1 m di diametro. Localmente (es. Carrosio) la successione risulta maggiormente organizzata, con strati gradati di potenza metrica a base erosionale. Gli strati arenacei, di potenza centimetrico-decimetrica, sono costituiti da litareniti con lamine oblique a piccola scala e piano-parallele. Il contenuto fossilifero è rappresentato esclusivamente da frustoli vegetali per lo più carbonizzati.

L'unità ha una potenza minima osservata di 400 metri circa ed è riferibile al Rupeliano, per inquadramento con le altre unità.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00
	Foglio 14 di 38

Nel complesso la litofacies ruditica poligenica è costituita da depositi di ambiente di transizione continentale-marino, connessi ad un sistema fluviale poco sviluppato di tipo torrentizio-braided in prossimità del suo sbocco in un'area bacinale (depositi di fan-delta Auct.).

4.2.1c *Litofacies ruditica cementata a clasti calcarei dominanti (FMc)*

Conglomerati e brecce poligenici prevalentemente clast-supported, a matrice arenacea grigiastria fortemente cementata. I clasti, da centimetrici a metrici, sono costituiti soprattutto da litotipi calcarei e dolomitici, e subordinatamente da basalti e metaofioliti. La netta dominanza di clasti a composizione carbonatica è la principale causa della forte cementazione che caratterizza la litofacies. Gli elementi di maggiori dimensioni (max. 1-2 m) si trovano spesso concentrati ed allineati secondo la stratificazione principale, presentano una struttura clast-supported e sono probabilmente il risultato di un periodo più o meno prolungato di assenza di sedimentazione in cui la matrice più fine è stata allontanata per effetto dell'azione delle acque. In tutta la litofacies sono presenti livelli metrici di areniti grossolane microconglomeratiche, con laminazione piano-parallela (nei sedimenti più fini) e livelli di brecce calcaree ad elementi centimetrici.

L'unità ha una potenza minima osservata di 400 metri circa ed è riferibile al Rupeliano per inquadramento con le altre unità.

Da un punto di vista paleoambientale, ha un significato analogo a quello della litofacies ruditica poligenica (FMp), si tratta cioè di depositi riferibili ad un ambiente di transizione continentale-marino, fortemente dominato da apporti fluviali (depositi di fan-delta Auct.).

4.2.1d *Litofacies siltoso-pelitica (FMd)*

Marne argillose, marne siltose e areniti molto fini, micacee, di colore grigiastro, con frustoli e frammenti vegetali carbonificati. In affioramento presentano spesso una coltre di alterazione argillosa di colore giallastro-ocra con spessori di 1-2 metri.

L'unità è arealmente poco diffusa, è stata osservata nel settore compreso tra le località di sottovalle e Borlasca, dove raggiunge una potenza di 45-50 m circa; è riferibile al Rupeliano per inquadramento con le altre unità.

Nel complesso, l'assenza di strutture sedimentarie significative e l'abbondanza di resti vegetali suggerisce per questa litofacies una sedimentazione in ambiente marino prossimale/deltizio (parte distale di una piana fluviale?).

4.2.1e *Litofacies arenacea localmente fossilifera (FMa)*

Unità costituita da arenarie da grossolane a fini (Figura 4) localmente fossilifere, in strati decimetrico-metrici gradati e caratterizzati da fenomeni di cementazione differenziale; localmente sono presenti lamine oblique a basso angolo da tempesta (hummocky cross-stratification). Sono presenti, soprattutto nella parte inferiore della litofacies, intercalazioni centimetrico-decimetriche di conglomerati e microconglomerati ad elementi caratterizzati da un buon grado di arrotondamento e sfericità. Questi depositi sono intensamente bioturbati, con gallerie da bioturbazione di tipo Thalassinoides con diametro centimetrico.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 15 di 38

Localmente alla base dell'unità è presente un livello a grossi ciottoli e blocchi interpretabile come un lag basale legato alla trasgressione marina o a un intervallo di stasi della sedimentazione. Talora sulle superfici dei blocchi sono presenti briozoi e foraminiferi incrostanti.

L'unità ha una potenza non superiore a 50 metri circa.

Dove presente, l'associazione fossilifera è costituita da Nummulites fichteli, bivalvi (pectinidi e ostreidi), echinodermi, alghe corallinacee, briozoi, scafopodi e coralli individuali. La presenza di Nummulites fichteli permette di riferire l'unità al Rupeliano p.p..

La litofacies FMa è stata deposta in un ambiente di rampa interna-media con sedimentazione prevalentemente silicoclastica o mista, caratterizzata da eventi da tempesta e da episodici apporti fluviali (flussi iperpicnali) in un probabile contesto di shoreface/frontera deltizio di sistemi deposizionali di fan delta.

Questa litofacies è presente e comune nella maggior parte dei settori del BTP (es. Carrosio, Ovada) dove costituisce l'unità stratigraficamente più alta della formazione di Molare, rappresentando i primi depositi francamente marini dell'intero Bacino Terziario Piemontese. Nel settore oggetto d'indagine invece, questa litofacies compare a più livelli stratigrafici indicando che in queste aree a forte controllo strutturale, la sedimentazione è caratterizzata da più cicli trasgressivo-regressivi indotti probabilmente dalla tettonica.



Figura 4 - Torrente Lemme, in prossimità dell'abitato di Carrosio. Passaggio tra la litofacies arenacea FMa della formazione di Molare (in basso) alla soprastante formazione di Rigoroso.

4.2.2 *Formazione di Rigoroso*

La formazione di Rigoroso poggia, con un passaggio stratigrafico transizionale rapido (che si sviluppa entro pochi metri), sulla litofacies arenitica fossilifera (FMa) della formazione di Molare. La formazione di Rigoroso è stata suddivisa in due litofacies sovrapposte: marne siltose (mR) e marne

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 16 di 38

con livelli arenacei (fR); nel complesso si sviluppa con uno spessore di circa 400 m dando luogo ad un caratteristico paesaggio calanchivo.

4.2.2a *Marne siltose (mR)*

La litofacies marnosa è costituita, alla base, nei primi 10-20 m, in prossimità del passaggio alla sottostante formazione di Molare, da alternanze di siltiti micacee ed areniti fini bioturbate, dal caratteristico colore giallo-ocra, in strati decimetrico-metrici. Lo scarso contenuto fossilifero è rappresentato da bivalvi a guscio sottile, gasteropodi turricolati e abbondanti frustoli vegetali. Nel complesso questa parte basale può essere riferita ad un ambiente deposizionale di rampa esterna (offshore).

Al di sopra delle siltiti-areniti fini si trovano marne e marne siltose emipelagiche (Figura 5) di colore grigio con stratificazione mal definita e locali intercalazioni decimetriche di arenarie risedimentate. Localmente contengono anche livelli centimetrici biancastri vulcanico-sedimentari, a geometria lenticolare, caratterizzati da zeoliti di Bario (Tateo, 1992). Studi biostratigrafici condotti in prossimità della località di Sottovalle (d'Atri & Tateo, 1994) hanno messo in evidenza la presenza di un'associazione a nannofossili calcarei (tra cui *Sphenolithus distentus* e *S. ciperoensis*) che permettono di riferire l'unità alla parte alta del Rupeliano.

La litofacies, in prossimità dell'area d'intervento raggiunge una potenza di circa 250 metri.



Figura 5 - Vista del settore a Nord della località di Sottovalle. In primo piano la litofacies marnosa (mR) con aspetto calanchivo, lungo il versante sono inoltre evidenti i livelli arenacei della litofacies fR della formazione di Rigoroso. La sommità del rilievo è invece costituita dalla Formazione di Costa Montada.

Il passaggio alla soprastante litofacies marnosa con livelli arenacei (fR) avviene in modo transizionale e come limite cartografico è stato utilizzato il punto in cui compare il primo livello arenaceo. Trattandosi di corpi risedimentati in un bacino dalla morfologia abbastanza irregolare, è tuttavia possibile che questo limite occupi una posizione stratigrafica differente, spostandosi

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 17 di 38

lateralmente lungo strato e che venga cioè a trovarsi alcuni metri più in alto o più in basso nella successione rispetto a quanto indicato nel profilo.

4.2.2b *Marne con livelli arenacei (fR)*

Nella parte intermedia ed alta della formazione di Rigoroso, intercalati alle marne e marne siltose sono presenti strati a geometria lenticolare di arenarie medio-grossolane, in strati decimetrici, gradati, intensamente bioturbati (ichnogeneri *Thalassinoides* e *Chondrites*) e ben cementati. Nel complesso gli strati arenacei hanno spessori variabili da pochi cm a 5-10 metri circa e mostrano una continuità laterale dell'ordine di centinaia di metri. Dove i livelli arenacei sono presenti, si può tentativamente stimare un rapporto arenaria/marna+pelite <1.

La potenza complessiva della litofacies è di circa 150 m.

In letteratura la litofacies è stata interpretata come depositi torbiditici di scarpata (Ghibaudo et. al, 1985), oppure come depositi risedimentati in un ambiente di shoreface/frontera deltizio collegato a sistemi deposizionali di fan delta (Mutti et al., 1995). Le osservazioni a carattere stratigrafico-sedimentologico effettuate in fase di Progetto Esecutivo, nonché l'assetto paleogeografico e paleoambientale dell'area suggeriscono che l'interpretazione avanzata da Mutti et al. (1995) sia probabilmente più in linea con i dati di terreno riscontrati rispetto a quella proposta da Ghibaudo et. al (1985).

4.2.3 *Formazione di Costa Montada*

La formazione di Costa Montada è stata suddivisa in tre litofacies sovrapposte, da basso stratigrafico verso l'alto si trovano: marne e marne silicizzate (uMa), areniti (uMb) e alternanze di marne e areniti (uMc).

4.2.3a *Marne e marne silicizzate (uMa)*

L'unità è costituita da marne e marne siltose silicizzate, fittamente laminate, a stratificazione sottile, con caratteristica patina di alterazione bruno-rossastra. Si intercalano livelli centimetrico-decimetrici di arenarie risedimentate, con resti vegetali, gradate e talora con lamine piano parallele. Nelle porzioni maggiormente silicizzate, sono presenti livelli a liste e noduli di selce nera-bruna dello spessore di 30-40 cm. Il contenuto fossilifero è costituito da pteropodi, radiolari, spicole di spugna e bivalvi a guscio sottile.

Localmente, all'interno delle marne si trovano livelli a conglomerati matrix-supported con clasti ben arrotondati di metabasiti, gneiss, quarzo, litareniti, calcareniti ed encriniti.

Nel complesso la potenza dell'unità è compresa tra 15 e 90 m, ed in prossimità dell'opera raggiungono i 50 m circa.

Depositi biogenici silicei analoghi a questi sono tipici di ambienti di scarpata in zone ad alta produttività risultanti da upwelling di acque fredde e ricche di nutrienti che favoriscono lo sviluppo di organismi a guscio siliceo. Successioni sedimentarie corrispondenti sia come composizione, sia come età alla litofacies siliceo-marnosa sono presenti in tutto il Bacino Terziario Piemontese (Marne

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 18 di 38

a Pteropodi inferiori, Dela Pierre et al. 2003; Festa et al., 2009; membro di C. Colombara, Galbiati, 1977) e nell'Appennino settentrionale (Tripoli di Contignaco o litozona silicea, Amorosi et al, 1995).

La litofacies uMa, per confronto con le analoghe unità del BTP può essere riferita all'Aquitaniiano-Burdigaliano inferiore.

NOTA: in fase di Progetto Definitivo questa unità è stata indicata come un "deposito di frana sottomarina", con contatto erosionale netto e chiusura laterale immediatamente ad ovest del tracciato di progetto. L'implementazione delle indagini in fase esecutiva ha messo in evidenza che tale unità è presente e continua in tutta l'area d'interesse (e nell'intero BTP); inoltre, pur non escludendo l'eventualità che all'interno della litofacies siliceo-marnosa siano presenti localizzate frane sottomarine, non sono state rilevate indicazioni sedimentologico-stratigrafiche certe che indichino la presenza di questi fenomeni.

4.2.3b Areniti (uMb)

La litofacies arenitica è costituita da arenarie medio-grossolane in strati decimetrico-metrici, gradati e laminati. Il contatto con la sottostanti marne silicizzate è netto ed erosionale. Formano una successione di arenarie massicce, ben cementate, che in prossimità del tracciato raggiungono una potenza di 55 metri circa.

Soprattutto alla base dell'unità, dove localmente si trovano anche livelli conglomeratici e microconglomeratici contenenti abbondanti frammenti delle marne silicizzate sottostanti, è presente una ricca associazione fossilifera rappresentata da rodoliti, coralli singoli, briozoi, gasteropodi, ostreidi, pectinidi, serpulidi ed altri frammenti di macrofossili non determinabili.

L'associazione fossilifera è scarsa, solo localmente si trovano livelli centimetrici ricchi in macroforaminiferi, soprattutto Miogypsinagunteri e M. socini (cf. "Livello arenaceo a Miogypsine" di Boni & Casnedi 1970) che nel complesso permettono di riferire questa unità al Burdigaliano.

Le caratteristiche sedimentologico-stratigrafiche suggeriscono che le areniti (uMb) della formazione di Costa Montada costituiscono un corpo risedimentato in un ambiente di scarpata.

4.2.3c Alternanze di marne e areniti (uMc)

La litofacies è costituita da alternanze di arenarie fini e molto fini torbiditiche in strati decimetrici e peliti in strati centimetrico-metrici, con rapporto arenaria/pelite < 1. Gli strati arenacei, con base netta ed erosionale, sono gradati e laminati. Gli interstrati marnosi dal caratteristico colore biancastro, si presentano invece intensamente bioturbati.

Questi sedimenti formano una successione per lo più arenacea, poco cementata, caratterizzata da strati spessi da pochi cm ad alcuni dm, con una tendenza thinning and fining upward (strati arenacei sempre più sottili e fini verso il tetto della successione) indicando un progressivo approfondimento dell'ambiente deposizionale. Nel complesso costituiscono una successione potente 65 m circa, in prossimità dell'opera.

Questa unità, facilmente riconoscibile sul terreno, risulta particolarmente significativa per quanto riguarda l'evoluzione tettonico-sedimentaria regionale perché corrisponde ad un momento di

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 19 di 38

riorganizzazione del bacino che causa una notevole variazione nella composizione degli apporti terrigeni (Gelati 1967; 1968).

4.2.4 *Formazione di Costa Areaa*

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

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

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

La formazione è stata deposta in un ambiente di piana sottomarina, mentre la parte superiore, essenzialmente pelitica, potrebbe rappresentare un ambiente di scarpata non attiva (Ghibauda 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 Areaa, 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 (XA301V001, XA301G032 e XA301G033).

4.2.4a *Areniti medie e fini (fCa)*

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

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

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 20 di 38

I sondaggi al momento disponibili nel settore delle WBS GN15T, GN15U, GN15V e GN15W sono i seguenti, da nord a sud:

- AA301G031 / BH27bisPZ (PP)
- AA301G030 / BH26bisPZ (PP)
- AA301G029 / BH25bisPZ (PP)
- SA301G028 / BH25 (PP)
- AA301G055 (PP)
- SR16 (PD)

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 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.

Le tre prove Lugeon eseguite negli intervalli 16÷20 m, 21÷25 m e 30÷35 m 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 27+120 ca.

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

Unità attraversata: formazione di Costa Aresa.

- 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. 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00
	Foglio 21 di 38

5.1.3 AA301G029 / BH25bisPZ

Località: C. Lo Casale, 26 m a ENE dell'asse di linea, PK 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. 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 probabile 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 25+800 ca.

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 sono state interrotte per il mancato assorbimento di acqua da parte della roccia ; l'ammasso marnoso risulta quindi caratterizzato da bassissima permeabilità.

5.1.5 AA301G055

Località: Sottovalle (Gavi), 70 m a ESE dell'asse di linea, PK 23+260 ca.

Anno: 2002; lunghezza: n.d., interamente carotato.

Unità attraversata: formazione di Molare, litofacies ruditeca poligenica parzialmente cementata (FMp).

Le fotografie delle casse carote non sono disponibili.

Il sondaggio, dopo un primo orizzonte superficiale costituito da sabbia grigia con frammenti di materiale di riporto e livelli centimetrici di limo sabbioso marrone, attraversa una successione di

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00
	Foglio 22 di 38

conglomerati poligenici cementati con matrice fine, siltoso-arenacea, a grossi clasti da subangolari a subarrotondati di serpentinite (\varnothing max. 40-50 cm). Roccia compatta, a brevi tratti moderatamente alterata. Si alternano livelli con clasti di dimensioni max. 3-4 cm e livelli a clasti decimetrici o pluridecimetrici. Sono presenti concrezioni calcaree millimetriche.

Delle cinque prove Lugeon eseguite negli intervalli 25.5÷30 m, 35.5÷37 m, 50÷54 m, 57÷62 m e 65÷67 m, solo la n° 1 (25.5÷30 m) è stata interrotta per mancanza di assorbimento. L'interpretazione dei risultati delle altre prove ha fornito valori di permeabilità variabili tra 1,6E-8 e 6,2E-8 m/s. L'ammasso roccioso testato, in condizioni di normale fratturazione, presenta pertanto un grado di permeabilità Medio-Basso.

5.2 Sondaggi del Progetto Definitivo

La tratta considerata nel presente rapporto è interessata da un unico sondaggio eseguito nella fase di Progetto Definitivo, l'SR16.

5.2.1 SR16

Località: Sottovalle (Gavi), 225 m a WNW dell'asse di linea, PK 22+470 ca.

Anno: 2004; lunghezza: 130 m, interamente carotato.

Unità attraversata: formazione di Molare, litofacies ruditica poligenica parzialmente cementata (FMp).

- da 0 a 130 m (fondo foro): alternanze continue di livelli conglomeratici grossolani a matrice arenacea, di potenza da plurimetrica a pluridecametrica e livelli decimetrico-metrici di arenarie grossolane, localmente con microconglomerati, arenarie fini e rari livelli marnosi; i principali livelli arenacei si localizzano alle profondità di 12.4÷14.3 m, 32.2÷34.7 m, 77.8÷79.9 m e 96.5÷101.3 m.

Sono state eseguite 11 prove Lugeon, localizzate come indicato di seguito, insieme al valore di permeabilità derivante dall'interpretazione dei risultati:

- | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| - prova n° 1: 26÷31 m – 1,6E-8 | - prova n° 5: 67.4÷72.4 m – 1,3E-8 | - prova n° 9: 107.9÷112.9 m – 2,1E-8 |
| - prova n° 2: 37÷42 m – 1,7E-8 | - prova n° 6: 77.9÷82.9 m – 8,7E-9 | - prova n° 10: 113.9÷118.9 m – 1,7E-8 |
| - prova n° 3: 46.7÷51.7 m – 1,9E-8 | - prova n° 7: 86.2÷91.2 m – 1,8E-8 | - prova n° 11: 125÷130 m – 1,1E-8 |

L'insieme dei risultati indica per le litofacies FMp e FMa una permeabilità bassa, nell'ordine di 1-2E-08 m/s.

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

6.1 Complessi idrogeologici

In fase di PD, 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.

La permeabilità degli ammassi rocciosi è molto spesso anisotropa e il flusso avviene preferenzialmente lungo discontinuità più o meno diffuse al loro interno. A causa del carattere anisotropo della permeabilità in molti litotipi, si è scelto di fare riferimento al concetto di "permeabilità equivalente", che risulta più appropriato; la permeabilità equivalente è un tensore, del quale per la classificazione è stato considerato il valore maggiore.

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

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

Tabella 2 - Descrizione della permeabilità secondo le norme AFTES (N.B.: la classificazione non è valida per le rocce carsiche, per le quali è necessaria una valutazione specifica).

L'attribuzione del grado di permeabilità ad ogni complesso idrogeologico attraversato dal tracciato di progetto è basata sui dati di permeabilità misurati nei sondaggi e disponibili in letteratura. Laddove non fossero disponibili valori misurati, la stima della permeabilità è stata effettuata da osservazioni di terreno e per analogia con formazioni 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.

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 permeabilità, espressi in Unità Lugeon e in m/s, sono stati dedotti dall'interpretazione delle prove di pompaggio.

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

I risultati delle prove attribuiscono alla stragrande maggioranza delle formazioni affioranti nel territorio in esame, una conducibilità idraulica da media a bassa con valori di permeabilità compresi tra 10^{-5} e 10^{-9} m/s.

La successiva Tabella 3 riporta una sintesi dei risultati dei test Lugeon eseguiti nella campagna di indagini geognostiche del progetto preliminare (2001-2002).

Sondaggio	Unità	Test di permeabilità Lugeon con valore di K da interpretazione				
		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-9	2,4E-8	-	-
AA301G029	Costa Areasa	9.5÷12.6	14÷19	31.7÷36	-	-
		2,3E-6	n.a.	n.a.	-	-
SA301G028	Costa Areasa	36÷40	45÷49	53÷56.85	62÷66	-
		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-
AA301G055	Molare	25.5÷30	35.5÷37	50÷54	57÷62	65÷67
		n.a.	3,9E-8	1,6E-8	3,0E-8	6,2E-8

n.a.: nessun assorbimento

Tabella 3 – Riepilogo dei test di permeabilità Lugeon eseguiti nei fori di sondaggio della fase di Progetto preliminare (2001-2002).

6.1.1 Formazione di Molare

6.1.1a Litofacies brecciosa (FMbc)

Nella litofacies brecciosa (FMbc) è possibile che sussista una permeabilità per porosità nei livelli meno cementati, in cui la presenza di matrice limosa costituisce tuttavia un fattore di riduzione della permeabilità, che in definitiva è piuttosto bassa.

La presenza di livelli a matrice ghiaioso-sabbiosa con scarsa frazione limosa fa ipotizzare che vi siano comunque orizzonti con grado di permeabilità relativamente più elevato.

Nei livelli più cementati è ipotizzabile una circolazione limitata lungo giunti e zone di fratturazione associate alle faglie.

6.1.1b Litofacies ruditica poligenica parzialmente cementata (FMp),

All'interno della litofacies ruditica poligenica parzialmente cementata (FMp) la distribuzione della permeabilità è poco conosciuta; è possibile che sussista una permeabilità per porosità nei livelli meno cementati, dove però la presenza di matrice limosa costituisce un elemento di riduzione della permeabilità, che in definitiva risulta piuttosto scarsa.

Infatti, le prove di permeabilità realizzate nei sondaggi AA301G115 (località Albergo dei Frati, intorno alla PK 20+850, a sud della tratta presa in considerazione nel presente rapporto) e AA301G055 (località Sottovalle) indicano per la litofacies FMp una permeabilità bassa (1E-08 m/s).

In affioramento si osservano localmente dei livelli in cui la matrice predominante è di tipo ghiaioso-sabbioso con scarsa frazione limosa, con grado di permeabilità relativamente più elevato.

Nei livelli fini più cementati è ipotizzabile una circolazione limitata lungo giunti e zone di fratturazione associate alle faglie mentre l'osservazione in affioramento di livelli poco cementati con scarsa matrice fa supporre variazioni della permeabilità verso termini mediamente più elevati, localizzati

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 25 di 38

principalmente nelle porzioni superficiali dell'ammasso, dove l'effetto della minore cementazione si sovrappone altresì all'alterazione superficiale

6.1.1c *Litofacies ruditica cementata a clasti calcarei dominanti (FMc)*

All'interno di questa litofacies sono stati ipotizzati sistemi di flusso impostati in maggior parte lungo da faglie, giunti e canali di fratturazione costituiti dall'insieme di più giunti o tratti di discontinuità, talvolta coniogati, con permeabilità per fratturazione medio-alta. Per la matrice rocciosa cementata è ipotizzabile un grado di permeabilità medio-basso, simile a quello descritto per la litofacies parzialmente cementata.

6.1.1a *Litofacies siltoso-pelitica (FMs)*

La composizione prevalentemente marnosa e marnoso-siltosa, con areniti molto fini, determina in generale una permeabilità da bassa a molto bassa. Questa litofacies non è attraversata dalla galleria di linea in corrispondenza delle WBS oggetto del presente rapporto.

6.1.1b *Litofacies arenacea localmente fossilifera (Fma)*

Questo membro è permeabile per porosità, nei livelli sabbiosi meno cementati e per fratturazione, nei livelli più cementati. Tuttavia, sia la porosità sia la fratturazione sono mediamente piuttosto scarse, a causa della presenza di matrice fine. Quindi complessivamente è possibile ipotizzare che la permeabilità risulti medio-bassa. Inoltre questi depositi sono sempre piuttosto sottili e presentano una distribuzione tridimensionale lenticolare, che limita la loro continuità laterale. Tale litofacies può essere accorpata dal punto di vista idrogeologico alla FMp, rispetto alla quale presenta continuità stratigrafica (verso l'alto nella zona interessata dalle WBS oggetto del presente rapporto).

Questa litofacies non è attraversata dalla galleria di linea in corrispondenza delle WBS oggetto del presente rapporto.

6.1.2 *Formazione di Rigoroso – litofacies marnosa (mR)*

Il grado di permeabilità ipotizzato per la formazione di Rigoroso da basso a molto basso lungo tutta la tratta interessata da questa formazione. Sono disponibili dati di permeabilità derivanti dal sondaggio AA301A019 del progetto preliminare, che indicano valori variabili intorno a $1E-7$. Il valore di permeabilità medio-bassa rilevabile da tali prove è probabilmente legato alle caratteristiche strutturali delle marne, spesso caratterizzate da un fortissimo clivaggio di fratturazione distribuito lungo piani di taglio a basso angolo, generalmente subparalleli alla stratificazione. In base anche alle osservazioni di terreno, per la generalità del litotipo marnoso meno interessato dai clivaggi di fratturazione si è definito un grado di permeabilità più basso, considerando i valori dati dalle prove citate contenuti nel campo di possibile variabilità della permeabilità per fratturazione.

In relazione a quanto sopra nelle marne di Rigoroso è ipotizzabile una scarsa circolazione idrica, limitata alle fasce caratterizzate dai clivaggi di fratturazione, lungo le faglie principali ed eventualmente lungo gli interstrati arenitici della litozona fR.

6.1.3 Formazione di Costa Areea litofacies torbiditica (fC), formazione di Costa Montada – litofacies marnosa silicizzata e torbiditica (uMb/c), formazione di Rigoroso – marne siltose con strati arenitici (fR).

In Figura 6 è riportata la distribuzione dei valori di permeabilità derivati dai dati del Progetto Preliminare per la formazione di Costa Areea, litofacies Torbiditica. Non sono disponibili dati di prove di permeabilità per la Formazione di Costa Montada, ma visto il carattere simile alla litozona torbiditica della Costa Areea, le suddette unità litologiche sono state accorpate a quest'ultima per quanto riguarda il grado e tipo di permeabilità.

Data la diffusa presenza di livelli pelitici a granulometria fine nelle formazioni marnose e marnoso-arenacee presenti in questa tratta, si è attribuito un grado di permeabilità basso o molto basso per tutta la lunghezza interessata. I dati forniti dal Progetto Preliminare indicano per i terreni attribuibili alla formazione di Costa Areea, una permeabilità media di $1E-08$ m/s (cfr. anche Tabella 2) con alcuni valori spostati verso termini più permeabili (permeabilità da molto bassa a medio-bassa secondo la classificazione AFTES). Il tipo di permeabilità è quello di formazioni fratturate, soprattutto nei livelli più cementati in cui si è osservata una diffusione di fratture e clivaggi da dissoluzione. Tuttavia in generale le fratture sono poco aperte e per lo più colmate da riempimenti fini, con conseguente bassa permeabilità; le caratteristiche reologiche dell'ammasso roccioso non consentono la propagazione di estesi campi di fratture, quindi anche il grado di interconnessione idraulica tra discontinuità è fortemente ridotto.

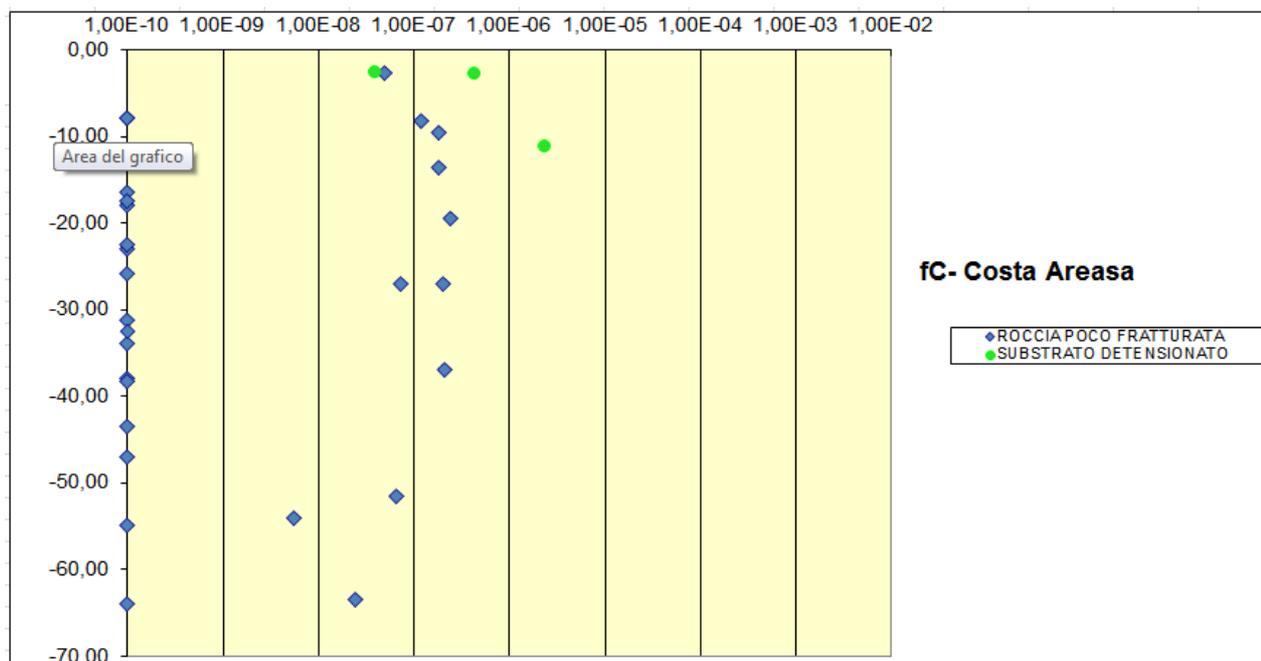


Figura 6 - Distribuzione dei valori di permeabilità ottenuti da prove in foro per la formazione di Costa Areea (fCa), secondo la profondità (i valori pari a $1E-10$ sono stati attribuiti indicativamente alle prove con assorbimento nullo, per significare che l'ammasso roccioso ha permeabilità bassissima, comunque inquadrabile nella classe AFTES minore, con $K < 1E-8$).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00
	Foglio 27 di 38

6.1.4 *Formazione di Costa Montada – litofacies arenitica (uMa), formazione di Costa Areaa litofacies arenitica con interstrati (fCa)*

Non sono disponibili dati di prove di permeabilità dalle indagini delle fasi di progettazione precedente, che non sono state realizzate entro queste unità geologiche.

Pertanto, sulla base delle caratteristiche litologiche e strutturali che prevedono delle areniti mediamente grossolane o medie, per l'unità uMa e areniti fini mediamente cementate per l'unità Umb, con grado di fratturazione da medio (uMa) a basso (fCa) e presenza di interstrati pelitici decimetrici (fCa), al complesso è stato attribuito un grado di permeabilità stimato medio-basso (valore di K mediamente pari a 1E-7), e possibilità di incremento fino a 1E-5 in corrispondenza delle zone di faglia.

7 PROBLEMATICHE GEOLOGICHE A QUOTA GALLERIA

7.1 WBS GN15V – PK 24+297÷25+981,51

7.1.1 *Condizioni geologiche attese in corrispondenza dell'opera*

La geologia di questo tratto di opera è caratterizzata dalle unità sedimentarie del BTP di età rupeliano-langhiana. A partire dalla progressiva 24+297 si succedono le formazioni di Rigoroso, di Costa Montada e di Costa Areaa. La suddivisione delle varie formazioni in unità di rango inferiore è stata realizzata ai fini dello scavo della galleria, per evidenziare le variazioni granulometriche e geometriche degli strati delle varie unità. 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 realizzati per il settore di interesse, nelle fasi Preliminare e Definitiva del progetto (BH24PZ e SA301G028), sono in generale congruenti con quanto riscontrato sul terreno anche se interessano esclusivamente la formazione di Costa Areaa.

La presumibile distribuzione delle diverse litofacies lungo il tratto di galleria considerato è la seguente:

- da PK 24+297 a PK 24+360 circa: litofacies marnosa della formazione di Rigoroso (mR), costituita da marne e marne siltose con locali livelli decimetrici arenitici fini e raramente vulcanoclastici.
- Da PK 24+360 a PK 24+760 circa: litofacies marnosa della formazione di Rigoroso.
- Da PK 24+760 a PK 25+090 circa: marne con livelli di arenarie medio-grossolane, in strati decimetrici, gradati, intensamente bioturbati della formazione di Rigoroso (fR).
- Da PK 25+090 a PK 25+270 circa: marne e marne silicizzate (uMa) della formazione di Costa Montada, con locali intervalli con molte liste e noduli di selce e livelli di arenarie risedimentate.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 28 di 38

- Da PK 25+270 a PK 25+450 circa: areniti (uMb) della formazione di Costa Montada. Si tratta di arenarie medio-grossolane in strati decimetrico-metrici, gradati e laminati. Localmente presentano un intervallo basale ruditico-conglomeratico, talora fossilifero.
- Da PK 25+450 a PK 26+600 circa: alternanze di marne e areniti (uMc) della formazione di Costa Montada. Alternanze di arenarie fini e molto fini torbiditiche in strati decimetrici e peliti in strati centimetrico-metrici, con rapporto arenaria/pelite < 1.
- Da PK 25+450 a 26+600 circa: areniti medie e fini (fCa), da mediamente a ben cementate, in strati decimetrico-metrici interamente laminati, della formazione di Costa Areasa, passanti verso l'alto stratigrafico alla formazione di Costa Areasa s.s. (fC), costituita da alternanze di strati arenaceo-pelitici, torbiditici e livelli di emipelagiti con rapporto arenaria/pelite < 1.

7.1.2 Presenza di faglie

Il profilo geologico del Progetto Esecutivo riporta alcune faglie ad alto angolo, proiettate dalla superficie con giacitura subverticale. Nelle altre formazioni è possibile la presenza di faglie principali e secondarie con spessore centimetrico–decimetrico, ma con densità al momento non definibile.

In fase di Progetto Definitivo, nel profilo geologico, sono state rappresentate alcune strutture/piani a basso angolo con rigetto non valutabile, all'interno della formazione di Rigoroso. Nel corso delle verifiche di terreno della fase di Progetto Esecutivo, queste strutture a basso angolo sono state osservate e caratterizzate ulteriormente anche se non si è ritenuto opportuno indicarle nel profilo in quanto il loro andamento risulta troppo discontinuo per poterlo collocare geometricamente, seppure in modo indicativo.

Le fasce di taglio osservate hanno andamento subparallelo alla stratificazione, immergono verso nord, ed hanno una potenza minima apparente di 70–80 metri. All'interno della zona di taglio le superfici di stratificazione sono completamente obliterate; si osserva una ripetizione di superfici di movimento principali e associate, che separano settori in cui si sviluppa un pervasivo clivaggio di dissoluzione a spaziatura millimetrico-centimetrica, deformato e trascinato lungo i piani di movimento. Il grado di fratturazione della roccia all'interno di queste zone di taglio è estremamente elevato e qualora una o più di esse dovessero essere intercettate dall'opera, potrebbero causare un notevole decadimento della qualità geotecnica dell'ammasso roccioso.

7.1.2a 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 e di clivaggi di fratturazione pervasivi nei livelli marnosi meno cementati.

Per quanto riguarda la valutazione qualitativa del grado di stabilità del fronte di scavo, in accordo con il Progetto Definitivo, sono state stimate in generale condizioni di stabilità a breve termine per tutte la successione sedimentaria attraversata.

7.1.3 Condizioni idrogeologiche attese in corrispondenza dell'opera

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00
	Foglio 29 di 38

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici, data la ridotta permeabilità dei litotipi da attraversare, non si dovrebbero verificare criticità particolari. Locali manifestazioni idriche, rappresentate da limitate venute puntuali concentrate e stillicidi potrebbero verificarsi in corrispondenza dell'attraversamento delle formazioni a carattere arenitico (le areniti uMb della formazione di Costa Montada, e la litofacies fCa della formazione di Costa Areaa), dove il grado di permeabilità dell'ammasso roccioso è maggiore rispetto alle altre unità prevalentemente pelitico – marnose con interstrati arenitici cui sono alternate. In particolare le manifestazioni idriche, comunque di entità da ridotta a moderata, si potranno verificare al letto delle litofacies arenitiche, dove queste sono tamponate dai sottostanti litotipi meno permeabili. All'interno della litofacies arenitica della formazione di Costa Areaa, potranno verificarsi manifestazioni idriche costituite da moderate o ridotte venute puntuali anche a livello degli interstrati pelitici che compartimentano la circolazione idrica lungo strato.

A questo tipo di flusso idrogeologico sembra possa essere connessa una sorgente localizzata nella valle di Pratulungo Superiore e posta a meno di 200 m dalla verticale del tracciato (punto d'acqua SGA01 - sorgente Canaen). Per tale punto d'acqua è stato stimato un grado di pericolosità di isterilimento medio in relazione al possibile drenaggio del flusso idrico che lo alimenta durante lo scavo della tratta interessata dalla litofacies fCa, proiettata a quota galleria tra le pk 25+450 e 25+600 circa.

Nelle litofacies meno permeabili saranno possibili sporadiche ridotte venute d'acqua corrispondenza dell'attraversamento di una faglia principale (pk 24+450 circa) all'interno della litofacies torbiditica della Formazione di Rigoroso (fR) oltre che nell'attraversamento di un'ulteriore faglia principale proiettata all'interno della litofacies marnosa silicizzata (uMa). Stillicidi da deboli a moderati si potranno infine verificare nella stessa facies torbiditica (fR), in corrispondenza degli interstrati arenitici, ed all'interno della litofacies silicizzata della formazione di Costa Montada (uMa). Queste ultime formazioni non rappresentano in ogni caso degli acquiferi significativi.

Il carico idraulico per la tratta in questione, sulla base di condizioni morfologiche ed in base all'andamento dell'idrografia superficiale, è stato stimato superiore a 50 m da inizio WBS fino a pk 25+350 circa e da pk 25+550 circa fino a fine WBS, nella tratta intermedia (pk 25+350 – 25+550), anche sulla base della proiezione sul tracciato dell'opera della quota della sorgente SGA01, è stato stimato un carico idraulico compreso tra 30 e 50 m.

7.1.4 Sintesi delle problematiche di scavo

Le problematiche di scavo saranno legate essenzialmente alle condizioni di instabilità e di stabilità a breve termine valutate per i litotipi marnosi deformati e per le alternanze marne-arenarie.

Dal punto di vista idrogeologico le problematiche saranno legate alle limitate manifestazioni idriche ipotizzate nel paragrafo precedente ed in particolare al possibile impatto su una sorgente prossima al tracciato della galleria.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 30 di 38

8 ASPETTI CORRELATI ALLA GEOMORFOLOGIA E ALLA GEOLOGIA DEL QUATERNARIO

Data la posizione dell'opera prevista, che si colloca a diverse decine di metri al di sotto del piano campagna, l'influenza di fenomeni geomorfologici superficiali e della presenza di formazioni quaternarie è da ritenersi di scarsa rilevanza.

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.

9 CENNI SULLA SISMICITÀ DELL'AREA

9.1 Dati disponibili

Il tracciato della nuova linea AV/AC Milano-Genova si sviluppa attraverso il territorio delle regioni Piemonte e Liguria. A livello bibliografico, per caratterizzare dal punto di vista generale la sismicità regionale, sono facilmente reperibili online le seguenti informazioni di base:

- carta della sismicità in Italia, prodotta dal Centro Nazionale Terremoti dell'INGV;
- mappa della pericolosità sismica di riferimento, prodotta dall'INGV per l'intero territorio nazionale e relativa alla nuova classificazione sismica dei comuni italiani;
- nuova mappa della classificazione sismica dei comuni italiani aggiornata al 2010.

A livello normativo, l'OPCM n° 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" ("nuova classificazione sismica" in Tabella 4) ha ridefinito la classificazione sismica del territorio italiano proposta dal D.M. 14 luglio 1984 e s.m.i ("vecchia classificazione sismica" in Tabella 4).

La Regione Liguria ha fatto propria la classificazione di cui all'OPCM 3274, con alcune modifiche, attraverso l'adozione del D.G.R. 24/10/2008 n° 1308 "Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Liguria".

La Regione Piemonte ha a sua volta adeguato la classificazione sismica del proprio territorio con l'adozione della D.G.R. n° 11-13058 del 19/01/2010, entrata in vigore con la D.G.R. n° 4-3084 del 12/12/2011.

9.2 Caratteri generali della sismicità regionale

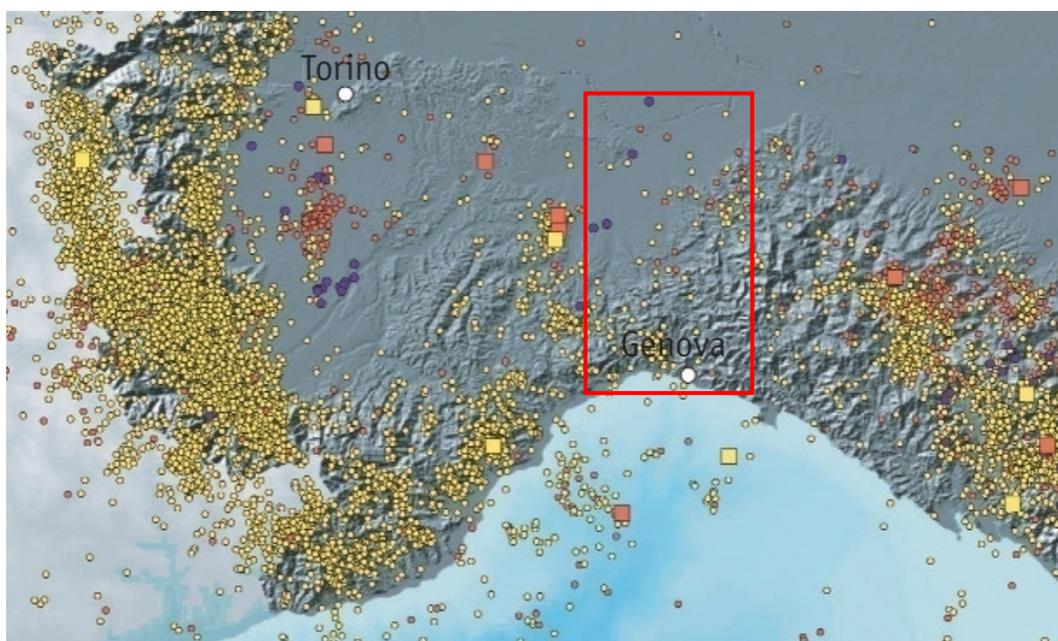
GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 31 di 38

Il regime geodinamico attuale della catena alpina occidentale determina un'attività sismica di intensità generalmente modesta, rilevabile in gran parte solo a livello strumentale, ma legata a eventi ricorrenti con una frequenza piuttosto significativa.

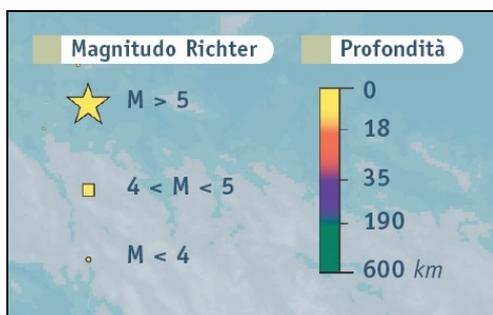
Gli epicentri si concentrano lungo l'arco alpino seguendo due direttrici principali, corrispondenti rispettivamente al margine interno della catena (limite fra le unità pennidiche e la pianura padana) e all'allineamento dei massicci cristallini esterni (fronte pennidico).

Fra queste due zone e, in particolare, nel settore compreso tra Savona e La Spezia, è presente una fascia a frequenza sismica molto bassa, in cui ricade il settore interessato dal progetto della galleria di valico della linea AV/AC Milano-Genova (Figura 7). Questo canale a bassa frequenza dei sismi si traduce in una corrispondente fascia a più bassa pericolosità sismica, di direzione approssimativamente N-S, delineata nella mappa del territorio nazionale (Figura 8). La mappa stima l'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido e pianeggiante $a(g)$; tale parametro rappresenta l'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido e pianeggiante che, in un intervallo di tempo di 50 anni, ha una probabilità del 10% di superare il valore indicato (cfr. scala colore), per effetto di sismi di intensità maggiore rispetto a quelli considerati per la classificazione del territorio.

A livello locale, una mappa più dettagliata di $a(g)$ è consultabile sul sito dell'istituto all'indirizzo "<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>" (Figura 9). Dall'analisi delle mappe si può in definitiva osservare che l'area interessata dal tracciato della tratta di valico della Linea AC/AV Milano-Genova presenta valori di $a(g)$ compresi tra 0,050 nel settore genovese e 0,100 g nel settore di spartiacque e piemontese.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5102ECVROGN15V0001A00 Foglio 32 di 38



**Figura 7 – Stralcio della Carta della sismicità
in Italia tratta dal sito dell'INGV:
<http://csi.rm.ingv.it/>**

Il rettangolo rosso individua l'area di progetto.

9.3 Classificazione sismica dell'area di progetto

Sulla base della classificazione sismica dei comuni italiani contenuta entro l'Allegato 1 dell'OPCM n°3274 del 20/3/2003, con le rispettive delibere n°13058-790 del 19/1/2010 e n°1308 del 24/10/2008, le regioni Piemonte e Liguria hanno recepito le indicazioni contenute entro l'ordinanza ministeriale mediante le già citate D.G.R. 24/10/2008 n° 1308 (Regione Liguria) e 19/01/2010 n° 11-13058 (Regione Piemonte).

La seguente Tabella 4 riporta la classificazione sismica dei diversi comuni interessati dal progetto AC/AV Milano-Genova, in base alle normative sopra citate; tale classificazione fa riferimento ai valori di accelerazione sismica $a(g)$ con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, visualizzati graficamente in Figura 8 e Figura 9 così definiti:

- Zona 1: $a(g) > 0.25 g$
- Zona 2: $0.15 g < a(g) \leq 0.25 g$
- Zona 3: $0.05 g < a(g) \leq 0.15 g$
- Zona 4: $a(g) \leq 0.05 g$

Regione	Comune	vecchia classificazione sismica	nuova classificazione sismica	D.G.R. Liguria 24/10/2008	D.G.R. Piemonte 19/01/2010
Piemonte	Arquata Scrivia	4	3		3
	Fraconalto	4	3		3
	Gavi	4	3		3
	Novi Ligure	4	4		3
	Pozzolo Formigaro	4	3		3
	Serravalle Scrivia	4	3		3
	Voltaggio	4	3		3
Liguria	Campomorone	4	4	3b	
	Ceranesi	4	4	3b	
	Genova	4	4	3b	
	Mignanego	4	4	3b	
	Ronco Scrivia	4	3	3b	

Tabella 4 - Elenco dei comuni interessati dal tracciato con indicazione del rischio sismico secondo la normativa nazionale e regionale.

Dalla Tabella 4 si osserva in generale un approccio più cautelativo nelle normative regionali rispetto alla classificazione nazionale, con il passaggio di alcuni comuni dalla zona 4 alla zona 3. I Comuni di Gavi e Arquata Scrivia, dove si localizzano le opere in progetto, ricadono in classe 3 ($0.05 g < a(g) \leq 0.15 g$).

9.4 Stima delle proprietà sismiche dei terreni interessati dal progetto

L'area studiata è caratterizzata dalla presenza di un substrato roccioso costituito da conglomerati (formazione di Molare), marne, litofacies torbiditiche pelitico-arenitiche e più frnacemente arenitiche (Formazioni di Rigoroso, Costa Montada e Costa Areaasa). Nella successione litostratigrafica sono assenti livelli altamente compressibili e/o potenzialmente soggetti a liquefazione; l'ammasso roccioso, generalmente degradato per alcuni metri dalla superficie, è da considerare essenzialmente sano e poco fratturato alla quota interessata dallo scavo. Dato il quadro litostratigrafico generale, non è ipotizzabile la presenza di orizzonti di inversione della velocità sismica e non si ipotizzano quindi particolari interazioni tra le opere e specifici livelli stratigrafici o strutturali.

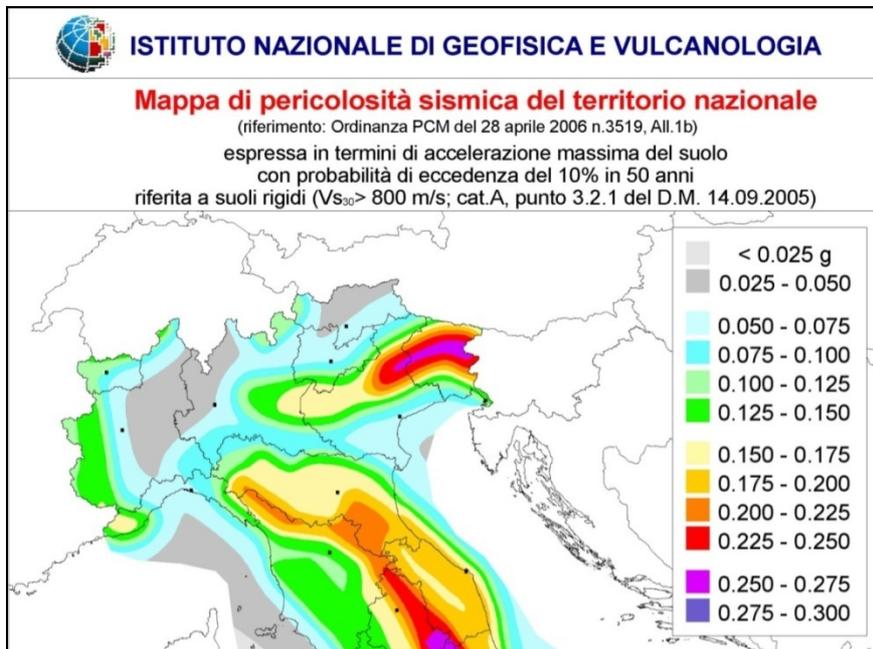


Figura 8 – Mappa di pericolosità sismica dell'intero territorio nazionale redatta dall'INGV. La figura è stata tratta dal sito dell'INGV: <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>

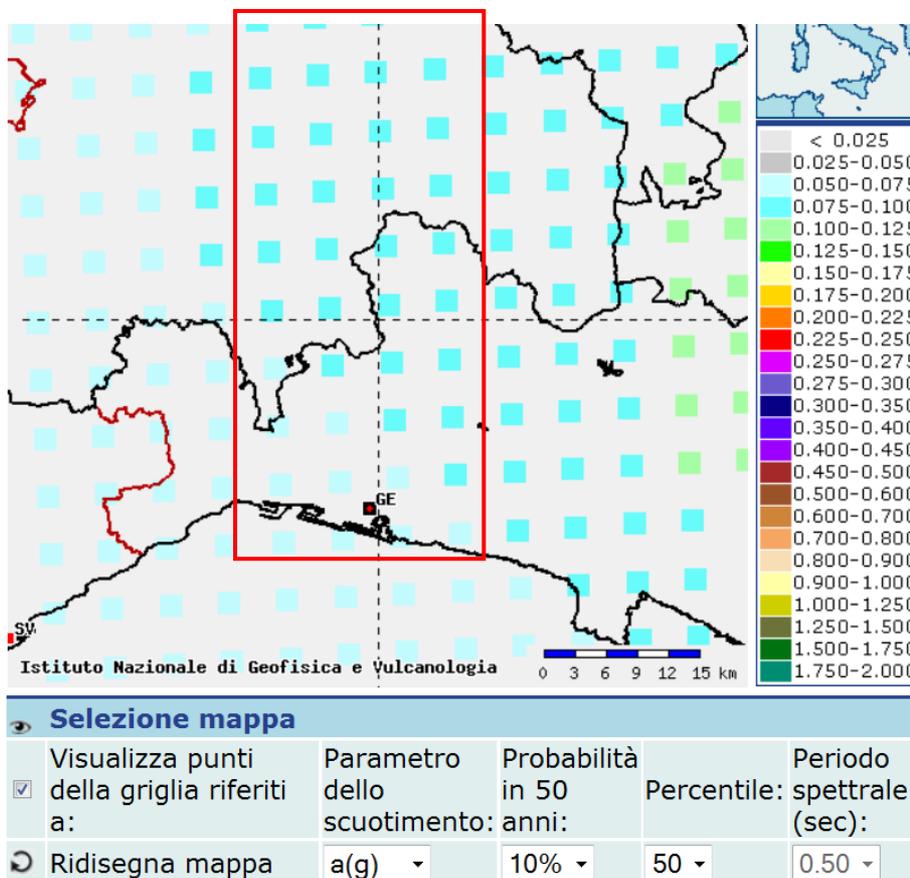


Figura 9 – Mappa di pericolosità sismica dell'area studiata redatta dall'INGV. La figura è stata tratta dal sito dell'INGV: <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5102ECVROGN15V0001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 35 di 38</p>

10 BIBLIOGRAFIA

- Amorosi A., Ricci Lucchi F. & Tateo F. (1995) - The Lower Miocene siliceous zone: a marker in the palaeogeographic evolution of the northern Apennines. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 118: 131-149.
- Barelli, V. (1835) - Cenni di statistica mineralogica degli stati di S.M. il Re di Sardegna. Tipografia Fodratti, Torino.
- Biella G., Polino R., De Franco R., Rossi P.M., Clari P., Corsi A. & Gelati R. (1997) - The crustal structure of the western Po plain: reconstruction from the integrated geological and seismic data. *Terra Nova*, 9: 28-31.
- Biella G.C., Gelati R., Lozej A., Rossi P.M. & Tabacco I. (1988) – Sezioni geologiche nella zona limite Alpioccidentali-Appennino settentrionale ottenute da dati geofisici. *Rend. Soc. Geol. It.*, 11: 287-292.
- Boni A. & Casnedi R. (1970) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000: Fogli 69 e 70 "Asti" e "Alessandria". Poligrafica & Carte Valori, Ercolano: 64 pp.
- Briano, G., Isella, L., Restagno, S., Rodino, A., Trimboli, M. & Vigo, M. (2011) – Problematiche idrogeologiche, geotecniche e di gestione del rischio, associate alle vecchie aree estrattive in ambito urbano nei gessi di Isoverde. Convegno di Geologia Urbana (Genova), Poster. <http://www.sggconsult.it>
- Capponi, G. & Crispini, L. (1997) - Progressive shear deformation in the metasediments of the Voltri Group (Ligurian Alps, Italy): occurrence of structures recording extension parallel to the regional foliation. *Boll. Soc. Geol. It.*, 116, 267 - 277.
- Capponi, G. & Crispini, L. (2002) - Structural and metamorphic signature of alpine tectonics in the Voltri Massif (Ligurian Alps, northwestern Italy). *Eclogae geol. Helv.*, 95, 31-42.
- Capponi, G., Crispini, L., Giammarino, S., Bruzzo, D., Garofano, M., Lano, M., Piazza, M., Vigo, E., Del Tredici, S. & Pacciani, G. (2007) – Carta Geologica d'Italia. Foglio 231-214 Genova. Progetto CARG, Università di Genova/Dip.Te.Ris., Regione Liguria.
- Capponi, G., Crispini, L., Piazza, M. & Amandola, L. (2001) - Field constraints to the Mid-Tertiary kinematics of the Ligurian Alps. *Ofioliti*, 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. *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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5102ECVROGN15V0001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 36 di 38</p>

- D'Atri A. & Tateo F. (1994) - Volcano-sedimentary beds of Oligocene age from the Tertiary Piedmont Basin (NW Italy): biostratigraphy and mineralogy. *Giornale di Geologia*: III, 56/1, 79-95. Bologna.
- Dela Pierre F., Piana F., Fioraso G., Boano P., Bicchi E., Forno M.G., Violanti D., Clari P. & Polino R. (2003) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 157 "Trino". APAT Roma: 147 pp.
- Dematteis, A., Kalamaras, G. & Eusebio, A. (1999) - A systems approach for evaluating springs drawdown due to tunneling. *Atti del convegno AITES ITA*, 69 Hudson, 1992.
- Elter P. & Pertusati P. (1973) - Considerazioni sul limite Alpi-Appennino e sulle sue relazioni con l'arco delle Alpi occidentali. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 12: 359-375.
- Falletti P., Gelati R. & Rogledi S. (1995) - Oligo-Miocene evolution of Monferrato and Langhe, related to deep structures. In: R. POLINO & R. SACCHI (Ed.) *Atti Convegno Rapporti Alpi-Appennino*. Acc. Naz. Sci., Sc. Doc., 14: 1-19.
- Fantoni R., Bello M., Ronchi P. & Scotti P. (2002) - Po Valley oil play: from the Villafortuna-Trecate field to South Alpine and Northern Apennines exploration. *EAGE Conf. Florence, Extended Abstracts Book*: 4 pp.
- Federico, L., Capponi, G., Crispini, L., & Scambelluri, M. (2004) - Exhumation of alpine high-pressure rocks: insights from petrology of eclogite clasts in the Tertiary Piedmontese basin (Ligurian Alps, Italy). *Lithos*, 74, 21-40.
- Festa A., Boano P., Irace A., Lucchesi S., Forno M.G., Dela Pierre F., Fioraso G. & Piana F. (2009a) - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 156 Torino Est. ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca ambientale, Roma.
- Fusinieri, A., in AA.VV. (1831) - *Annali delle Scienze del Regno Lombardo Veneto*. Tomo 1. Padova, tipografia del Seminario.
- Galbiati B. (1977) - La successione oligo-miocenica tra Rigoroso e Carrosio (Bacino ligure-piemontese). *Atti Ist. Geol. Univ. Pavia*, 26: 30-48.
- Gelati R. (1967) - Osservazioni stratigrafiche sull'Oligo-Miocene delle Langhe (Piemonte-Italia). *Pubbl. Ist. Geol. Univ. Milano*, 236: 1-18.
- Gelati R. (1968) - Stratigrafia dell'Oligo-Miocene delle Langhe tra le valli dei fiumi Tanaro e Bormida di Spigno. *Riv. Ital. Paleont. Strat.*, 74: 865-967.
- Ghibaudo G., Clari P. & Perello M. (1985) - Litostratigrafia, sedimentologia ed evoluzione tettonico-sedimentaria dei depositi miocenici del margine Sud-Orientale del Bacino Terziario Ligure-Piemontese (Valli Borbera, Scrivia e Lemme). *Boll. Soc. Geol. It.*, 104: 349-397.
- Gnaccolini M., Gelati R. & Falletti P. (1999) - Sequence Stratigraphy of the "Langhe" Oligo-Miocene Succession, Tertiary Piedmont Basin, Northern Italy. In: DE GRACIANSKY P.C., HARDENBOL J, JACQUIN T. & VAIL P. (Eds.), *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins*. SEPM, Spec. Publ., 60: 233-244.
- Haccard, D. (1976) - Carte géologique au 1:50000 de Sestri-Voltaggio. Pubblicazione CNR, Pisa.
- Hoogerduijn Strating E.H. (1994) - Extensional faulting in an intraoceanic subduction complex - working hypothesis for the Paleogene of the Alps-Appennine system. *Tectonophysics*, 238: 255-273.
- Laubscher H.P., Biella G.C., Cassinis R., Gelati R., Lozej A., Scarascia S. & Tabacco I. (1992) - The collisional Knot in Liguria. *Geol. Rund.*, 81: 275-289.
- Marini, M. (1998) - Carta geologica della Val Polcevera e zone limitrofe (Appennino Settentrionale) alla scala 1:25.000. Note illustrative. *Atti Ticinensi di Scienze della Terra*, 40, 33-64.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5102ECVROGN15V0001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 37 di 38</p>

- 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.
- 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5102ECVROGN15V0001A00</p>	<p>Foglio 38 di 38</p>

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.