

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 PARI  
GN14S – DA PK 20+988,50 A PK 22+000,00**

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA**

|                                             |                      |  |
|---------------------------------------------|----------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR                          | DIRETTORE DEI LAVORI |  |
| Consorzio<br><b>Cociv</b><br>Ing. E. Pagani |                      |  |

COMMESSA

I G 5 1

LOTTO

0 5

FASE

E

ENTE

C V

TIPO DOC.

R O

OPERA/DISCIPLINA

G N 1 4 S 0

PROGR.

0 0 1

REV.

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 | Revisione generale | GDP                                                                                 | 04/05/2015 | Rocksoil                                                                            | 06/05/2015 | A. Palomba                                                                           | 08/05/2015 |                                                                                       |
|     |                    |  |            |  |            |  |            |                                                                                       |
| A02 | Modifiche tecniche | GDP                                                                                 | 28/07/2016 | Rocksoil                                                                            | 29/07/2016 | A. Mancarella                                                                        | 01/08/2016 |                                                                                       |
|     |                    |  |            |  |            |  |            |                                                                                       |

n. Elab.:

File: IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02

CUP: F81H92000000008

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | Foglio<br>2 di 31 |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02                                                                                                                |                   |

## INDICE

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INDICE.....                                                                                                                              | 2  |
| 1   PREMESSA.....                                                                                                                        | 3  |
| 1.1   Principali elementi di novità rispetto al Progetto Definitivo .....                                                                | 3  |
| 2   NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....                                                                                                       | 4  |
| 3   ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO .....                                                                                                    | 4  |
| 4   INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....                                                                                                         | 5  |
| 4.1   Evoluzione tettonostratigrafica del Bacino Terziario Piemontese (BTP) .....                                                        | 5  |
| 4.2   Caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche delle unità del Bacino Terziario Piemontese interessate dall'opera in progetto..... | 8  |
| 4.2.1   Formazione di Molare .....                                                                                                       | 9  |
| 5   INDAGINI GEOGNOSTICHE .....                                                                                                          | 16 |
| 6   INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....                                                                                                     | 16 |
| 6.1   Considerazioni generali .....                                                                                                      | 16 |
| 6.2   Complessi idrogeologici.....                                                                                                       | 19 |
| 6.2.1   Complesso 13 (FMp, FMbc, FMa, cR).....                                                                                           | 19 |
| 7   PROBLEMATICHE GEOLOGICHE A QUOTA GALLERIA.....                                                                                       | 20 |
| 7.1   Condizioni geologiche.....                                                                                                         | 20 |
| 7.1.1   Presenza di faglie .....                                                                                                         | 21 |
| 7.1.2   Fotolineamenti .....                                                                                                             | 22 |
| 7.1.3   Piani di taglio a basso angolo .....                                                                                             | 22 |
| 7.1.4   Grado di fratturazione medio al di fuori delle faglie.....                                                                       | 24 |
| 7.2   Condizioni idrogeologiche.....                                                                                                     | 24 |
| 7.2.1   Afflussi in galleria.....                                                                                                        | 25 |
| 7.2.2   Descrizione delle caratteristiche idrogeologiche nella tratta .....                                                              | 26 |
| 7.3   Interferenze con le risorse di superficie .....                                                                                    | 26 |
| 8   BIBLIOGRAFIA.....                                                                                                                    | 28 |

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02                                                                                                                |
|                                                                                                                                                    | Foglio<br>3 di 31                                                                                                                              |

## 1 PREMESSA

Il presente rapporto fa parte del Progetto Esecutivo del nuovo collegamento AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" e riguarda la realizzazione dell'opera identificata dal codice WBS GN14S, che si riferisce allo scavo meccanizzato della Galleria Naturale di Valico, binario pari, da pk 20+988,50 a pk 22+000,00 - tratto 5.

La presente nota descrive quanto rappresentato negli elaborati grafici allegati e costituisce una revisione e un aggiornamento degli studi geologici eseguiti in fase di Progetto Definitivo, rispetto alla quale sono stati eseguiti ex novo alcuni rilievi geologici integrativi di superficie.

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).

### 1.1 Principali elementi di novità rispetto al Progetto Definitivo

Il presente studio prende spunto dagli studi, rilievi e indagini realizzati in fase di Progettazione Definitiva (2004). Rispetto ai contenuti del PD, le principali novità dal punto di vista geologico riguardano:

- la disponibilità di nuovi documenti cartografici ufficiali, che in molti casi aggiornano sostanzialmente le interpretazioni geologiche preesistenti, e di cui è quindi stato necessario tenere conto; tali contributi sono rappresentati i) dal nuovo Foglio CARG 213-214 "Genova" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (2007), per il versante ligure e parte del versante piemontese, e ii) dalla nuova Carta Geologica del Piemonte in scala 1:250.000 (CNR, in fase di preparazione), che si riallaccia alla cartografia CARG già pubblicata.
- L'aumento del livello di dettaglio, rispetto ai rilievi di terreno effettuati in fase di PD, grazie a una nuova campagna di rilevamento geologico integrativo, che ha permesso di raccogliere nuovi dati litologici, stratigrafico-sedimentologici, strutturali e geomorfologici e di approfondire la conoscenza delle unità geologiche interessate dal progetto. In alcuni casi, in nuovi dati raccolti hanno portato a modificare in maniera significativa l'interpretazione litostratigrafica del PD, soprattutto per quanto riguarda le unità del Bacino Terziario Piemontese.
- La realizzazione di nuovi sondaggi geognostici, che hanno consentito di affinare le interpretazioni riguardanti l'assetto geologico, stratigrafico e strutturale profondo, correlando meglio i dati di superficie con i dati di sottosuolo.
- Una revisione generale dell'assetto strutturale lungo il tracciato di linea, che ha comportato anche la revisione di tutti i lineamenti strutturali interpretati come "faglie", che sono stati in alcuni casi confermati, in alcuni casi modificati e in alcuni casi eliminati perché privi di riscontri oggettivi. A questa revisione si è accompagnata anche una fase di fotointerpretazione strutturale, volta a individuare correlazioni tra la morfologia superficiale e potenziali set di discontinuità significative a livello delle gallerie in progetto.

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02                                                                                                                |
|                                                                                                                                                    | Foglio<br>4 di 31                                                                                                                              |

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente rapporto fa riferimento alla seguente documentazione:

- D.M. 11.03.1988 e s.m.i. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e le scarpate, i criteri generali, e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- Circ. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 Legge 02/02/74, n.64 art.1. D.M. 11/03/1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione".

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

## 3 ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO

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

- l'esecuzione di una ricerca bibliografica;
- il rilevamento di terreno e l'acquisizione dei dati geologici, geomorfologici ed idrogeologici relativi alle aree di intervento;
- l'analisi ed interpretazione delle immagini aeree disponibili;
- 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: L. Delle Piane (responsabile di progetto);
- supervisione e controllo elaborati: L. Delle Piane, P. Perello;
- rilevamento geologico-strutturale, sedimentologico-stratigrafico e geomorfologico: L. Delle Piane, P. Perello, A. Damiano, A. Giorza, A. Musso, D. Varrone;
- idrogeologia, modellazione idrogeologica numerica, idrogeochimica: P. Perello, A. Baietto, A. Giorza;

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | Foglio<br>5 di 31 |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02                                                                                                                |                   |

- elaborazioni GIS e CAD: A. Musso, A. Giorza, D. Varrone.

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La Galleria di Valico, nella tratta in esame, 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 l.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 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.,

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02                                                                                                                |
|                                                                                                                                                    | Foglio<br>6 di 31                                                                                                                              |

2009).

A partire dal Serravalliano, il BTP viene coinvolto nella tettonica Nord-vergente padana (Falletti et al., 1995). I domini tettonostratigrafici prima individuatisi assumono 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-pleiocenica 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.

Per garantire una continuità tra la terminologia adottata nei progetti Definitivo e Esecutivo, senza tralasciare le informazioni derivanti dai dati di letteratura più recenti, sono state realizzate due tabelle (Tabella 1 e Tabella 2) in cui è confrontata la nomenclatura della cartografia ufficiale e quella impiegata nel PE; in Tabella 2 sono inoltre evidenziati (in corsivo sottolineato) i casi in cui il miglioramento delle conoscenze in fase esecutiva ha imposto una variazione/integrazione della nomenclatura, della gerarchia e/o della descrizione delle unità stratigrafiche interessate dall'opera.

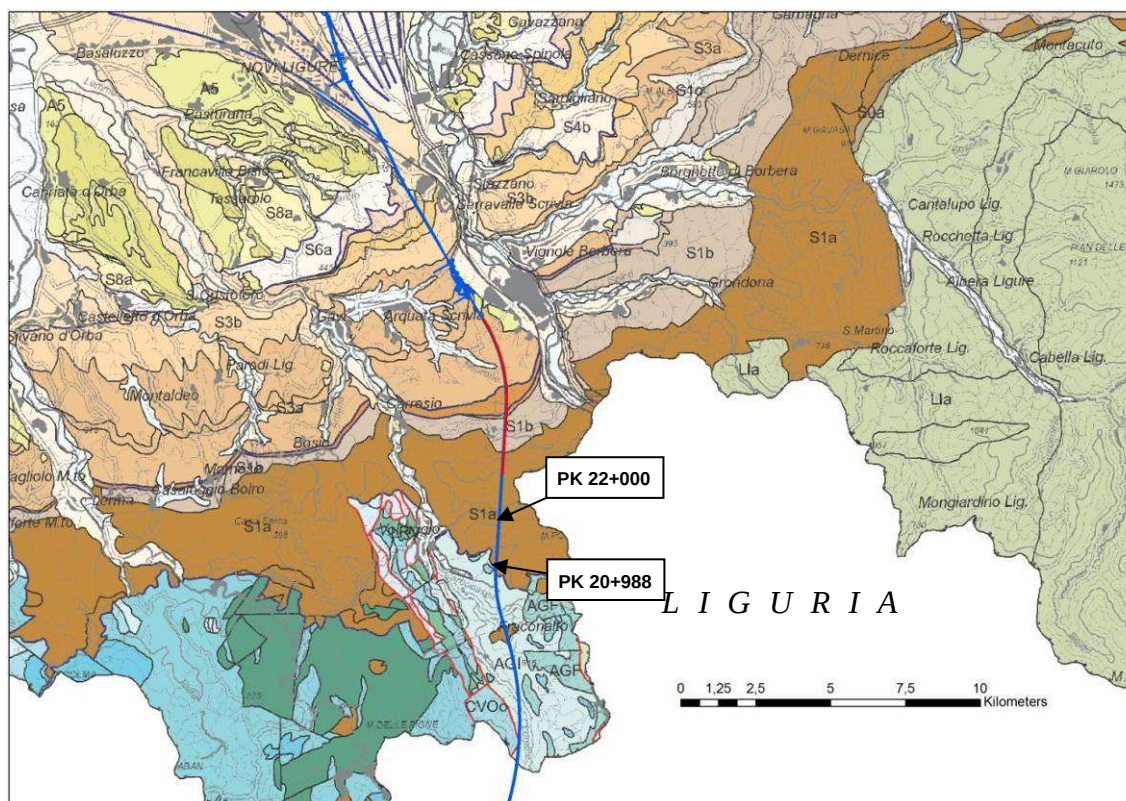
| Carta Geologica d'Italia<br>Foglio 70 “Alessandria”<br>1:100.000           | Carta Geologica del Piemonte<br>1:250.000 (in prep.) |                                                                                                           | Tratta AC/AV Milano-Genova “Terzo Valico dei Giovi” |                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                            |                                                      |                                                                                                           | PROGETTO DEFINITIVO                                 | PROGETTO ESECUTIVO                                                            |
| A3 – Alluvioni attuali                                                     | DEPOSITI FLUVIALI DEL<br>BACINO ALESSANDRINO         | A1- Depositi fluviali del<br>Pleistocene sup. - Olocene                                                   | a - Fluviale attuale                                | a - Depositi fluviali attuali                                                 |
| A <sup>2-1</sup> – Alluvioni post-glaciali                                 |                                                      | A2 – Depositi fluviali della parte<br>terminale del Pleistocene sup.                                      |                                                     |                                                                               |
| A <sup>1</sup> /F <sup>1-3</sup> – Fluviale recente                        |                                                      | A3 – Depositi fluviali del<br>Pleistocene sup.                                                            | fl3- Fluviale recente                               | fl3 - Depositi fluviali recenti,<br>Pleistocene sup.? - Olocene               |
| F <sup>1-2</sup> – Fluviale medio                                          |                                                      | A4 – Depositi fluviali del<br>Pleistocene medio - sup.                                                    | fl2- Fluviale medio                                 | fl2 - Depositi fluviali medi,<br>Pleistocene medio - sup.                     |
| F <sup>1</sup> – Fluviale antico<br>I <sup>2</sup> – Villafranchiano auct. |                                                      | A5 – Depositi fluviali del<br>Pleistocene medio<br>A6 – Depositi fluviali del<br>Pleistocene inf. - medio | fl1- Fluviale antico                                | fl1 - Depositi fluviali antichi,<br>Pleistocene medio?                        |
| P <sup>3-2</sup> - Sabbie di Asti                                          | SUCCESIONI<br>POST-<br>MESSINIANE                    | S9b – Sintema di Maranzana<br>S8b – Successioni siltose e<br>sabbioso-ghiaiose piacentiane                |                                                     | vL – Villafranchiano auct. e<br>Sabbie d'Asti, Pleistocene inf.               |
| P - Argille di Lugagnano,<br>Pliocene                                      |                                                      | S8a – Formazione delle Argille<br>Azzurre dello Zancleano                                                 | aL – Argille di Lugagnano                           | aL - Argille di Lugagnano<br>(Formazione delle Argille<br>Azzurre), Zancleano |

**Tabella 1 – Tabella nomenclaturale riassuntiva delle unità post-messiniane e quaternarie descritte in letteratura, messe a confronto con la terminologia e le sigle adottate nelle fasi di progettazione Definitiva ed Esecutiva.**

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02                                                                                                                |
|                                                                                                                                                    | Foglio<br>7 di 31                                                                                                                              |

| CARTA GEOLOGICA DEL PIEMONTE alla scala 1:250.000<br>(in prep).          | CATALOGO delle FORMAZIONI ITALIANE e CARIMATI<br><br>(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"<br><br>PROGETTO DEFINITIVO |                                      | Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi"<br><br>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>Membro di Riomaggiore, qS</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<br><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> |
| arenarie medie, uMb                                                      |                                                                                                                                       |                                          |                                                                                | <u>areniti medio-grossolane, uMb</u> |                                                                                                |                                           |
| Depositi silicei aquitaniano-burdigaliani, S1d                           |                                                                                                                                       |                                          |                                                                                | Marne, uMa                           |                                                                                                | <u>marne e marne silicizzate, uMa</u>     |
| Successioni marnose rupeliano-aquitane, S1b                              |                                                                                                                                       |                                          | 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, FMc</u>   |
|                                                                          |                                                                                                                                       |                                          |                                                                                | Conglomerati poligenici, FMP         |                                                                                                | <u>Litofacies rudite calcarea, FMc</u>    |
|                                                                          |                                                                                                                                       |                                          |                                                                                | Brecce della Costa di Cravara, FMbc  |                                                                                                | <u>Litofacies rudite poligenica, FMP</u>  |
|                                                                          |                                                                                                                                       |                                          |                                                                                |                                      |                                                                                                | <u>Litofacies brecciosa, FMbc</u>         |
| -                                                                        | Brecce della Costa di Cravara, CRA                                                                                                    |                                          | Brecce della Costa di Cravara                                                  |                                      | <u>Brecce della Costa di Cravara</u>                                                           |                                           |

**Tabella 2 – Tabella nomenclaturale riassuntiva delle unità stratigrafiche del Bacino Terziario Piemontese presenti in letteratura messi a confronto con i termini e le sigle di progetto nelle fasi Definitiva ed Esecutiva. In corsivo sottolineato sono evidenziati i termini oggetto di revisione (come terminologia, gerarchia e/o come descrizione) in fase di Progetto Esecutivo.**



## 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-aquitani; **S1c** Corpi lenticolari arenaceo-conglomeratici rupeliano-aquitani; **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 (in blu) e della tratta tra le pk 22+000 e 28+000 (in rosso).**

## 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:

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

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02 <div style="float: right;">Foglio<br/>9 di 31</div>                                                            |

La WBS in progetto attraversa la formazione di Molare, 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.

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, immergente in media di 25-30° tra NW e NNW (Figura 8).

Le principali aree-sorgente dei clasti sono rappresentate, 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).

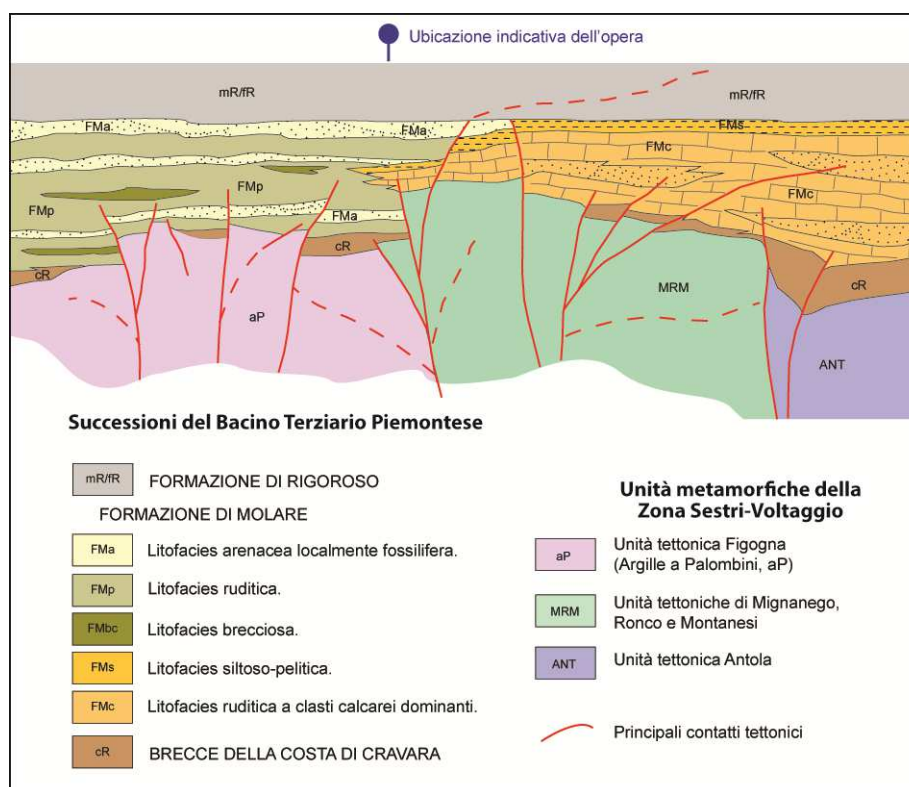
All'interno della formazione di Molare sono state distinte cinque litofacies, caratterizzate da rapporti

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.

Nello schema tettonostratigrafico di Figura 2 sono tentativamente rappresentati i rapporti geometrici tra le varie unità sedimentarie del BTP interessate dall'opera, in relazione con l'assetto strutturale locale.



**Figura 2 – Schema tettonostratigrafico illustrante i rapporti geometrici e stratigrafici intercorrenti tra le diverse unità affioranti nell'area di progetto. La sezione (non in scala) è orientata indicativamente da ovest (sinistra) a est (destra).**

In fase di Progettazione Definitiva, all'interno della Formazione di Molare, sono state distinte varie sottounità, tra le quali un "membro conglomeratico cementato a ciottoli calcarei" e un "membro conglomeratico parzialmente cementato o non cementato".

Questa distinzione è stata fatta principalmente sulla base delle caratteristiche che le due unità presentano in affioramento: il "membro conglomeratico parzialmente cementato o non cementato" si presenta con superfici/pareti di aspetto prevalentemente calanchivo, mentre il "membro

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02                                                                                                                |
|                                                                                                                                                    | Foglio<br>11 di 31                                                                                                                             |

*conglomeratico cementato a ciottoli calcarei*” sviluppa superfici nette, subverticali. Queste differenze di alterazione superficiale sono da imputare, probabilmente, a una differente tipologia di cementazione, dal punto di vista chimico-mineralogico; tuttavia, l'analisi accurata delle numerose carote di sondaggio che hanno attraversato queste unità, dimostra in maniera evidente che, in profondità, la cementazione della Formazione di Molare è piuttosto omogenea all'interno di tutte le litofacies precedentemente distinte.

In conclusione, quindi, in fase di Progetto Esecutivo, la distinzione tra le varie unità che costituiscono la Formazione di Molare e che sono descritte di seguito, è stata fatta rigorosamente in base alle sole caratteristiche litologiche e tessiturali, prescindendo dall'aspetto esteriore, che le diverse litofacies possono presentare in affioramento. Ciò ha comportato, in alcuni casi, una revisione anche sostanziale delle interpretazioni geologiche contenute nei profili previsionali lungo l'asse di linea.

#### 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 3). 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 3 - 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.

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

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02                                                                                                                |
|                                                                                                                                                    | Foglio<br>12 di 31                                                                                                                             |

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 4). 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.

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.



**Figura 4 - Litofacies ruditica poligenica (FMp): evidenti le alternanze di areniti grossolane e ruditi a scarsa matrice e clasti pluricentimetrici.**

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

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.).

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02                                                                                                                |
|                                                                                                                                                    | Foglio<br>13 di 31                                                                                                                             |

#### 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 (FMs)*

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 5) 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 (Figura 6).

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.



**Figura 5 - 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.**



**Figura 6 - Monte Porale-Valle Carbonasca. Litofacies arenacea FMa della formazione di Molare con evidenti gallerie di bioturbazione maggiormente cementate (parte alta dell'immagine).**

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

|                                                                                                         |                                                                                                        |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |                    |
|                                                                                                         | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02                                                                        | Foglio<br>15 di 31 |

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.

## 5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

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

| codice | Fase progettuale | Caratteristiche/Descrizione |
|--------|------------------|-----------------------------|
| L2-S23 | PE               | Formazione di Molare        |

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

## 6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### 6.1 Considerazioni generali

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

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

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 3.

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

| Classe | Conducibilità idraulica (m/s) | Descrizione |
|--------|-------------------------------|-------------|
| K1     | $> 10^{-4}$                   | molto alta  |
| K2     | $1E-05$ a $10^{-4}$           | alta        |
| K3     | $1E-06$ a $1E-05$             | medio-alta  |
| K4     | $1E-07$ a $1E-06$             | media       |
| K5     | $1E-08$ a $1E-07$             | bassa       |
| K6     | $< 1E-08$                     | molto bassa |

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

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.

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,

|                                                                                                         |                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |
|                                                                                                         | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02 <div style="float: right;">Foglio<br/>18 di 31</div>                   |

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.

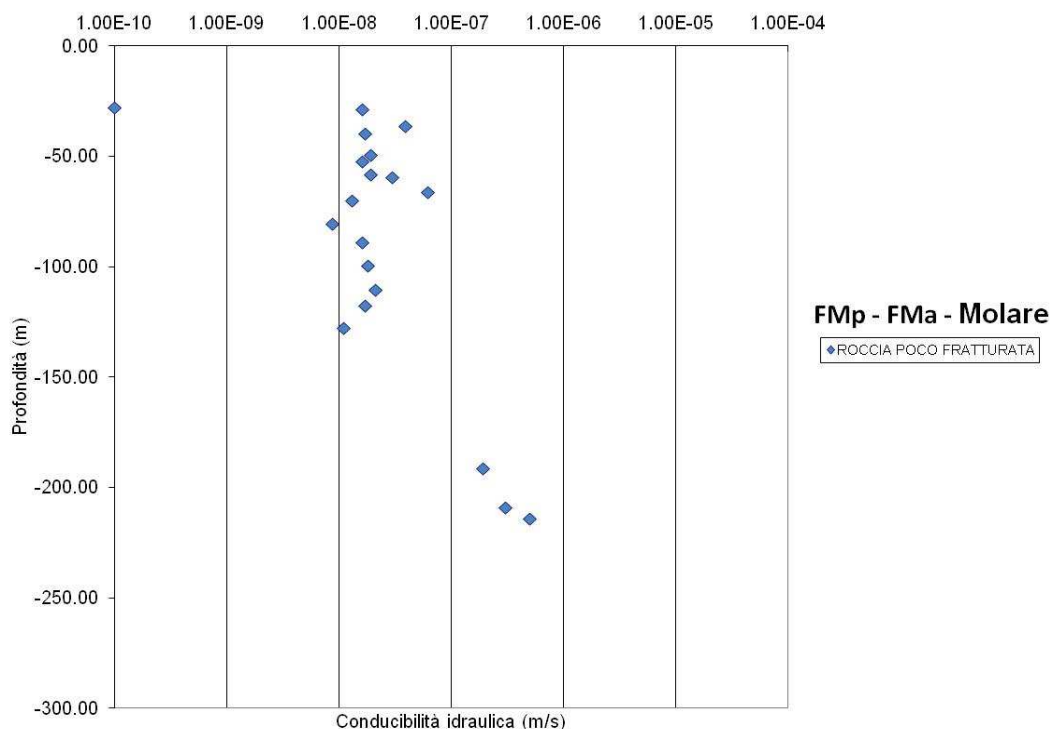
## 6.2 Complessi idrogeologici

### 6.2.1 Complesso 13 (FMp, FMbc, FMa, cR)

Dall'esame delle carote dei sondaggi disponibili emerge che a profondità maggiori di 10-20 m generalmente i litotipi che costituiscono questo complesso presentano un grado di cementazione molto elevato. Pertanto il tipo di permeabilità dominante è quello per fratturazione, mentre la permeabilità per porosità può essere considerata irrilevante.

Delle eccezioni a questa condizione prevalente potrebbero esistere ove fossero presenti fenomeni di decementazione, come frequentemente accade a livelli pellicolari dell'ammasso roccioso (10-20 m) nella litofacies FMp. Non si può escludere che fenomeni di decementazione siano sporadicamente presenti anche a profondità maggiori, indicativamente fino a 50-100 m.

I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto all'interno di questo complesso indicano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra  $1E-07$  e  $1E-08$  m/s, come evidenziato dal diagramma di Figura 7.



**Figura 7 - Grafico delle conducibilità idrauliche delle facies della Formazione di Molare (FMp e FMa) da prove sui sondaggi del Progetto esecutivo, definitivo e preliminare.**

Il medesimo diagramma evidenzia che localmente si sono riscontrate anche conducibilità maggiori (indicativamente fino a  $1E-06$  m/s) o minori (indicativamente fino a  $1E-09$  m/s). Questi valori possono essere correlati a stati di fratturazione particolari e locali dell'ammasso roccioso.

Nelle zone di faglia non sono stati eseguiti test idraulici. Per questi elementi tettonici, che generalmente costituiscono anche i principali elementi idrogeologici dell'ammasso roccioso, sono comunque state stimate delle conducibilità idrauliche piuttosto ridotte, dell'ordine di

1E-06/1E-08 m/s. Le osservazioni di terreno hanno infatti permesso di verificare che nelle zone di faglia che attraversano i litotipi di questo complesso sono presenti fenomeni di ricementazione che non consentono lo sviluppo di permeabilità particolarmente elevate. Si può ipotizzare che lungo le faglie del complesso le permeabilità maggiori siano relative alle zone di danneggiamento, mentre le zone di nucleo possono presentare un effetto compartimentante per la presenza più o meno continua di prodotti di frizione tettonica con granulometria fine.

## 7 PROBLEMATICHE GEOLOGICHE A QUOTA GALLERIA

### 7.1 Condizioni geologiche

Nel tratto della galleria di valico oggetto del presente rapporto è previsto l'attraversamento della formazione di Molare. Per la descrizione litologica e paleoambientale di dettaglio si rimanda al capitolo 4.

I due sondaggi esistenti nel settore di interesse, svolti nelle fasi Preliminare e Definitiva del progetto (SR16 e AA301G115), interessano esclusivamente la formazione di Molare e sono in generale congruenti con quanto riscontrato sul terreno.

L'intero tratto interessato dallo sviluppo della WBS oggetto del presente rapporto attraversa presumibilmente la litofacies ruditica poligenica (FMp) della formazione di Molare, caratterizzata da un grado di cementazione variabile e da alternanze irregolari di livelli ruditici grossolani e livelli arenitici-microconglomeratici. È possibile che localmente si trovino blocchi di dimensioni metriche isolati all'interno della litofacies.

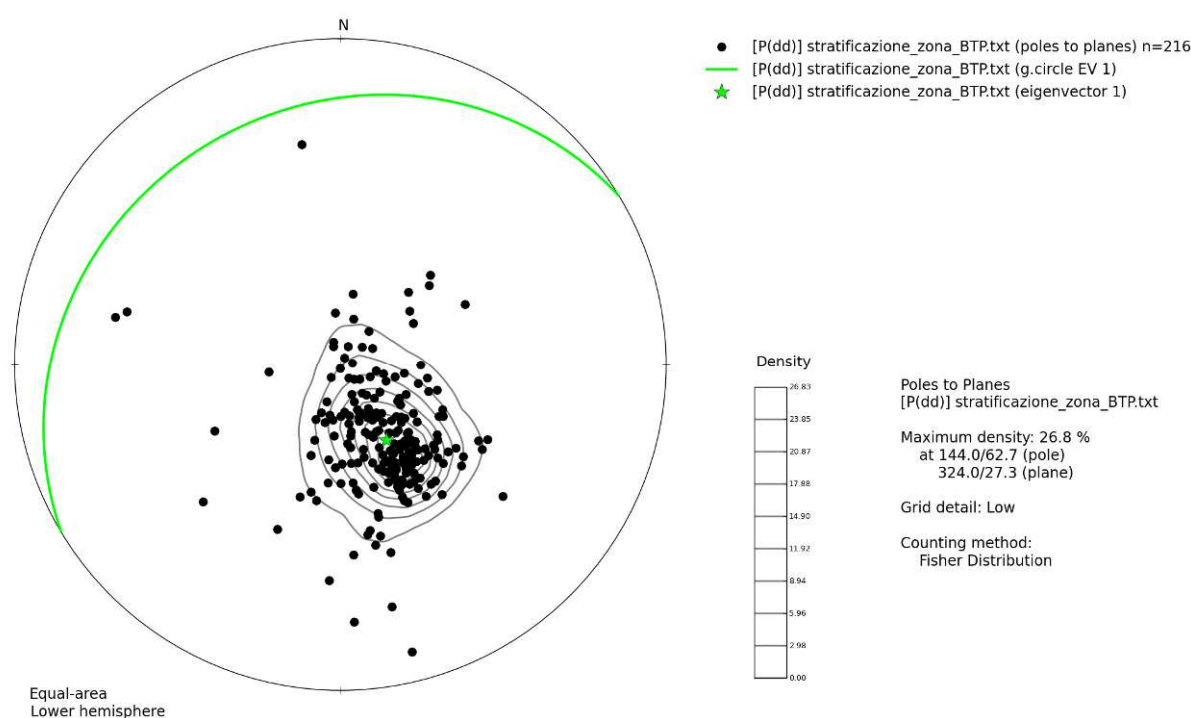


Figura 8 – Proiezione equiareale di Schmidt dei poli dei piani di stratificazione nelle unità sedimentarie del BTP

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02 <div style="float: right;">Foglio<br/>21 di 31</div>                                                           |

#### **interessate dallo sviluppo del progetto.**

Come evidenziato nel profilo geologico, non si esclude la presenza di corpi a geometria lenticolare, spessore da metrico a ettometrico ed estensione laterale pluriettometrica, riferibili alla litofacies arenacea localmente fossilifera (FMA), costituita da prevalenti arenarie da grossolane a fini, con intercalazioni di conglomerati e microconglomerati.

Per quanto riguarda le valutazioni sullo spessore parziale e totale delle unità attraversate si conferma, in linea di massima, quanto già proposto in fase di Progetto Definitivo. I rilievi evidenziano una notevole estensione cartografica della formazione, che male si accorda con gli spessori normalmente riconosciuti nell'areale di affioramento, in rapporto alla giacitura media della stratificazione. Questo assetto è tuttavia congruente con un modello geologico che preveda l'esistenza di strutture sin-sedimentarie, riattivate anche in momenti successivi dell'evoluzione del bacino sedimentario. Queste strutture avrebbero influenzato la morfologia del bacino deposizionale diversificando lo spazio di accomodamento per i sedimenti (e quindi la geometria complessiva delle varie unità), nel corso del Rupeliano-Aquitano, e successivamente, in un regime compressivo-transpressivo (probabilmente durante il Burdigaliano) attraverso la giustapposizione e/o la sovrapposizione di tratti di successione riferibili alla formazione di Molare e alla formazione di Rigoroso.

#### **7.1.1 Presenza di faglie**

L'insieme dei dati derivanti dal Progetto Definitivo, dall'analisi bibliografica e dai nuovi rilievi di terreno permette di ipotizzare l'esistenza di un numero di strutture disgiuntive (soprattutto faglie normali, inverse e trascorrenti) più elevato rispetto a quanto precedentemente prospettato.

Le evidenze morfologiche di un sistema di faglie ben sviluppato con direzione circa ENE-WSW (Figura 10) sono state verificate e confermate dai nuovi rilievi di terreno, che hanno permesso di identificare all'interno dei conglomerati di Molare faglie di tipo trascorrente sinistro e sistemi ad esse coniugati; gli altri sistemi di faglie identificati sul terreno hanno direzione WNW-ESE e NNW-SSE (Figura 10). Nel complesso, la spaziatura media delle strutture principali è di circa 400-600 m il che comporta un maggior numero di discontinuità fragili lungo il profilo previsionale longitudinale.

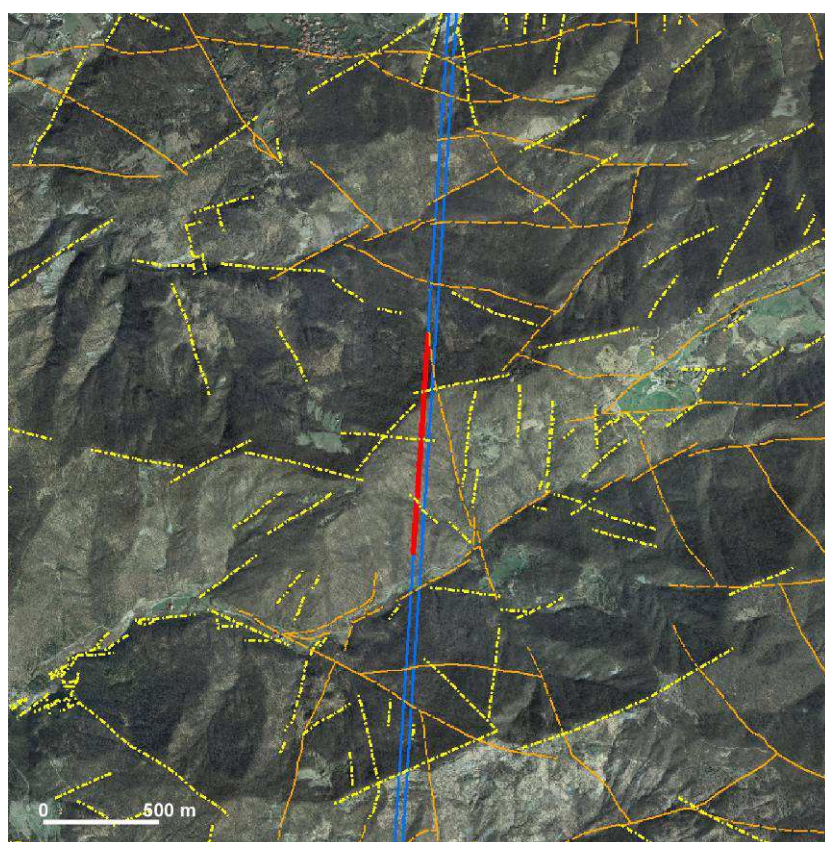
All'interno dei conglomerati di Molare, nei livelli stratigrafici più ricchi in clasti serpentinitici, le faglie (Figura 9) possono presentare riempimenti di gouge argilloso non coesivo sia tra i clasti, sia nella matrice; nei livelli con più clasti calcarei, le zone di faglia possono essere accompagnate da una maggiore cementazione, causata dalla circolazione di fluidi ricchi in carbonato lungo le superfici di discontinuità. In entrambi i casi si può sviluppare una fascia di fratturazione intorno alla superficie di faglia, di potenza plurimetrica o decametrica.

Il profilo geologico allegato riporta una faglia principale ad alto angolo, proiettata dalla superficie con giacitura subverticale fino a quota galleria, tra le pk 21+900 e 21+950; la zona di fratturazione associata potrebbe arrivare ad estendersi tra le pk 21+820 e 21+990; la struttura ha direzione presunta NNW-SSE ed interseca la galleria con un angolo relativamente basso; ciò implica che, potenzialmente, essa potrà venire seguita per un tratto relativamente lungo nella direzione di avanzamento.

### 7.1.2 Fotolineamenti

Lo stralcio cartografico riportato in Figura 9 mostra i principali lineamenti strutturali dell'area di interesse, suddivisi in i) faglie presunte e ii) fotolineamenti. Si nota chiaramente un pattern strutturale regolare, definito da quattro distinte famiglie di lineamenti, con direzione, rispettivamente a) NNW-SSE, b) NNE-SSW, c) WNW-ESE e d) ENE-WSW.

I lineamenti dei set (c) e (d) sono di particolare interesse, in quanto condizionano in maniera evidente lo sviluppo del reticolato idrografico principale; al set (d) è riferibile il sistema di faglie che presumibilmente corre sul fondovalle del Rio della Barca, tra l'asse di linea e la zona di Borlasca.



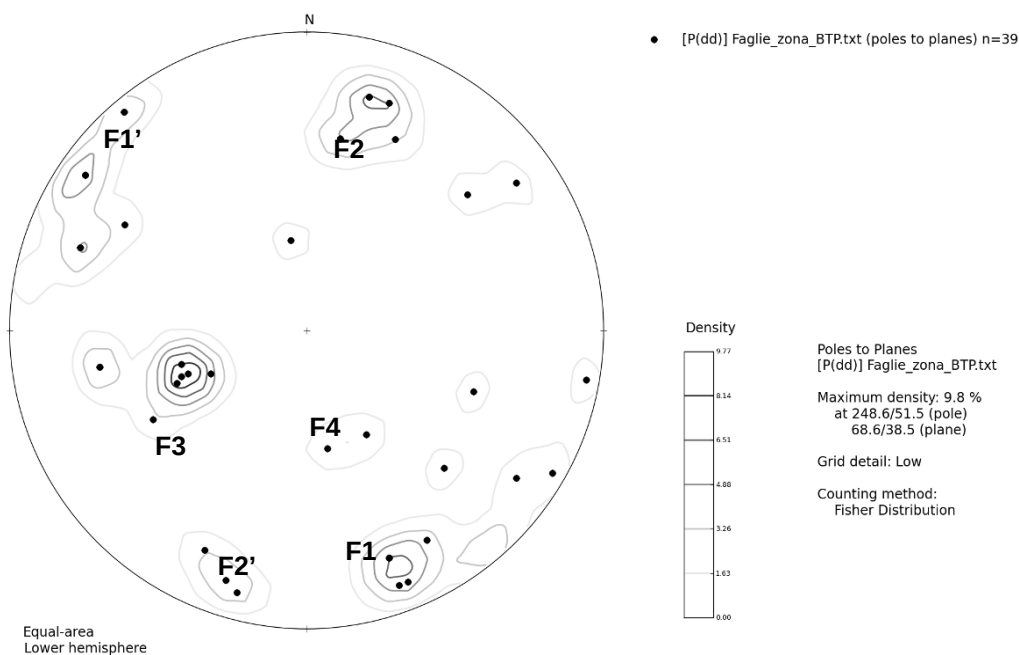
**Figura 9 – Principali fotolineamenti del settore interessato dalla WBS in esame. (arancione): principali faglie presunte; (giallo): fotolineamenti. In blu la traccia delle gallerie di linea, in rosso la WBS in esame.**

### 7.1.3 Piani di taglio a basso angolo

In fase di Progetto Definitivo, nel profilo geologico sono state rappresentate, all'interno della formazione di Molare, alcune zone di faglia e piani di taglio a basso angolo, con rigetto non valutabile. Nel corso delle verifiche di terreno realizzate nel corso degli studi per il 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 poterle collocare geometricamente.

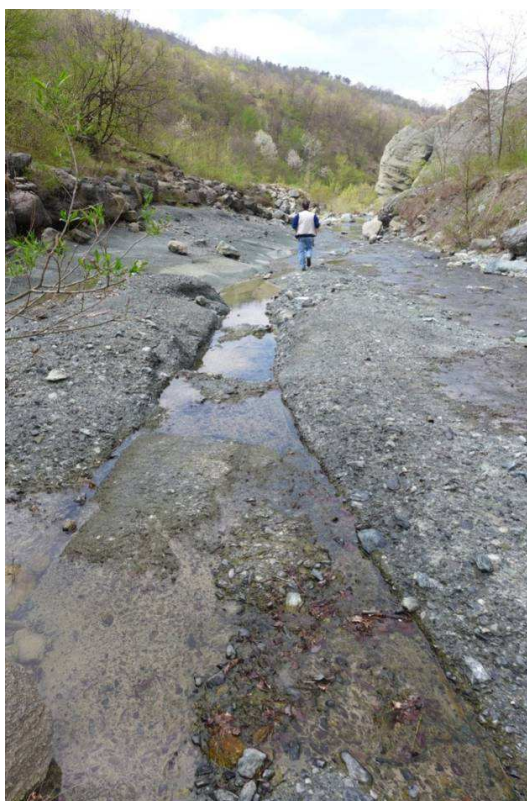
Le fasce di taglio osservate, subparallele alla stratificazione, immergono verso nord e hanno una

potenza minima apparente di 70-80 m; al loro interno le superfici di stratificazione sono completamente oblitrate, con sovrapposizione di piani di taglio principali e secondari che separano liti in cui si sviluppa un clivaggio pervasivo da 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 tali zone dovessero essere intercettate dall'opera potrebbero causare un notevole decadimento della qualità geotecnica dell'ammasso roccioso (Figura 11). In assenza di indagini dirette è tuttavia impossibile prevedere con precisione la posizione di questa fasce di deformazione.



**Figura 10 - Proiezione equiareale di Schmidt dei principali poli dei piani di faglia misurati nella formazione di Molare. F1/F1', F2/F2': sistemi di faglie ad alto angolo; F3, F4: piani di taglio a basso angolo.**

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02                                                                                                                |
|                                                                                                                                                    | Foglio<br>24 di 31                                                                                                                             |



**Figura 11 - Settore a SW della località di Sottovalle. Faglia trascorrente sinistra, ad andamento E-W, sviluppata all'interno della litofacies brecciosa monogenica (FMbc).**

#### **7.1.4 Grado di fratturazione medio al di fuori delle faglie**

Il grado di fratturazione può variare da medio a basso e dipende dall'intensità della cementazione che caratterizza le diverse litofacies: nei livelli più cementati è favorito lo sviluppo di giunti ad elevata persistenza, che non riescono però a propagarsi all'interno degli orizzonti a granulometria fine oppure meno cementati, dove la deformazione viene rapidamente assorbita attraverso piccoli scorrimenti interstrato o intergranulari.

La spaziatura delle famiglie di giunti rilevati nella formazione di Molare (dai dati dei rilievi strutturali del Progetto Preliminare) sono di ordine submetrico (tra 20 e 50 cm). Le discontinuità con maggiore persistenza individuate sono costituite da faglie di spessore centimetrico-decimetrico, che presentano rigetti massimi di pochi metri.

## **7.2 Condizioni idrogeologiche**

Come indicato in fase di Progetto Definitivo, il settore di attraversamento della formazione di Molare rappresenta una zona critica di notevole importanza per le implicazioni idrogeologiche determinate dall'assetto litostratigrafico e strutturale. In particolare, il maggior dettaglio raggiunto nella definizione/individuazione delle varie litofacies della formazione di Molare in questa fase progettuale, ha permesso di circoscrivere i settori di maggiore criticità per quanto riguarda gli aspetti geologico-idrogeologici.

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02                                                                                                                |
|                                                                                                                                                    | Foglio 25 di 31                                                                                                                                |

Il settore di interesse è caratterizzato da una relativa omogeneità litologica, essendo impostato all'interno della litofacies ruditica poligenica (Fmp) poco cementata, o cementata in modo disomogeneo, con possibili intercalazioni della litofacies arenacea (FMa), non accertate a quota galleria. Una zona di faglia principale di direzione NNW-SSE è ipotizzata tra le pk 21+900 e 21+950 ca., dove dovrebbe intersecare il tracciato con un angolo relativamente basso, avendo una direzione media NNW-SSE; un'altra zona di faglia, di direzione WSW-ENE, è ipotizzata lungo il fondo valle del Rio Barca, ma non parrebbe intersecare la WBS in esame.

### 7.2.1 Afflussi in galleria

La stima degli afflussi in fase di scavo è stata effettuata sulla base di diversi parametri quali la conducibilità idraulica dei vari complessi idrogeologici (cfr.6.2), il carico idraulico, la presenza di zone di faglia e fratturazione, la presenza di zone carsificate o con fenomeni di dissoluzione del carbonato. I valori di afflusso attribuiti scaturiscono, inoltre, dall'esperienza acquisita durante lo scavo di tunnel in contesti simili e dall'analisi bibliografica sui dati idrogeologici di tunnel già scavati. Sono inoltre disponibili i dati dei tratti già scavati delle finestre Val Lemme e Castagnola.

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

Di seguito viene presentata una breve descrizione dell'assetto idrogeologico atteso per tratte idrogeologicamente omogenee lungo il tracciato.

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

**Tabella 4 – Descrizione delle classi stimate per gli afflussi in galleria in regime transitorio secondo la classificazione di Bieniawski (1989), espressa in l/s per 10 m di scavo.**

È bene precisare che, nel seguito, le portate descritte sono quelle transitorie, che si verificano nelle prime ore/giorni dallo scavo. Poiché le portate variano in funzione della lunghezza della sezione drenante considerata, nell'ambito del presente studio si è scelto di riferirsi alla lunghezza di riferimento di 10 m di galleria. Tale criterio, comunemente adottato nell'ambito dello scavo di gallerie, si giustifica considerando che la lunghezza di 10 m corrisponde allo sviluppo medio di una tratta di scavo giornaliera. I valori delle portate sono stati inoltre stimati assumendo che la galleria drena liberamente, in assenza di rivestimenti impermeabilizzanti o operazioni di riduzione della permeabilità (es. iniezioni di malte cementizie o resine).

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02 <div style="float: right;">Foglio<br/>26 di 31</div>                                                           |

I carichi idraulici descritti nel seguito, sono quelli stimati per condizioni idrogeologiche imperturbate, cioè prima dell'inizio degli scavi. A seguito dello scavo, i carichi tenderanno a diminuire in maniera consistente. Se la galleria è lasciata libera di drenare senza riduzione della permeabilità al contorno, i valori di carico idraulico a costruzione terminata e rivestimenti ultimati, potranno indicativamente attestarsi su valori compresi tra lo 0% e il 30% del valore iniziale imperturbato.

In corso di scavo, via via che il fronte avanza, si incontreranno già condizioni di carico idraulico parzialmente differenti da quello allo stato naturale, a causa del drenaggio innescato dalla parte di galleria già scavata.

Tuttavia, i valori di carico idraulico qui indicati sono quelli di riferimento per la progettazione e realizzazione di un rivestimento non drenante, poiché verosimilmente, in assenza di drenaggio, in tempi più o meno prolungati a seconda della permeabilità e della ricarica dalla superficie (mesi/anni), il carico idraulico naturale tenderà in linea di massima a ripristinarsi su valori prossimi a quelli che caratterizzano lo stato imperturbato.

### 7.2.2 Descrizione delle caratteristiche idrogeologiche nella tratta

Permeabilità/connettività – In questa tratta le gallerie si sviluppano interamente nella litofacies ruditica della Formazione di Molare. Questi litotipi sono caratterizzati da una cementazione, e quindi da assenza di permeabilità per porosità. In normale stato di fratturazione è ipotizzabile una conducibilità idraulica media dell'ordine di  $2 \times 10^{-8}$  m/s. Va però ricordato che possono esistere dei livelli decementati (soprattutto in vicinanza delle faglie), ove si suppone che le conducibilità possano raggiungere valori dell'ordine di  $1 \times 10^{-6}$  m/s. Tra le pk 21+880 e 21+920 viene intercettata una zona di faglia. Le faglie in questi litotipi sono caratterizzate da una zona di danneggiamento, che però può presentare fenomeni di ricementazione o comunque fratture parzialmente riempite da materiale fine e da una o più zone di nucleo, spesso discontinue, in cui si concentra il materiale di frizione a granulometria fine. Nella zona di danneggiamento si possono ipotizzare conducibilità idrauliche medie dell'ordine di  $1 \times 10^{-7}$  m/s, benché possano esistere zone decementate con conducibilità maggiore; nella zona di nucleo si possono ipotizzare conducibilità inferiori a  $1 \times 10^{-7}$  m/s

Afflussi transitori in fase di scavo – Gli afflussi transitori attesi nei settori di ammasso in normale stato di fratturazione sono molto bassi e riferibili a semplici stillicidi. Non si può comunque escludere che, a causa della presenza molto sporadica di livelli decementati, localmente si riscontrino afflussi concentrati di entità superiore.

Afflussi più importanti, per quanto pur sempre piuttosto modesti, sono attesi in corrispondenza della zona di faglia, ove le portate in fase di scavo potrebbero raggiungere valori di 0,5 – 1 l/sx10m.

## 7.3 Interferenze con le risorse di superficie

Al fine di valutare la possibile interferenza tra l'opera e le risorse idriche di superficie è stato calcolato un indice di pericolosità di isterilimento per le sorgenti (Drawdown Hazard Index DHI, Dematteis et al., 1999). Si tratta di una metodologia di analisi probabilistica applicata allo scavo in sotterraneo, il cui approccio si basa sull'utilizzo di matrici di interazione binaria e globale (Hudson,

1992 e Jiao, 1995). Essa restituisce un valore di pericolosità di isterilimento della risorsa idrica che ricade nelle quattro classi indicate in Tabella 5. Le classi adottate non hanno una suddivisione lineare, ovvero non sono state suddivise in intervalli di uguale ampiezza, allo scopo di fornire una valutazione ampiamente cautelativa.

| DHI     | Grado di pericolosità |
|---------|-----------------------|
| 0-0.1   | trascurabile          |
| 0.1-0.2 | basso                 |
| 0.2-0.3 | medio                 |
| 0.3-1   | alto                  |

**Tabella 5 – Gradi di pericolosità di isterilimento delle sorgenti.**

Per una trattazione più approfondita di questa tematica si rimanda alla relazione idrogeologica generale ed ai relativi elaborati grafici (Carta di pericolosità d'isterilimento delle risorse idriche).

Sulla base delle elaborazioni eseguite la maggior parte delle sorgenti presenti nell'intorno significativo della WBS mostrano una pericolosità trascurabile, essendo sorgenti la cui portata è principalmente garantita da circuiti superficiali che non dovrebbero interferire con l'opera in sotterraneo. Inoltre l'opera in sotterraneo non intercetta alcun elemento geologico che possa essere ritenuto sede di circolazioni sotterranee significative.

|                                                                                                         |                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |
|                                                                                                         | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02 Foglio<br>28 di 31                                                     |

## 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.

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|                                                                                                                                                    | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02 <div style="float: right;">Foglio<br/>29 di 31</div>                                                           |

- Crispini, L. & Capponi, G. (2001) - Tectonic evolution of the Voltri Group and Sestri Voltaggio Zone (southern limit of the NW Alps): a review. *Ofioliti*, 26(2a), 161-164.
- D'Atri A. & Tateo F. (1994) - Volcano-sedimentary beds of Oligocene age from the Tertiary Piedmont Basin (NW Italy): biostratigraphy and mineralogy. *Giornale di Geologia*: III, 56/1, 79-95. Bologna.
- Dela Pierre F., Piana F., Fioraso G., Boano P., Bicchi E., Forno M.G., Violanti D., Clari P. & Polino R. (2003) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 157 "Trino". APAT Roma: 147 pp.
- Dematteis, A., Kalamaras, G. & Eusebio, A. (1999) - A systems approach for evaluating springs drawdown due to tunneling. *Atti del convegno AITES ITA*, 69 Hudson, 1992.
- Elter P. & Pertusati P. (1973) - Considerazioni sul limite Alpi-Appennino e sulle sue relazioni con l'arco delle Alpi occidentali. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 12: 359-375.
- Falletti P., Gelati R. & Rogledi S. (1995) - Oligo-Miocene evolution of Monferrato and Langhe, related to deep structures. In: R. POLINO & R. SACCHI (Ed.) *Atti Convegno Rapporti Alpi-Appennino. Acc. Naz. Sci., Sc. Doc.*, 14: 1-19.
- Fantoni R., Bello M., Ronchi P. & Scotti P. (2002) - Po Valley oil play: from the Villafortuna-Trecate field to South Alpine and Northern Apennines exploration. *EAGE Conf. Florence, Extended Abstracts Book*: 4 pp.
- Federico, L., Capponi, G., Crispini, L., & Scambelluri, M. (2004) - Exhumation of alpine high-pressure rocks: insights from petrology of eclogite clasts in the Tertiary Piedmontese basin (Ligurian Alps, Italy). *Lithos*, 74, 21-40.
- Festa A., Boano P., Irace A., Lucchesi S., Forno M.G., Dela Pierre F., Fioraso G. & Piana F. (2009a) - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 156 Torino Est. ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca ambientale, Roma.
- Fusinieri, A., in AA.VV. (1831) - *Annali delle Scienze del Regno Lombardo Veneto*. Tomo 1. Padova, tipografia del Seminario.
- Galbiati B. (1977) - La successione oligo-miocenica tra Rigoroso e Carrosio (Bacino ligure-piemontese). *Atti Ist. Geol. Univ. Pavia*, 26: 30-48.
- Gelati R. (1967) - Osservazioni stratigrafiche sull'Oligo-Miocene delle Langhe (Piemonte-Italia). *Pubbl. Ist. Geol. Univ. Milano*, 236: 1-18.
- Gelati R. (1968) - Stratigrafia dell'Oligo-Miocene delle Langhe tra le valli dei fiumi Tanaro e Bormida di Spigno. *Riv. Ital. Paleont. Strat.*, 74: 865-967.
- 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.

|                                                                                                         |                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |
|                                                                                                         | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02 <div style="float: right;">Foglio<br/>30 di 31</div>                   |

- 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.
- Ribacchi, R., Graziani, A., Boldini, D. (2002) - Previsione degli afflussi d'acqua in galleria e influenza sull'ambiente. *Atti del Convegno MIR 2002*, G. Barla Ed., Torino, 143-199.
- 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.

|                                                                                                         |                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |
|                                                                                                         | IG51-05-E-CV-RO-GN14-S0-001-A02 <div>Foglio<br/>31 di 31</div>                                         |

- Sturani, C. (1975) - Explanatory notes on the Western Alps (from the Sestri-Voltaggio line to the Val d'Ossola). Quaderni de "La ricerca scientifica", 90, 28.
- Sturani, C. (1973) - Considerazioni sui rapporti tra Appennino Settentrionale ed Alpi Occidentali. Estratto dal quaderno n. 183. Atti del Convegno sul tema: "Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino", 183, 119-142.
- Tateo F. (1992) - Studio mineralogico-geochimico di sedimenti vulcanoderivati (Oligocene-Miocene inferiore) nell'appennino settentrionale. PhD Thesis, Univ. Bologna, 216 pp.
- Tamponi, M. (1994) - Very-low and low grade metamorphism in Internal Ligurid units (northern Apennines, Italy). Plinius, 11, 190-194.
- Vanossi, M., Cortesogno, L., Galbiati, B., Messiga, B., Piccardo, G. & Vannucci, R. (1984) - Geologia delle Alpi Liguri: dati, problemi, ipotesi. Mem. Soc. Geol. It., 28, 11, 5-75.