

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 DEFINITIVO**

**BY-PASS DI COLLEGAMENTO TRA GALLERIA CAMPASSO E INTERCONNESSIONE DI VOLTRI**

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA**

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

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

| Progettazione : |             |                   |            |                           |            |                                  |            |
|-----------------|-------------|-------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| Rev             | Descrizione | Redatto           | Data       | Verificato                | Data       | Progettista Integratore          | Data       |
| A00             | Emissione   | GDP<br><i>WIP</i> | 04/05/2015 | Rocksoil<br><i>Tomasi</i> | 06/05/2015 | A. Palomba<br><i>[Signature]</i> | 08/05/2015 |
|                 |             |                   |            |                           |            |                                  |            |
|                 |             |                   |            |                           |            |                                  |            |



|           |                                 |
|-----------|---------------------------------|
| n. Elab.: | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 |
|-----------|---------------------------------|

|  |   |                           |
|--|---|---------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV<br/>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR<br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> |                           |
|  | <p>IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00</p>  | <p>Foglio<br/>2 di 35</p> |

## INDICE

|   |    |
|---|----|
| INDICE.....   | 2  |
| 1   PREMESSA .....  | 4  |
| 2   NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....  | 4  |
| 3   ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO .....   | 4  |
| 4   INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....  | 5  |
| 4.1   Corrispondenza tra le unità descritte nel PD/PE e le unità CARG .....   | 6  |
| 4.2   L'unità tettonometamorfica Figogna .....  | 8  |
| 4.2.1   Serpentiniti del Bric dei Corvi ("Serpentiniti, serpentinoscisti e oficalci" nella cartografia PE) SPF, Dogger–Malm (Se' nella cartografia di PE) ..... | 10 |
| 4.2.2   Metaoficalciti di Pietralavezzara.....  | 10 |
| 4.2.3   Metabasalti del M. Figogna.....   | 10 |
| 4.2.4   Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia.....  | 11 |
| 4.2.5   Metacalcari di Erzelli .....  | 11 |
| 4.2.6   Argille a Palombini del Passo della Bocchetta aP, AGI, AGF (Cretaceo inf.).....   | 12 |
| 4.3   Evoluzione strutturale .....  | 15 |
| 4.3.1   Gli eventi deformativi D1 e D2 .....  | 15 |
| 4.3.2   L'evento deformativo D3.....  | 16 |
| 4.3.3   L'evento deformativo D4.....  | 18 |
| 4.3.4   Contatti tra le unità.....  | 19 |
| 4.3.5   Deformazione fragile.....   | 19 |
| 4.4   Depositi quaternari .....   | 21 |
| 4.4.1   Coltri detritiche di versante .....   | 21 |
| 4.4.2   Depositi di frana .....   | 22 |
| 4.4.3   Depositi alluvionali .....  | 22 |
| 5   INDAGINI GEOGNOSTICHE .....   | 23 |
| 6   INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....  | 23 |
| 6.1   Considerazioni generali .....   | 23 |
| 6.2   Complessi idrogeologici.....  | 26 |
| 6.2.1   Complesso 15 (aP, dM, d", f, Mn, Se") .....   | 26 |
| 7   PROBLEMATICHE GEOLOGICHE A QUOTA OPERA .....  | 27 |
| 7.1   Condizioni geologiche.....  | 27 |
| 7.1.1   Scistosità e anisotropia dell'ammasso roccioso .....  | 27 |
| 7.1.2   Presenza di faglie .....  | 28 |



|       |  |    |
|-------|--|----|
| 7.1.3 | Grado di fratturazione medio al di fuori delle faglie .....                | 28 |
| 7.2   | Condizioni idrogeologiche.....   | 29 |
| 7.2.1 | Interferenze con le sorgenti .....   | 30 |
| 7.3   | Aspetti correlati alla geomorfologia e alla geologia del Quaternario ..... | 31 |
|       | BIBLIOGRAFIA.....  | 32 |

|  |   |
|--|---|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV<br/>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR<br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> |
|  | <p>IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio<br/>4 di 35</p>   |

## 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 GN00, che si riferisce alla realizzazione del by-pass di collegamento tra Galleria Campasso e Interconnessione di Voltri.

La presente nota descrive in sintesi 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.

## 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;

|   |  |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |
|   | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>5 di 35</span>                  |

- la redazione degli elaborati geologici del Progetto Esecutivo (PE).

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

Il gruppo di lavoro è così costituito:

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

#### 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di studio si colloca nella zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico (Figura 1), nota in letteratura come "nodo collisionale ligure" (Laubscher et al., 1992); questo settore ad elevata complessità strutturale è stato recentemente oggetto di una dettagliata revisione cartografica con la realizzazione del nuovo foglio CARG n° 213-230 "Genova" in scala 1:50.000 (Capponi et al., 2009).

Nell'area del Foglio Genova è possibile distinguere, da W verso E, tre settori caratterizzati dall'associazione di unità di crosta oceanica e di mantello, unità di margine continentale e unità costituite da flysch (Figura 1):

1. le **unità tettonometamorfiche<sup>1</sup> Voltri e Palmaro-Caffarella** ("*Gruppo di Voltri*" *auct.*): sono costituite dalle associazioni pre-cenomaniane di ofioliti e metasedimenti carbonatici del dominio oceanico ligure-piemontese. I litotipi dell'Unità Voltri hanno registrato un picco metamorfico eclogitico mentre la riequilibratura metamorfica delle rocce dell'Unità Palmaro-Caffarella è limitata alla facies scisti-blu (Federico et al. 2004). La distinzione sicura tra i litotipi delle due unità è in genere possibile solo a scala microscopica, in base ai caratteri mineralogico-petrografici.
2. la **Zona Sestri-Voltaggio** *auct.* (nel seguito ZSV): è costituita da tre unità tettonometamorfiche, di cui due ofiolitiche (Cravasco-Voltaggio e Figogna) e una di margine continentale (Gazzo-Isoverde). Il livello del metamorfismo è progressivamente decrescente

<sup>1</sup> Con il termine di "unità tettonometamorfica" si intende un volume roccioso caratterizzato da incompatibilità metamorfiche e strutturali rispetto ai volumi adiacenti.

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>6 di 35</span>  |

passando dalle unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde (facies scisti blu) all'Unità Figogna (facies pumpellyite-actinolite).

3. Il **dominio dei Flysch Appenninici**: è rappresentato dalle quattro unità tettoniche Mignanego, Montanesi, Ronco e Antola, sovrapposte con vergenza europea. Procedendo verso est, il grado metamorfico decresce da basso a bassissimo nelle prime tre unità fino ad arrivare a condizioni di diagenesi per l'Unità Antola.

La Zona Sestri-Voltaggio è in contatto, a est, con le unità tettoniche di basso grado che compongono il dominio dei Flysch Appenninici e, a ovest, con le unità tettonometamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella. Il contatto occidentale è sottolineato da una discontinuità regionale con direzione N-S, nota in bibliografia come *Linea Sestri-Voltaggio*; questo lineamento strutturale è classicamente ritenuto il limite fisico tra la catena alpina e quella appenninica, anche se le interpretazioni sulla sua natura sono spesso state tra loro discordanti: faglia trascorrente (Elter & Pertusati, 1973), sovrascorrimento (Cortesogno & Haccard, 1984) o faglia estensionale (Hoogerduijn Strating, 1994).

Attualmente la ZSV è ritenuta un canale di concentrazione preferenziale della deformazione tettonica che, lungo di essa, si è ripetutamente scaricata in momenti diversi della storia evolutiva della catena e in regimi tettonici corrispondenti a livelli strutturali differenti (Capponi et al., 2008).

Il tracciato della linea AC/AV Milano-Genova si sviluppa, in territorio ligure, a cavallo delle unità tettonometamorfiche Palmaro-Caffarella e Sestri-Voltaggio. A scala locale, il territorio in cui si colloca il sito di intervento è ubicato nell'areale di affioramento della ZSV e più precisamente entro la formazione delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (aP), dell'unità tettonometamorfica Figogna.

Le sigle e le età geologiche riportate a fianco dei nomi delle formazioni descritte fanno riferimento alla legenda adottata nel Progetto Definitivo della linea Milano-Genova (2004); viene inoltre riportato, per completezza, il corrispondente codice adottato nella cartografia CARG (Capponi et al., 2008).

#### 4.1 Corrispondenza tra le unità descritte nel PD/PE e le unità CARG

Nell'intento di garantire una continuità tra la terminologia adottata in fase di Progetto Definitivo e Esecutivo, senza tuttavia tralasciare le informazioni derivanti dai dati di letteratura più recenti, è stata realizzata una tabella (Tabella 1) in cui è messa a confronto la nomenclatura derivante dalla cartografia ufficiale (Foglio CARG "Genova"; Capponi et al., 2009) e quella adottata in base agli studi pre-2009 e utilizzata nell'ambito del Progetto Definitivo (2004) e del presente Progetto Esecutivo. Delle unità citate, solo quella delle Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP) interessa il settore in cui si situa l'intervento in progetto.



| Foglio 213-230 Genova<br>Cartografia Geologica d'Italia<br>Scala 1:50.000 |  |     | Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei<br>Giovi"<br>Progetto Definitivo |  |      | Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei<br>Giovi"<br>Progetto Esecutivo |  |      |
|---|--|-----|---|--|------|--|--|------|
| Unità Figogna   | Argilloscisti di Murta                               | AGF | Unità Timone - Bric Teiolo  | Argilliti a Palombini del passo<br>della Bocchetta | aP   | Unità Figogna  | Argille a Palombini del passo<br>della Bocchetta     | aP   |
|   | Argilloscisti di Costagiutta                         | AGI |   | Calcarei di Erselli                                | cE   |  | Metacalcarei di Erselli                              | cE   |
|   | Metacalcarei di Erzelli                              | ERZ |   | Scisti silicei                                     | d'   |  | Metasedimenti silicei della<br>madonna della Guardia | dM   |
|   | Metasedimenti silicei della<br>madonna della Guardia | MHF |   | Metabasalti  | B'   |  | Metabasalti del Monte Figogna                        | B'   |
|   | Metabasalti del Monte Figogna                        | MBF |   | Serpentiniti, serpentinoscisti e<br>oficalci       | Se'  |  | Serpentiniti del Bric dei Corvi                      | Se'  |
|   | Serpentiniti del Bric dei Corvi                      | SPF |   | -  | -    |  | Metaoficalciti di Pietralavezzara                    | of'  |
|   | Metaoficalciti di Pietralavezzara                    | PLV |   |  |      |  |  |      |
| Unità Cravasco-Voltaggio  | Scisti filladici del monte Larvego                   | LRV | Unità Cravasco-Voltaggio  | Metargilliti filladiche                            | f    | Unità Cravasco-Voltaggio   | Argilloscisti filladici del monte<br>Larvego         | f    |
|   | Calcarei di Voltaggio                                | VOL |   | Calcarei di Voltaggio                              | cV   |  | Calcarei di Voltaggio                                | cV   |
|   | Metasedimenti silicei dell'Osteria<br>dello zucchero | MHC |   | -  | -    |  | Metasedimenti silicei dell'Osteria<br>dello zucchero | d''  |
|   | Metabasalti di Cravasco                              | CVS |   | Metabasalti  | B''  |  | Metabasalti di Cravasco                              | B''  |
|   | Metagabbri del Monte Lecco                           | MGC |   | Metagabbri   | mG   |  | Metagabbri   | mG   |
|   | Serpentiniti di Case Bardane                         | SPV |   | Serpentiniti e serpentinoscisti                    | Se'' |  | Serpentiniti di Case Bardane                         | Se'' |
|   |  |     |   | Metaoficalciti                                     | of'' |  |  |      |
| Unità Gazzo-<br>Isoverde  | Meta-argilliti di Bessega                            | MBG | Unità Monte Gazzo-<br>Isoverde  | Metargilliti nere                                  | Mn   | Unità Gazzo -<br>Isoverde  | Meta-argilliti di Bessega                            | Mn   |
|   | Calcarei di Lencisa                                  | LEN |   | Calcarei di Gallaneto                              | cG   |  | Calcarei di Lencisa                                  | eN   |
|   | Calcarei di Gallaneto                                | GLL |   | Gessi, anidriti e carniole                         | gc   |  | Calcarei di Gallaneto                                | cG   |
|   | Gessi del Rio Riasso                                 | GSR |   | Calcarei dolomiti del Monte Gazzo                  | dG   |  | Gessi, anidriti e carniole (Gessi<br>del Rio Riasso) | gc   |
|   | Dolomie del Monte Gazzo                              | MDG |   |  |      |  | Dolomie del Monte Gazzo                              | dG   |

**Tabella 1 - Tabella nomenclaturale riassuntiva delle unità litostratigrafiche della Zona Sestri-Voltaggio presenti in letteratura, messi a confronto con i termini e le sigle adottate nelle fasi di progettazione Definitiva ed Esecutiva.**

## 4.2 L'unità tettonometamorfica Figogna

L'unità tettonometamorfica Figogna è costituita da un basamento metaofiolitico e dalla relativa copertura metasedimentaria; la successione-tipo presenta alcuni caratteri peculiari rispetto alle sequenze di crosta oceanica delle altre unità: nei basalti, generalmente con tessitura a *pillow*, sono presenti livelli di ialoclastiti e brecce più o meno rimaneggiate, filoni basaltici e dioritici. I gabbri, generalmente ben rappresentati nelle altre unità, sono volumetricamente molto ridotti.

L'unità Figogna corrisponde all'unità denominata "Timone - Bric Teiolo" dagli autori pre-CARG, denominazione adottata anche nel Progetto Definitivo (2004); essa include le seguenti formazioni:

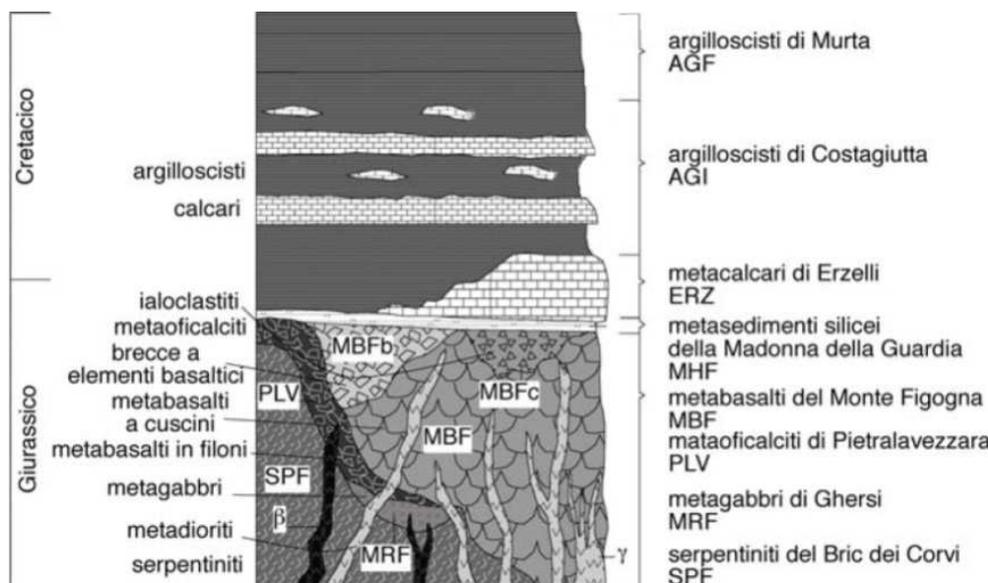
- Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP) (suddivise nella cartografia CARG nelle due sottounità degli "argilloscisti di Murta, AGF" e degli "argilloscisti di Costagiutta, AGI");
- Metacalcarei di Erzelli;
- Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia;
- Metabasalti del M. Figogna;
- Serpentiniti del Bric dei Corvi (zona di deformazione di Scarpino).

Uno schema sintetico dei rapporti stratigrafici all'interno dell'unità Figogna è presentato nella successiva Figura 2, da cui si osserva come la successione scisti silicei / metacalcari / argilloscisti costituisca la copertura del substrato ofiolitico costituito essenzialmente da metabasalti + serpentiniti.

Nel Foglio CARG Genova l'unità Figogna è interpretata come una serie ofiolitifera rovesciata, posizionata lungo il fianco inverso di una piega anticlinale plurichilometrica coricata, successivamente ripiegata a formare una struttura regionale sinforme; infatti, come si nota dal profilo geologico di Figura 3 (traccia BB' in Figura 1), la successione basalti / scisti silicei / calcari / argilloscisti rappresentata nella colonna stratigrafica di Figura 2 è rovesciata: infatti i basalti si trovano in posizione geometricamente soprastante, formando la culminazione della dorsale spartiacque e così via gli altri litotipi fino agli argilloscisti, che rappresentano il termine geometricamente più basso.

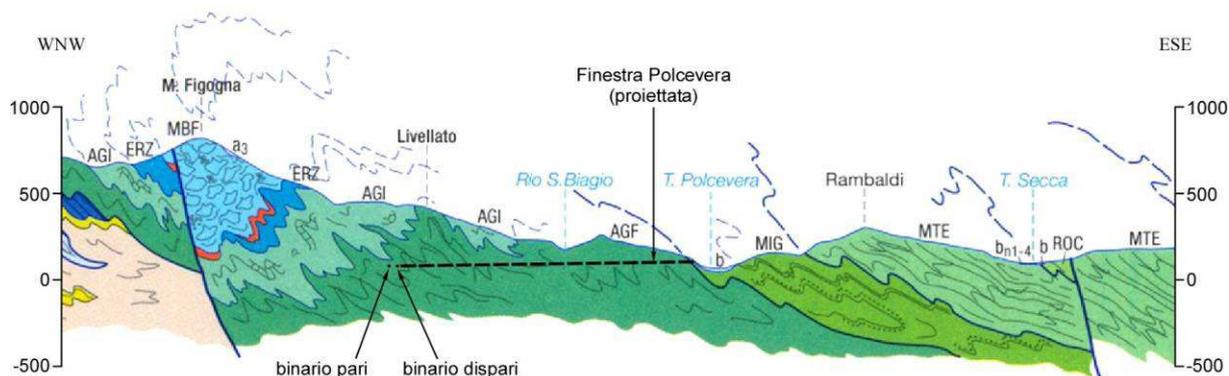
Secondo gli autori inoltre, le fasi deformative più recenti riattiverebbero i contatti tra le singole formazioni, generando superfici di scollamento lungo cui si determina una strutturazione a sovrascorrimenti interni all'unità (Capponi et al., 2008; cfr. Figura 3).

I metabasalti, relativamente indisturbati, sono interessati, nel settore occidentale dell'unità, da numerose faglie transpressive dirette N-S e a vergenza W, che determinano dei raddoppiamenti (duplex) della sequenza serpentiniti-metabasalti. Queste strutture sviluppano, soprattutto nelle serpentiniti, tessiture cataclastiche che sembrano agire da orizzonte plastico, assorbendo la maggior parte della deformazione. Al limite occidentale dell'unità si osservano inoltre scaglie di termini sedimentari bacinali, pinzate tra le metabasiti e le adiacenti unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo.



**Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici tra le varie formazioni che costituiscono l'unità tettonometamorfica Figogna (Capponi et al., 2008).**

|  |  |                    |
|--|--|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |                    |
|  | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00  | Foglio<br>10 di 35 |



**Figura 3 – Stralcio del profilo geologico BB' attraverso la Val Polcevera e la dorsale del M. Figogna, estratto dal Foglio CARG “Genova” (cfr. Figura 1). Il profilo si colloca in corrispondenza della pk 4+764 (binario pari). È riportata la traccia della Finestra Polcevera, ubicata circa 1,5 km a N dell'estremità settentrionale dell'area di interesse (cfr. Figura 1). Per la legenda litologica (sigle) si veda la Tabella 1.**

La parte occidentale dell'unità Figogna ricade all'interno di una potente fascia di deformazione tettonica, che arriva a comprendere le dolomie del M. Gazzo, ed è caratterizzata da due piani di deformazione cataclastica di estensione regionale, riferibili a un regime deformativo di tipo transpressivo: la *zona di deformazione di Timone*, coincidente con le “serpentiniti di Case Bardane” della cartografia CARG e la *zona di deformazione di Scarpino*, coincidente con le “serpentiniti del Bric dei Corvi” della cartografia CARG).

#### 4.2.1 *Serpentiniti del Bric dei Corvi (“Serpentiniti, serpentinoscisti e oficalci” nella cartografia PE) SPF, Dogger–Malm (Se' nella cartografia di PE)*

Serpentiniti a crisotilo, antigorite e lizardite, a tessitura cataclastica con fenomeni di deformazione duttile legati a pieghe di trascinamento disarmoniche e a strutture di flusso cataclastico sviluppate attorno a litoni di relitti lherzolitici, serpentinitici o di oficalci. Sono localmente presenti filoni di metabasalti rodingitizzati.

Sono distribuite sul fianco occidentale del M. Figogna e allungate in direzione N-S a definire una fascia di taglio cataclastico di potenza pluriettometrica, immergente verso E con inclinazioni medie comprese tra 45° e 65°.

#### 4.2.2 *Metaoficalciti di Pietralavezzara*

*of', Dogger? – Malm? (PLV nella cartografia CARG)*

Brecce tettoniche di fondo oceanico, talvolta rimaneggiate, a clasti prevalentemente serpentinitici e a cemento carbonatico, in corpi di dimensioni da decametriche a chilometriche affioranti principalmente tra Pietralavezzara e il Passo della Bocchetta.

#### 4.2.3 *Metabasalti del M. Figogna*

*B', Malm? (MBF nella cartografia CARG)*

|   |  |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |
|   | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>11 di 35</span>                 |

Si tratta di metabasalti massivi e a pillow, con orizzonti di breccie basaltiche a tessitura fluidale, più raramente in filoni massicci a tessitura doleritica e con locali filoni decimetrico-metrici di metadioriti. I metabasalti si presentano poco deformati; un accenno di scistosità è più evidente dove si osserva lo stiramento dei pillow, che raramente è accentuato.

Nelle parti centrali della formazione si osservano breccie basaltiche non deformate, con matrice a tessitura fluidale evidenziata da tessiture vacuolari primarie preservate. Presso la cresta spartiacque del M. Figogna sono osservabili facies ialoclastitiche vere e proprie. Più a S, nella cava di Borzoli, ubicata nella parte bassa in asse alla struttura, sono presenti orizzonti di oficalci, interessati da campi di fratture tensionali suturate da calcite.

I metabasalti, relativamente indisturbati da Borzoli al M. Figogna, sono interessati, nel settore occidentale, da numerose faglie transpressive dirette N-S e a vergenza W, che delimitano dei duplex della sequenza serpentiniti-metabasalti. Queste strutture sono associate a tessiture cataclastiche, soprattutto nelle serpentiniti, che nella sequenza serpentinite/basalto sembrano agire da orizzonte plastico, assorbendo la maggior parte della deformazione. A ridosso del limite occidentale dell'unità si osservano nuovamente scaglie dei termini bacinali sedimentari, pinzate tra le metabasiti e le unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo. A nord del M. Figogna i metabasalti affiorano in lembi allungati e discontinui di origine tettonica, all'interno della formazione degli argilloscisti di Costagiutta (§ 0), dove sono frequentemente associati a lembi di metasedimenti silicei (§ 4.2.4), metacalcari (§ 4.2.5) e metaoficalciti.

#### 4.2.4 Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia

*dM, Malm? (MHF nella cartografia CARG)*

Formano lembi sottilissimi e discontinui, sempre in associazione con i basalti nella caratteristica posizione stratigrafica che questi depositi conservano nelle successioni ofiolitifere. Possono essere rappresentati da scisti silicei, rossi o più raramente verdi e da ftniti zonate con sporadici livelli radiolaritici, oppure da scisti quarzosi rosso-rosati, fittamente foliati e con giunti. Il loro spessore medio non supera di solito i pochi metri (Marini, 1998). Localmente sono intercalati a peliti grigie e possono presentare livelli inquinati da prodotti vulcanoclastici (zona ad ovest del M. Figogna; Cortesogno & Haccard, 1984). Differiscono dai diaspri appartenenti alle serie Liguridi, in quanto queste ultime mostrano caratteri marcatamente propri di radiolariti e selci.

#### 4.2.5 Metacalcari di Erzelli

*cE, Malm? - Cretacico Inf.? (ERZ nella cartografia CARG)*

Si tratta di calcari microcristallini finemente arenacei di spessore fino a pluridecimetrico, talora foliati, con giunti pelitici; in alcuni strati sono osservabili tracce di gradazione torbidityca (Marini, 1998). Questa formazione è stata definita anche come "calcareniti" (Cortesogno & Haccard, 1984), e "calcaires en bancs" (Haccard, 1976).

La formazione è costituita da una sequenza serrata di strati deformati di calcari grigi a patina d'alterazione bianco-cinerina; sono riferibili a calcari micritici, spesso impuri per una più o meno

|   |  |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |
|   | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>12 di 35</span>                 |

abbondante frazione terrigena silicoclastica (soprattutto argilla e quarzo detritico) e con giunti di emipelagiti argillose nere; nelle zone ove questi sono più importanti, gli strati calcarei si presentano spesso boudinati. Accentuati processi di ricristallizzazione sono evidenziati dalla presenza di strati foliati con livelli di fillosilicati concentrati nell'intervallo pelitico maggiormente marnoso.

Gli strati calcarei maggiormente arenacei conservano alla base evidenti laminazioni sedimentarie e mostrano le caratteristiche di originarie torbiditi; la non trascurabile componente terrigena torbiditica farebbe presumere ambienti di deposizione pericontinentali (Marini, 1998).

La potenza è stimata in poche decine di metri, non superando i 50-60 metri nelle zone di migliore affioramento (Est di Erzelli; M. Figogna).

#### 4.2.6 Argille a Palombini del Passo della Bocchetta aP, AGI, AGF (Cretaceo inf.)

L'unità delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta", descritta come un complesso litostratigrafico unico dagli autori pre-CARG e dal Progetto Definitivo, è stata successivamente suddivisa nel foglio CARG Genova in due sottounità (cfr. Figura 2):

- argillocisti di Costagiutta (codice CARG: AGI);
- argillocisti di Murta (codice CARG: AGF).

Per coerenza con il Progetto Definitivo e per evitare eccessive confusioni, si è scelto di mantenere la terminologia e il codice pre-CARG (aP), indicando, dove possibile, l'attribuzione dei litotipi affioranti all'una o all'altra delle due sottounità CARG sopra citate e distinguendo cartograficamente, sempre ove possibile, le due litofacies principali.

Le due sottounità AGI e AGF occupano posizioni strutturalmente e litostratigraficamente distinte: gli argillocisti di Costagiutta in posizione soprastante, gli argillocisti di Murta in posizione sottostante; i rapporti reciproci a scala regionale sono esemplificati dal profilo geologico di Figura 3, estratto dal foglio CARG "Genova". Il profilo ha un'orientazione E-W e passa per la sommità del M. Figogna, appena a sud del tracciato della finestra Polcevera. I rapporti geometrico-strutturali tra le due unità sono complicati dalla presenza di sistemi di pieghe ovest-vergenti, riferibili in gran parte all'evento deformativo D3 (§ 4.3.2).

Dal punto di vista litostratigrafico, la sottounità degli **argillocisti di Costagiutta** è costituita da alternanze di argillocisti e di calcari cristallini ("Palombini" auct.), metapeliti scistose grigio-nerastre, più o meno siltose, metasiltiti e metaareniti in strati centimetrici, con intercalazioni di metacalcilutiti siltose più o meno marnose, di colore grigio o grigio-bruno in strati e banchi, più frequenti alla base della successione. I cosiddetti "Palombini" sono rappresentati da calcari cristallini comprendenti calcari micritici silicei, di colore grigio scuro tendente al grigio azzurro, a tessitura massiva, più raramente stratificata, calcari arenacei e meno frequenti calcari marnosi, che formano strati e banchi di potenza variabile da pochi cm a 1.5-2 m.

Lo spessore degli strati è generalmente centimetrico, ma nella parte alta della sequenza si osserva una stratificazione più irregolare con strati decimetrici e interstrati pelitici foliati. Sono frequenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro.

|   |  |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |
|   | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>13 di 35</span>                 |

L'assenza di contenuto paleontologico non consente di determinare con precisione l'età della formazione che, per analogia con le Argille a Palombini delle successioni Liguri, è ipotizzata barremiano-albiana (Capponi et al., 2009).

Le giaciture individuate sono frequentemente la media di una stratificazione disturbata da serie di pieghe più o meno frammentate; la scistosità descrive frequentemente pieghe a ginocchio con cerniere più o meno acute e pieghe serrate, a scala da centimetrica a pluridecametrica. Gli argilloscisti di Costagiutta affiorano diffusamente a E della dorsale del M. Figogna e, in misura minore, sul suo lato occidentale, dove sono in contatto tettonico con le unità Gazzo e Cravasco-Voltaggio. Nel settore meridionale del Foglio Genova affiorano soprattutto lungo il T. Chiaravagna e sono segnalati in scavi di fondazione e sondaggi; nel settore settentrionale si estendono diffusamente oltre il confine regionale, da Pietralavezzara a Fraconalto (AL).

Gli **Argilloscisti di Murta** a differenza dei precedenti sono privi dei caratteristici interstrati calcarei, i "Palombini" auct. che hanno dato il nome all'intera formazione. Sono rappresentati da un'alternanza di argilloscisti filladici color grigio scuro e grigio argenteo (Figura 4), a patina sericitica, con intercalazioni di sottili straterelli calcarei, di metasiltiti e di metaareniti fini, color grigio chiaro, nocciola in alterazione, con laminazioni piano-parallele localmente convolute. Gli strati hanno generalmente spessore da centimetrico a decimetrico; sono presenti orizzonti con strati fino a 30 cm di argilliti e metasiltiti.

Il rapporto stratimetrico metaareniti/metapeliti è di 1:2. Le superfici di strato su roccia fresca sono normalmente lucide, con veli di sericite talcosa al tatto, talvolta con tracce di scorrimento interstrato e aspetto vetrificato (fenomeni di dinamometamorfismo); possono essere presenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro. I contatti con le unità sopra- e sottostanti sono di tipo tettonico.

L'unità affiora in una fascia allungata N-S, da Sampierdarena a Campomorone e oltre, in territorio piemontese, separando verso est gli argilloscisti di Costagiutta dall'unità flyschoidi di Mignanego (dominio dei Flysch Appenninici). L'età presunta è cretacea.

Le giaciture della stratificazione sono vergenti ad E presso il contatto con il Flysch di Mignanego, mentre nella direzione opposta (verso W) le giaciture sono raramente significative, poiché la stratificazione è disturbata da fitte sequenze di pieghe strizzate alla macroscale con assi orientati circa NNE-SSW.

#### 4.2.6a *Le Argille a Palombini*

Nel settore oggetto di studio affiorano, in superficie, i litotipi della formazione delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (aP); in accordo con l'interpretazione suggerita dal Foglio CARG "Genova", il settore interessato dallo scavo della WBS in oggetto ricade all'interno dell'unità degli Argilloscisti di Murta (AGF), nella metà meridionale e negli Argilloscisti di Costagiutta (AGI), nella metà settentrionale. Questi ultimi sono strutturalmente sottostante agli argilloscisti di Murta, come mostrato nella sezione di Figura 3.

In sintesi, le due litofacies si differenziano per la presenza (Argilloscisti di Costagiutta, AGI) o l'assenza (Argilloscisti di Murta, AGF) di livelli di calcari micritici silicei a grana fine ("Palombini").

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00  |
|  | Foglio 14 di 35  |

Nella metà meridionale dell'area di interesse della WBS in oggetto, l'unità AGI affiora in una stretta fascia verso lo spartiacque e, data l'immersione generale verso W, dovrebbe prevalere in un settore a W del tracciato della galleria preso in considerazione; in effetti, in superficie, il settore circostante l'asse della galleria è caratterizzato dall'affioramento diffuso di argilloscisti omogenei e privi di orizzonti calcarei. Tuttavia, come si vedrà nel capitolo relativo alle indagini geognostiche, i sondaggi AA301G045 e SC18 hanno incontrato, tra 40 e 80 m, dei livelli decimetrici di calcari grigi che potrebbero essere riferiti alla litofacies calcarea AGI.

La litofacies caratteristica in affioramento è un argilloscisto privo di interstrati calcarei, a tessitura fittamente laminata, di colore da ocraceo a grigio scuro e di aspetto sericeo o grafitoso, sovente con lenti centimetrico-decimetriche a quarzo e/o quarzo + calcite, parallelizzate alla foliazione principale e con essa piegate (Figura 4). Gli argilloscisti sono molto alterati nei primi metri dalla superficie, principalmente per ossidazione, dissoluzione del carbonato e argillificazione parziale delle fasi feldspatiche; con la profondità l'ammasso roccioso tende rapidamente a chiudersi, nello spazio di 4-6 m e il grado di alterazione tende a ridursi significativamente.

Il contatto tra le unità di Costagutta e di Murta non è individuabile con precisione sul terreno, trattandosi più probabilmente di un passaggio transizionale, come indicato dalla colonna stratigrafica di Figura 2.

Verso W, in direzione della dorsale spartiacque, gli argilloscisti AGF passano quindi gradualmente agli argilloscisti AGI per la graduale comparsa di intercalazioni carbonatiche decimetrico-metriche (tra l'altro non sempre presenti). Gli argilloscisti (AGI o AGF, a seconda dei casi) sono in contatto, verso W, con un sottile livello di Metacalcari di Erzelli (cE/ERZ), cui segue un livello ancora più sottile e discontinuo di scisti silicei (d', MHF); questi sono, a loro volta, in contatto stratigrafico con la grande massa di metabasalti del M. Figogna (B', MBF) che forma la dorsale montuosa allungata in direzione N-S tra il M. Figogna e Sestri Ponente.

L'insieme comprendente metacalcari, scisti silicei e metabasalti forma una sequenza stratigrafica rovesciata (Figura 2), collocata in posizione geometricamente soprastante alla formazione aP e immergente verso W. I litotipi descritti non vanno quindi a intercettare il tracciato ferroviario nell'area di interesse (Figura 3).

Anche la presenza di lenti tettoniche di metabasalti e scisti silicei all'interno degli argilloscisti aP, piuttosto comune a nord di Campomorone, sembra qui da escludere in base ai dati di terreno; anche il foglio CARG non riporta la presenza di intercalazioni di questa natura nel settore di studio.

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>15 di 35</span>   |



Figura 4 – Argiloscisti pieghettati dalla fase D3 in sponda destra del Rio Trasta, a sud dell’area di intervento.

### 4.3 Evoluzione strutturale

All’interno dell’unità Figogna i limiti stratigrafici originari sono sovente trasposti ma localmente possono ancora essere considerati come contatti stratigrafici.

L’evoluzione strutturale che caratterizza le unità tettonometamorfiche presenti nell’area è definita da quattro eventi deformativi principali (Capponi & Crispini, 1997). Le associazioni strutturali legate a questi quattro eventi sono riferibili a traiettorie seguite dai volumi rocciosi attraverso livelli cristallini via via più superficiali.

#### 4.3.1 Gli eventi deformativi D1 e D2

I primi due eventi, definiti D1 e D2, hanno caratteri geometrici simili e sono rappresentati da sistemi di pieghe isoclinali-traspositive a tutte le scale, cui si accompagna lo sviluppo di una superficie composita, pervasiva a scala regionale, che è generalmente quella più evidente alla scala dell’affioramento (scistosità principale o SP).

Le pieghe D1/D2 hanno assi orientati tra NNW-SSE e NNE-SSW e piani assiali immergenti a medio-alto angolo generalmente verso E; l’inclinazione della SP aumenta procedendo da W a E, fino a divenire subverticale in corrispondenza della Zona Sestri-Voltaggio.

Le pieghe D1/D2 sono distinguibili tra loro con certezza solo quando sono sovrapposte geometricamente e possono assumere geometrie variabili tra le pieghe cilindriche e le pieghe a guaina. Nell’unità Figogna, le paragenesi metamorfiche sin-D1/D2 sono quelle tipiche della facies a pumpellyite-actinolite (Crispini & Capponi, 2001).

|   |  |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |
|   | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>16 di 35</span>                 |

#### 4.3.2 L'evento deformativo D3

L'evento deformativo D3, sviluppatosi in condizioni metamorfiche comprese tra le facies scisti verdi e scisti verdi inferiore, è caratterizzato dalla coesistenza di sistemi di pieghe e zone di taglio, che testimoniano una progressiva transizione delle unità tettonometamorfiche verso livelli crostali più superficiali (Capponi & Crispini, 2002).

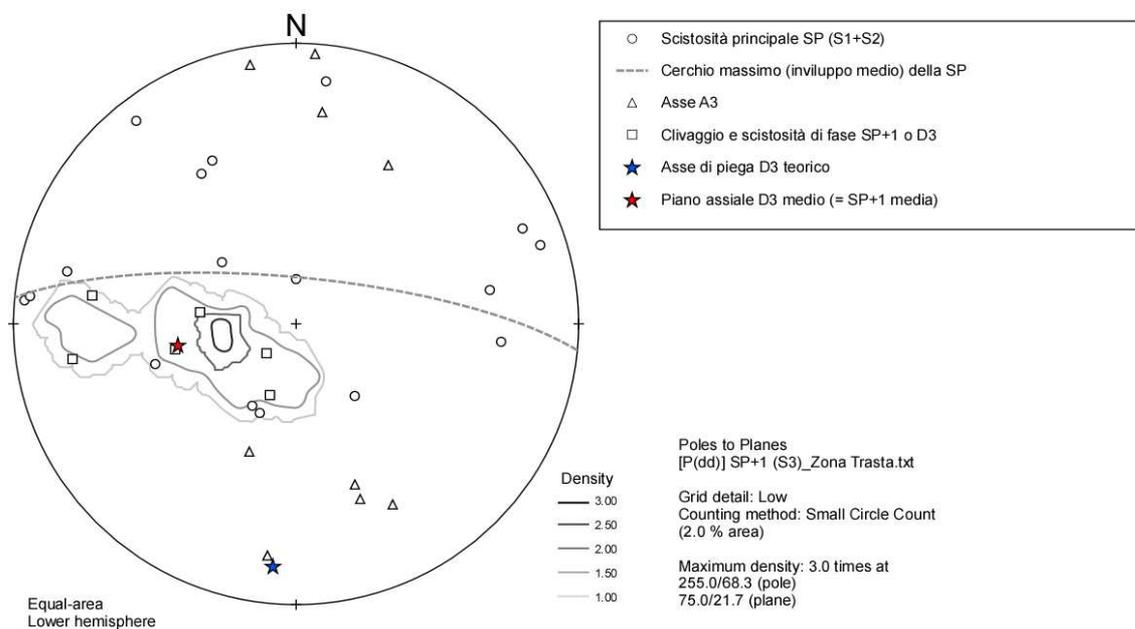
Le pieghe D3 sono strutture aperte da submillimetriche a pluriettometriche (es.: Figura 6), con assi debolmente inclinati sia verso NNE che verso SSW. Questa fase deformativa verticalizza la foliazione regionale SP e i fianchi delle strutture D1/D2 e si esprime in modo abbastanza eterogeneo.

Alle pieghe piegamento D3 si associano, soprattutto in zona di cerniera e lungo i fianchi rovesciati, zone di taglio duttile-fragile, a basso angolo e con cinematismo inverso; queste zone sono subparallele ai piani assiali 3 con direzione WNW-ESE e hanno caratteri che testimoniano un'intensa attività di fluidi carbonatici tipica di sistemi idrotermali a controllo tettonico. L'azione metasomatica è stata tale da idratare e carbonatare le rocce trasformandole; le serpentiniti, ad esempio, sono state trasformate in scisti a clorite, tremolite e actinolite, oppure in serpentiniti carbonatate.

Queste zone di taglio si sono probabilmente sviluppate progressivamente, in un ampio intervallo di tempo: esse possono infatti sia tagliare le pieghe D3, sia essere piegate da queste. L'analisi cinematica condotta dagli autori citati suggerisce per l'evento D3 una direzione regionale di raccorciamento finito con direzione NW-SE.

##### 4.3.2a La deformazione D3 nelle Argille a Palombini dell'area di studio

L'assetto strutturale della formazione delle "Argille a Palombini" è caratterizzato dalla presenza di una scistosità composita (S1+S2) pervasiva, con orientazione molto dispersa ma nel complesso con disposizione media tangente a un cerchio massimo ("best-fit girdle" in Figura 5) con giacitura 005/76. Questa disposizione della SP, che determina in affioramento giaciture immergenti sia verso E sia verso W, è determinata da una fitta successione di pieghe con stile da aperto a serrato, sovente disarmoniche e con fianchi rovesciati, ad asse mediamente diretto N-S, riferibili all'evento deformativo D3 precedentemente descritto.


 file: [P(dd)] SP\_Zona Trasta.txt  
n = 17

Data differ significantly from uniform at the 0.95 level

 Expected Distribution: Girdle  
Preferential Orientation: None

Fold Axis: azimuth/plunge = 185.4/13.5

Best-fit Girdle: dipdir/dip = 5.4/76.5

Radius of confidence at 5%: 32.98 degrees

K = 2.14

Eigenvectors:

- 1: 281.7 / 24.6

- 2: 69.1 / 61.5

- 3: 185.4 / 13.5

**Figura 5 – Proiezione stereografica equiareale di Schmidt (emisfero inferiore) relativa ai dati strutturali misurati negli argilloscisti affioranti nel settore di studio. Le giaciture misurate sul terreno sono individuate dai seguenti simboli: cerchi (SP), quadrati (SP+1), triangoli (A3).**

In superficie si osservano serie di pieghe decimetrico-metriche a tutte le scale (Figura 4, Figura 6), che interessano in maniera pervasiva l'ammasso roccioso e che si associano allo sviluppo di un clivaggio spaziato di piano assiale (SP+1), localmente passante a una vera e propria scistosità (S3) che occasionalmente oblitera quasi la SP composita preesistente.

Nel settore della WBS in esame (area Murta-Carpinello-Chiappino-Morasso-Trasta) i piani assiali D3 e la foliazione S3 associata immergono mediamente verso N79°E tra 20 e 70° ca. (cfr. simboli quadrati e contour in Figura 5). L'involuppo delle giaciture della SP composita identifica un asse di piega A3 (teorico) con giacitura 185/14 (asterisco blu in Figura 5).

L'asse A3 teorico (che coincide con il polo del "best fit girdle") è in ottimo accordo con la giacitura degli assi di piega A3 misurati sul terreno, identificati dai simboli a triangolo in Figura 5.

Le più antiche pieghe isoclinali D1+D2 associate allo sviluppo della SP formano per lo più cerniere intrafoliali trasposte, visibili a scala decimetrica o centimetrica; non sono individuabili strutture di maggiori dimensioni riferibili alle fasi deformative precoci.

Nel complesso quindi, l'ammasso roccioso presenta una forte anisotropia data dalla scistosità principale pervasiva, con struttura molto eterogenea a scala metrico-decametrica, ma relativamente uniforme alla scala dell'intera opera. Allo stato attuale delle conoscenze, l'assetto geologico in corrispondenza della WBS in oggetto si può comunque ritenere noto con sufficiente precisione, data la notevole omogeneità litologica della formazione degli Argilloscisti di Murta (AGF).

|  |  |                    |
|--|--|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |                    |
|  | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00  | Foglio<br>18 di 35 |

Il modello geologico di riferimento locale è supportato dai dati derivanti da alcuni sondaggi eseguiti in fase di PP e di PD nelle immediate vicinanze dell'opera, in primo luogo il sondaggio AA301G048 (PP), quindi i fori AA301G045 e AA301G049 (PP) e SC18 (PD).



**Figura 6 – Argiloscisti pieghettati dalla fase D3 nel settore a W della borgata di Trasta. Si nota un evidente clivaggio di piano assiale, con spaziatura centimetrica, legato alle pieghe D3.**

Sulla base di tutte le informazioni disponibili, il modello geologico di riferimento è da considerare sufficientemente affidabile, pur tenendo conto dell'estrema variabilità strutturale, in particolare per quanto riguarda la giacitura della foliazione principale, in rapporto allo scavo, per effetto di pieghe aperte di fase D3 a scala decametrica e/o per la possibile presenza di zone di faglia e/o piani di taglio cataclastico non individuati sul terreno e in sondaggio.

Si tratta comunque di differenze relativamente poco significative rispetto al quadro di riferimento generale delineato nel presente rapporto.

Per quanto riguarda la presenza in profondità di lenti di metabasalti e associati scisti silicei, questa appare un'evenienza alquanto improbabile, poiché tali intercalazioni di natura tettonica si rinvencono nell'unità delle Argille a Palombini esclusivamente a nord del settore M. Figogna / Campomorone.

#### 4.3.3 L'evento deformativo D4

L'evento deformativo D4 è espresso omogeneamente da un'associazione strutturale di pieghe, sovrascorrimenti e sistemi di faglie.

Le pieghe D4 sono strutture aperte plurichilometriche, con assi suborizzontali diretti tra N-S e NW-SE. I piani assiali sono inclinati verso W e sono talora associati a clivaggi che sviluppano minerali

|   |  |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |
|   | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>19 di 35</span>                 |

della facies a zeoliti. Si tratta di strutture fortemente asimmetriche, con una marcata vergenza tra E e NE.

Le pieghe D4 deformano i livelli di età oligocenica del Bacino Terziario Piemontese (Capponi et al., 2001) senza tuttavia coinvolgere i termini del Miocene inferiore; grazie a questi vincoli stratigrafici è possibile delimitare l'evento D4 alle fasi iniziali del Miocene inferiore.

I fianchi delle pieghe D4 sono frequentemente riattivati come sovrascorrimenti, con direzione di trasporto tra E e NE, associati allo sviluppo di rocce di faglia di potenza fino a decametrica. Queste strutture sono caratterizzate da fronti con persistenza chilometrica e sono associate a mineralizzazioni a zeolite, clorite e carbonati, indicative di livelli crostali piuttosto superficiali.

#### 4.3.4 Contatti tra le unità

Secondo Capponi et al. (2008) il contatto tettonico tra l'unità Figogna e le due unità adiacenti Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde è posteriore alla fase composita D1+D2 ed è caratterizzato da zone di taglio milonitiche e cataclastiche sviluppate principalmente nei litotipi argillitici delle diverse unità.

Lungo la foliazione milonitica degli argilloscisti dell'unità Figogna sono presenti lenti da decametriche a chilometriche di metaofioliti, calcari e gessi che, secondo Capponi et al. (2008), costituiscono dei *boudin* trasposti lungo zone di taglio milonitico antecedenti alla deformazione D3, dalla quale risultano piegati.

Le unità tettoniche orientali, composte da flysch non metamorfici, sono sovrapposte tettonicamente all'unità tettonometamorfica Figogna secondo superfici immergenti verso est, anche se il riconoscimento dei contatti è problematico per la convergenza litologica dei litotipi e per la scarsa percentuale di affioramento.

#### 4.3.5 Deformazione fragile

All'evento D4 vengono riferiti alcuni sistemi di faglie ad alto angolo, organizzati in due diversi domini strutturali (Capponi et al., 2009), a nord e a sud del settore di contatto tra l'Unità Voltri e la Zona Sestri-Voltaggio. Nel dominio settentrionale le faglie hanno direzioni NW-SE e NE-SW, mentre in quello meridionale sono presenti faglie dirette N-S e NE-SW. L'andamento della Zona Sestri-Voltaggio, delimitata da queste strutture, è caratterizzato a N da direzioni NW-SE, al centro da direzioni NNE-SSW e infine a S da direzioni N-S.

Gli indicatori cinematici forniscono sensi di movimento prevalentemente trascorrenti destri, molte volte con componente inversa. Nelle zone di faglia N-S e NW-SE sono inoltre comuni strutture "a fiore" positivo.

Le faglie del sistema NE-SW sono solitamente meno persistenti e possono tagliare i sistemi di faglie N-S e NW-SE. Queste strutture sono localmente molto frequenti, definendo zone di concentrazione della deformazione, che possono agire come svincoli meccanici (*tear faults*) dei sovrascorrimenti D4.

|  |  |
|--|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> |
|  | <p style="text-align: center;">IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio<br/>20 di 35</p>                               |

Sistemi minori di faglie normali dirette NNE-SSW e WSW-ENE ed E-W, con persistenza anche chilometrica, possono tagliare tutte le strutture precedenti. In tutti i sistemi di faglie sono comuni fenomeni di riattivazione tardiva con movimenti di tipo normale.

Le associazioni strutturali D4 (pieghe + faglie) sono geometricamente e cinematicamente congruenti con un raccorciamento regionale di direzione NE-SW, correlato all'instaurarsi di un regime transpressivo destro attivo fino all'inizio del Miocene inferiore. Questo quadro cinematico sarebbe in accordo con il contesto geodinamico oligocenico-miocenico di questo settore della catena alpina, caratterizzato da una tettonica transpressiva legata alla convergenza obliqua delle placche europea e adriatica. In particolare, la zona Sestri-Voltaggio rappresenterebbe un sistema di svincolo destro di ordine minore, necessario ad accomodare la trascorrenza regionale sinistra del bordo meridionale della placca Adria (Capponi et al., 2008).

#### 4.3.5a *La deformazione fragile nell'area di studio*

Nell'area di studio non sono state individuate in affioramento faglie significative, anche e soprattutto perché le condizioni di affioramento non sono favorevoli alla loro osservazione e gli indizi morfologici e fotogeologici non appaiono sufficienti, da soli, a stabilire se nell'area siano presenti o meno delle strutture fragili importanti.

Le riprese aeree disponibili consentono comunque di individuare alcuni fotolineamenti, ad esempio brusche variazioni della direzione degli alvei, tratti di impluvio approssimativamente rettilinei o scarpate con andamento lineare, che potrebbero corrispondere, almeno in alcuni casi, a zone di maggiore debolezza del substrato individuate da faglie e fratture, lungo le quali si imposta di preferenza l'erosione. La bassa percentuale di affioramento non consente tuttavia una verifica efficace dei singoli fotolineamenti sul terreno.

I principali set di lineamenti identificati hanno direzione compresa tra NE-SW e ENE-WSW (L1) e subordinatamente N-S (L2) e WNW-ESE (L3). La spaziatura tra i fotolineamenti rilevati nell'intorno dell'opera è dell'ordine di 100-200 m ca. La WBS oggetto di studio interseca alcuni di questi lineamenti, in particolare due più persistenti, identificati con "A" e "B".

Anche il tratto d'alveo del Rio Ciliegia che corre a cavallo della WBS in oggetto sembra corrispondere a un lineamento approssimativamente rettilineo del set L3, tuttavia anche in questo caso non vi è evidenza chiara di strutture tettoniche significative.

Ai fotolineamenti osservati si aggiungono alcune faglie, individuate dalla cartografia CARG, che sono da considerare solo presunte, in quanto sul terreno non vi è una chiara evidenza della loro presenza; infatti, l'apparente dislocazione delle unità litostratigrafiche lungo tali strutture, indicata nel Foglio "Genova", spesso non è chiaramente determinabile sul terreno, a causa della bassa percentuale di affioramento e potrebbe essere spiegata altrettanto efficacemente con semplici variazioni della giacitura legate alla deformazione duttile.

Per tale motivo, la loro presenza a quota galleria è solo presunta ma non accertata.

Per quanto riguarda le discontinuità minori, si può osservare che:

|   |  |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>                |
|   | <p style="text-align: center;">IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio<br/>21 di 35</p> |

- piccoli piani di taglio a medio-basso angolo non cartografabili (mesofaglie), associati a cataclasi di spessore centimetrico, sono talora osservabili negli argilloscisti in associazione a clivaggi di piano assiale di pieghe aperte D3; l'associazione tra piani assiali D3 e zone di taglio cataclastico a cinematismo inverso è riconosciuta in diversi altri settori della Val Polcevera.
- Nei sondaggi descritti nel successivo § 5, gli argilloscisti attraversati sono caratterizzati dalla presenza sporadica di zone di roccia brecciata e argillificata, che ricorrono relativamente di rado, con spaziatura per lo meno ettometrica e che possono essere riferiti sia a zone di faglia sia a piani di taglio cataclastico a basso angolo. Una faglia in particolare, intercettata dal sondaggio SC18, è stata estrapolata sia in superficie, dove potrebbe coincidere con un fotolineamento di direzione NNE-SSW, sia a quota galleria.
- Zone di relativo incremento della deformazione fragile ed eventualmente di cataclasi possono infine essere associate a scorrimenti interstrato (*slip* flessurale), anch'essi legati al piegamento D3.

In definitiva, è molto probabile che l'ammasso roccioso lungo l'asse della galleria possa essere interessato da alcune strutture fragili che, in base a quanto si osserva sul terreno e in sondaggio, dovrebbero essere di potenza relativamente ridotta (alcuni metri) e non dovrebbero determinare un peggioramento diffuso delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso, al di fuori della *damage zone* loro associata.

#### 4.4 Depositi quaternari

L'insieme dei depositi quaternari viene brevemente descritto di seguito per completezza, anche se la galleria in esame si sviluppa a profondità tale da non interferire in alcun modo con le formazioni superficiali.

##### 4.4.1 Coltri detritiche di versante

La coltre detritica di versante ha, nell'area considerata, caratteri litologici fortemente condizionati dalla litologia del substrato. Le "Argille a Palombini" sono piuttosto sensibili all'alterazione superficiale; in questi litotipi, la dominante granulometria fine della roccia determina la formazione di prodotti residuali di tipo siltoso-argilloso che tendono ad avere permeabilità molto bassa; anche la roccia inalterata è caratterizzata da bassa permeabilità, per cui l'orizzonte di alterazione superficiale non si estende a grande profondità.

Tipicamente, quindi, la coltre detritico-colluviale che si origina da questi litotipi ha, sui versanti e nelle zone di cresta, uno spessore esiguo, inferiore a 1 m; negli impluvi e al piede dei versanti, processi di dissesto superficiale (colamenti, soliflussi, *mud flow*, ecc.) possono accumulare spessori di materiale detritico più consistenti (da 3 a 6 m).

Nell'area di studio, il detrito di versante è costituito da limi argillosi localmente sabbiosi, inglobanti elementi litoidi da centimetrici a pluridecimetrici costituiti da frammenti riferibili al substrato cristallino; sulla base delle osservazioni effettuate in sito lo spessore medio di questi depositi può essere cautelativamente valutato in circa 1-3 m; solo localmente può raggiungere spessori sensibilmente maggiori (5-8 m).

|   |  |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |
|   | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>22 di 35</span>                 |

#### 4.4.2 Depositi di frana

Sulle successioni argillitiche affioranti sul versante destro della Val Polcevera i depositi di frana sono generalmente poco potenti, in quanto derivano essenzialmente da dissesti a carattere superficiale, sviluppati a carico dei primi metri di coltre detritica e di substrato alterato.

Le caratteristiche di tali depositi sono analoghe a quelle della coltre detritico-colluviale, cioè granulometria fine, frazione limoso-argillosa non trascurabile (sono quindi depositi quindi almeno parzialmente coesivi), bassa permeabilità, scarsa capacità drenante, possibilità di rimobilizzazione.

I dissesti di questo tipo si attivano per lo più come colate di fango e detrito, che si formano in occasione di eventi piovosi di forte intensità, oppure come soliflussi a lenta evoluzione, favoriti dalla saturazione del terreno. L'estensione dei singoli fenomeni franosi legati a questa categoria di suoli è in genere piuttosto esigua.

Nell'area rilevata per lo studio della WBS in oggetto, frane Di questo tipo sono localizzate essenzialmente al piede dei versanti delle valli principali tributarie della Val Polcevera, soprattutto se in presenza di fenomeni di erosione spondale attiva, oppure in corrispondenza di sbancamenti stradali che hanno destabilizzato il pendio per alcuni metri a monte della strada.

#### 4.4.3 Depositi alluvionali

Sono costituiti principalmente da ghiaie medie e grossolane a matrice sabbiosa e da ghiaie e sabbie limose.

I torrenti minori dell'area, tributari del Polcevera, tra i quali il Rio Ciliegia e il Rio Molinassi, presentano sempre depositi alluvionali discontinui e di spessore ridotto, per lo più inferiore a 1 m, costituiti da ghiaie sabbiose e sabbie limose; i corsi d'acqua presenti nell'area di studio e, più in generale, in tutto il settore della Val Polcevera, sono caratterizzati da una marcata attività erosiva e da alvei in costante approfondimento, per cui il letto di questi corsi d'acqua è in gran parte caratterizzato dall'affioramento del substrato prequaternario e da un ridotto spessore di alluvioni recenti, che formano dei lembi di terrazzo discontinui, sopraelevati di 1-2 m rispetto all'alveo attuale.

Più a sud, al di fuori dell'area di interesse, la Val Polcevera è occupata in buona parte da depositi alluvionali grossolani, poiché riceve apporti dallo smantellamento dei rilievi impostati non solo nelle formazioni argillitiche e flyschoidi, ma anche nelle rocce metamorfiche della ZSV. Dati di sondaggi mettono comunque in evidenza anche settori con matrice a forte componente limosa e subordinatamente argillosa, a conferma dell'alimentazione molto eterogenea. Verso lo sbocco a mare tali livelli raggiungono un notevole spessore (pluridecametrico). Lo spessore dei depositi alluvionali della Val Polcevera (risalenti fino al Pliocene inferiore) è per lo più irregolare poiché essi colmano una superficie erosionale che, verso il settore a mare, può raggiungere i - 30/- 35 m rispetto all'attuale livello marino.

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>23 di 35</span>   |

## 5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

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

| codice | Fase progettuale | Caratteristiche/Descrizione  |
|--------|------------------|--|
| L5-S3  | PE               | Depositi detritico-colluviali, Argille a Palombini del Passo della Bocchetta |
| L5-S8  | PE               | Depositi detritico-colluviali, Argille a Palombini del Passo della Bocchetta |

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** (cfr. § 6.2) 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 2.

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

**Tabella 2 – 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).**

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.

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

|  |   |
|--|---|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR<br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> |
|  | <p style="text-align: center;">IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio<br/>25 di 35</p>  |

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, 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 PP e 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 limitate.

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>26 di 35</span>   |

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. Modello idrogeologico generale

## 6.2 Complessi idrogeologici

La zona interessata dal progetto della linea del III Valico è stata suddivisa, su base litologica, in diversi *complessi idrogeologici* a permeabilità differente, distinguendo lungo l'asse delle gallerie settori con comportamento idrogeologico omogeneo.

I sistemi di flusso idrico sotterraneo possono svilupparsi all'interno di un solo complesso idrogeologico, quando questo è limitato lateralmente da complessi meno permeabili, oppure possono attraversare più complessi permeabili adiacenti.

La formazione delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (aP), interessata dallo scavo della WBS in oggetto, corrisponde, insieme ad altre unità litostratigrafiche, al complesso idrogeologico 15.

### 6.2.1 Complesso 15 (aP, dM, d", f, Mn, Se")

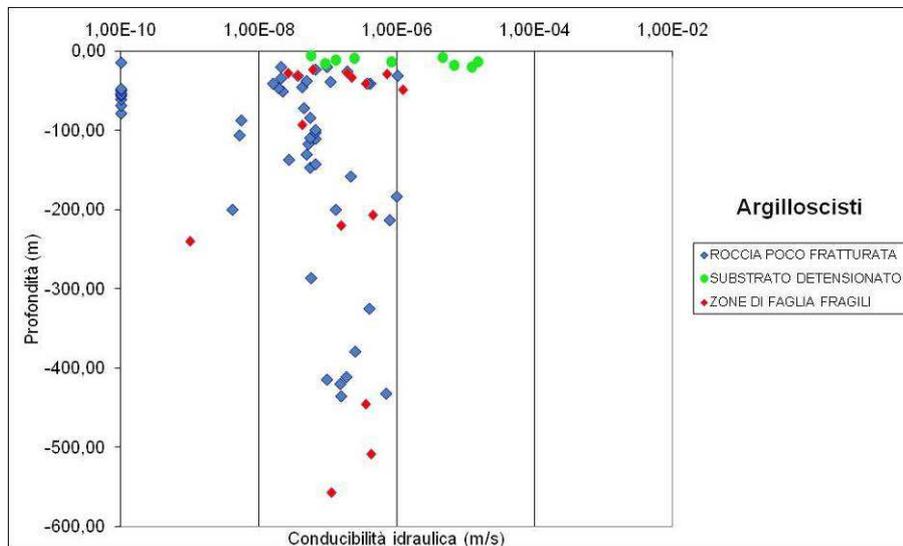
I litotipi di questo complesso idrogeologico fanno parte di unità metamorfiche ove la permeabilità è sostanzialmente legata al grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, a sua volta dipendente dalla reologia del tipo di roccia considerato.

I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra  $1 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-8}$  m/s, meno frequentemente tendenti  $1 \times 10^{-6}$  m/s, come evidenziato dal diagramma di Figura 7.

Il grafico evidenzia altresì valori per la conducibilità fino a  $1 \times 10^{-10}$  m/s, che possono essere riconducibili a situazioni locali in cui la frazione fillosilicatica, essendo predominante, abbassa ulteriormente i valori di conducibilità dell'ammasso roccioso.

Dall'osservazione dei sondaggi è stato possibile inserire nel diagramma di Figura 7 una serie di dati che rappresentano la permeabilità dell'ammasso roccioso detensionato nei primi metri al di sotto della superficie (indicativamente da 5 fino a 20 m); tali dati mostrano conducibilità molto più elevate, comprese tra  $1 \times 10^{-5}$  e  $1 \times 10^{-7}$  m/s.

Dall'analisi dei sondaggi e dal confronto con i dati di terreno sono state individuate delle zone di faglia ove sono state eseguite delle prove di tipo idraulico. Il grafico (Figura 7) mostra una certa dispersione dei valori, anche se si può osservare che la conducibilità nelle faglie è distribuita in un intervallo tra  $10^{-6}$  e  $10^{-7}$  m/s nelle prove eseguite a profondità più basse (fino a 100 m), mentre l'intervallo si sposta tra  $10^{-7}$  e  $10^{-9}$  m/s man mano che la profondità aumenta. Dalle osservazioni di terreno si può ipotizzare che lungo le faglie di questo complesso le permeabilità maggiori siano relative alle zone di danneggiamento, mentre le zone di nucleo possono presentare un effetto di compartimentazione per lo sviluppo di rocce di faglia a granulometria fine e con componente argillosa (gouge di faglia) generalmente impermeabile.



**Figura 7 - Grafico delle conducibilità idrauliche per gli argilloscisti da prove in foro di sondaggi del Progetto Preliminare, Definitivo ed Esecutivo. Sono state distinte prove eseguite in roccia poco fratturata, substrato detensionato e zone di faglia.**

## 7 PROBLEMATICHE GEOLOGICHE A QUOTA OPERA

### 7.1 Condizioni geologiche

Il by-pass considerato si sviluppa all'interno della formazione delle Argille a Palombini del P.so della Bocchetta (aP), costituita da argilloscisti, metapeliti scistose grigio-nerastre, più o meno siltose, metasiltiti e metaareniti in strati centimetrici, con intercalazioni di metacalcilutiti siltose più o meno marnose, di colore grigio o grigio-bruno in strati e banchi.

La litofacies a dominante "argilloso-pelitica" riferibile agli Argilloscisti di Murta (Ap\_AGF) affiora localmente nell'area di studio ed è ipotizzabile che anche alla quota di relizzazione del by-pass verranno attraversate litofacies analoghe (Ap\_AGF).

L'unità interessata dallo scavo della galleria è quindi rappresentata in prevalenza dalla litofacies degli Argilloscisti di Murta (Ap\_AGF), anche se tuttavia, in assenza di indagini geognostiche non si può escludere la locale presenza della litofacies degli Argilloscisti di Costagiutta con livelli calcarei (Ap\_AGI).

Per la descrizione litologica e strutturale di dettaglio si rimanda al capitolo 4.

#### 7.1.1 Scistosità e anisotropia dell'ammasso roccioso

Lo scavo del by-pass verrà realizzato in un ammasso roccioso caratterizzato da una notevole omogeneità litologica e da una forte anisotropia strutturale, quest'ultima dovuta alla presenza di una

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>28 di 35</span>   |

fitta foliazione metamorfica, con spaziatura da submillimetrica a centimetrica e alle frequenti variazioni di giacitura riscontrabili a tutte le scale, per effetto delle pieghe di fase D3.

Al di fuori delle zone di faglia, l'ammasso roccioso sarà quindi abbastanza omogeneo se considerato alla scala dell'intero sviluppo dell'opera, ma strutturalmente eterogeneo alla scala del fronte di scavo.

La distribuzione della deformazione D3 è il principale fattore condizionante questa eterogeneità strutturale: il motivo geometrico dominante lungo lo sviluppo dell'opera sarà la presenza di pieghe aperte e disarmoniche, da centimetriche a pluridecametriche, con vergenza prevalente verso W o WSW, probabilmente associate a piccoli piani di taglio cataclastico, immergenti verso E-ENE, con cinematismo prevalentemente inverso, sviluppati parallelamente al piano assiale delle pieghe e più frequenti in zona di cerniera e di fianco inverso.

### 7.1.2 Presenza di faglie

Nel settore d'indagine non è stata direttamente riscontrata la presenza di faglie in affioramento, soprattutto per l'estesa copertura di detrito, suolo e vegetazione, che limitano fortemente la percentuale di affioramento.

Il profilo interpretativo allegato non riporta faglie principali potenzialmente in grado di intercettare l'asse della WBS in esame.

Oltre a queste strutture, è probabile che l'ammasso sia caratterizzato dalla presenza di piani di taglio cataclastico a basso-medio angolo, a cinematismo prevalentemente inverso, paralleli ai clivaggi di piano assiale della fase D3 (superfici SP+1 o S3). Questi piani possono essere associati allo sviluppo di fasce cataclastiche di spessore da centimetrico a pluridecimetrico.

Diverse faglie minori, rappresentate sia da strutture discordanti, sia da piani di taglio lungo superfici di scorrimento flessurale intra-foliazione, potranno essere incontrate in più punti lungo lo scavo, tuttavia non si tratta di strutture in grado di determinare un sensibile decadimento delle condizioni geomeccaniche generali.

### 7.1.3 Grado di fratturazione medio al di fuori delle faglie

Il grado di fratturazione al di fuori delle zone di faglia può variare da medio a basso, con sviluppo di fratture più nette all'interno di livelli più compatti e di clivaggi di fratturazione pervasivi nei livelli più fillosilicatici. La superficie di discontinuità principale è rappresentata dalla scistosità, che facilita la suddivisione dell'ammasso in lastre e scaglie appiattite, con spaziatura centimetrico-decimetrica.

Per quanto riguarda la valutazione qualitativa del grado di stabilità del fronte di scavo, sono state stimate condizioni di stabilità a breve-medio termine, al di fuori delle zone di faglia; condizioni di instabilità localizzata, con possibili splaccamenti, localizzati principalmente in calotta o sul paramento sinistro (considerando una direzione di avanzamento verso N), potranno verificarsi nel caso che la foliazione intersechi l'asse tunnel con direzione ad esso subparallela, immersione prevalente verso W e inclinazione a medio-basso angolo (20-50° dall'orizzontale).

|   |  |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |
|   | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>29 di 35</span>                 |

## 7.2 Condizioni idrogeologiche

Gli argilloscisti attraversati sono caratterizzati da permeabilità per fratturazione da bassa a molto bassa e non costituiscono quindi un acquifero significativo, salvo possibili condizioni di maggiore permeabilità legate alla presenza delle zone di faglia. In base ai dati idrogeologici raccolti durante lo scavo delle finestre Castagnola e Val Lemme, risulta che le tratte scavate hanno incontrato un ammasso roccioso, costituito da argilloscisti con intercalazioni di “palombini”, sostanzialmente impermeabile. Ad eccezione delle zone di imbocco, più permeabili e con stillicidi più o meno diffusi (portate medie di 0.5 l/s per 10 m di galleria), la restante parte delle due gallerie non ha messo in evidenza significative venute d’acqua, ad esclusione di alcune piccole manifestazioni idriche nei tratti con maggiore densità di intercalazioni di “palombini” fratturati; le venute risultano comunque di entità molto modesta e di durata limitata nel tempo.

Nella WBS in esame quindi, negli argilloscisti della formazione aP con o senza livelli calcarei, si attendono in assenza di faglie, condizioni generalizzate di umidità e solo localmente stillicidi da deboli a diffusi, in particolare nelle zone con debole copertura, dove gli scisti sono alterati e maggiormente permeabili.

La permeabilità all’interno delle zone di faglia minori non differisce di molto rispetto a quella dell’ammasso in normale stato di fratturazione, poiché la tessitura fortemente scistosa e la dominante componente fillosilicatica degli argilloscisti prevengono lo sviluppo di larghe fasce di fratturazione, accomodando parte della deformazione attraverso scorrimenti intra-scistosità.

I piani di faglia principali, associati allo sviluppo di prodotti di frizione a forte componente argillosa (gouge) possono addirittura svolgere un’azione di compartimentazione dell’acquifero, piuttosto che rappresentare canali a maggiore conduttività, data la bassa permeabilità delle rocce di faglia argillose. Le fasce idraulicamente più trasmissive, legate alle faglie, sono quindi limitate a uno spessore di pochi metri di roccia intensamente fratturata (*damage zone*), ai lati dei piani di taglio principali.

Alle strutture fragili precedentemente descritte potranno essere associate venute d’acqua di debole entità (stillicidi concentrati e/o piccole venute puntuali) in rapido esaurimento nel tempo; il resto dello scavo sarà in prevalenti condizioni di umidità.

Nel complesso quindi, lo scavo del camerone non presenta problematiche particolari dal punto di vista idrogeologico, considerata la bassa permeabilità dei litotipi attraversati, la bassa copertura, l’assenza di un acquifero profondo significativo e l’assenza di un bacino di alimentazione esteso.

In base ai dati idrogeologici pregressi, relativi allo scavo della Finestra Polcevera, risulta che l’intera tratta scavata negli argilloscisti della formazione aP presenta condizioni generalizzate di umidità e solo localmente stillicidi da deboli a diffusi, in particolare nelle zone con debole copertura, dove gli scisti sono alterati e maggiormente permeabili.

È probabile che le medesime condizioni si ripetano anche in corrispondenza della WBS oggetto del presente rapporto.

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00 <span style="float: right;">Foglio<br/>30 di 35</span>   |

### 7.2.1 Interferenze con le sorgenti

Nel corso dei rilievi eseguiti per il PE è stata fatta una verifica del censimento dei punti d'acqua realizzato in fase di PD, allo scopo di verificare e validare, attraverso ulteriori approfondimenti geologici, l'eventuale rischio di interferenza e isterilimento definito, nel PD, attraverso l'indice DHI (Dematteis et al., 1999).

La verifica svolta sulle sorgenti, captate e non, prossime all'area di intervento, ha confermato l'esistenza di due tipologie di emergenze:

- 1) sorgenti alimentate da circuiti idrogeologici superficiali e localizzati, che risiedono nella coltre detritica di versante e nella sottostante fascia di substrato roccioso più allentata e alterata, per uno spessore complessivo della zona satura che solitamente non supera i 4-5 m e che, anzi, spesso si riduce a meno di 2 m.
- 2) Sorgenti potenzialmente alimentate da circuiti idrogeologici profondi, localizzati in particolare nella *damage zone* associata a lungo discontinuità (faglie) principali.

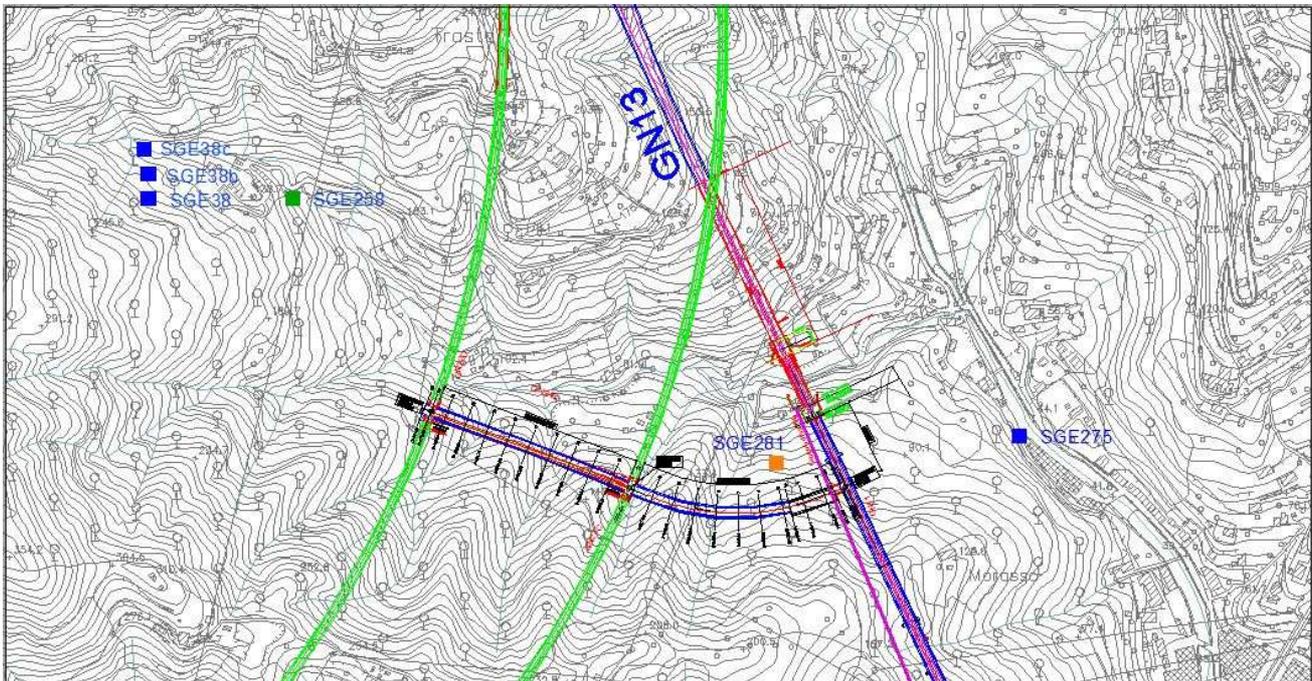
Gli acquiferi del tipo (1) hanno un carattere discontinuo e sono alimentati direttamente dalle precipitazioni; l'estensione dei bacini idrogeologici di alimentazione coincide con l'estensione dei bacini idrografici a monte della sezione di chiusura a cui si collocano le emergenze idriche; i bacini idrografici, separati dalle dorsali spartiacque, non risultano in comunicazione reciproca dal punto di vista idrogeologico.

Le emergenze idriche si manifestano nei punti in cui il substrato meno fratturato affiora o si approssima comunque alla superficie topografica; diverse emergenze puntuali situate alla testata dei bacini imbriferi alimentano i piccoli corsi d'acqua stagionali che incidono il substrato; un carattere frequentemente riscontrato in questi rii è il progressivo incremento della portata man mano che si scende verso il fondovalle, a testimonianza di un'alimentazione diffusa proveniente dall'acquifero superficiale lungo tutta la lunghezza dell'asta.

L'acquifero superficiale è, quindi, nettamente separato dall'acquifero in roccia, il che determina un rischio di interferenza per le sorgenti presenti nell'area pressoché nullo.

Gli acquiferi del tipo (2) possono avere un'alimentazione non direttamente controllata dalle precipitazioni e quindi meno soggetta a variazioni stagionali.

I valori del DHI per le sorgenti situate nell'intorno dell'opera in questione sono riportati in Figura 8, da cui emerge che la sorgente con la sigla SGE281 presenta una pericolosità d'isterilimento media, dal momento che ricade in prossimità sia dell'imbocco della Galleria Campasso che dell'innesto del bypass. La sorgente SGE258 presenta una pericolosità d'isterilimento basso, mentre le restanti presentano pericolosità trascurabile/non riconosciuta.



| PUNTI D'ACQUA E PERICOLOSITA' D'IMPATTO                            |                        |                                   |       |       |      |
|--|------------------------|-----------------------------------|-------|-------|------|
| Tipo punto d'acqua   | Pericolosità           |                                   |       |       |      |
|  | Valore non disponibile | Nessuna pericolosità riconosciuta | Bassa | Media | Alta |
| Sorgente captata   | —                      | ▲                                 | ▲     | ▲     | ▲    |
| Sorgente non captata   | —                      | ●                                 | ●     | ●     | ●    |
| Pozzi  | □                      | ■                                 | ■     | ■     | ■    |
| Punti d'acqua segnalati di cui non si conosce l'eventuale utilizzo | —                      | ●                                 | ●     | ⊗     | ●    |

Figura 8 - Analisi dell'indice DHI calcolato per la WBS in esame.

### 7.3 Aspetti correlati alla geomorfologia e alla geologia del Quaternario

Data la posizione dell'opera prevista rispetto alla superficie, l'influenza di fenomeni geomorfologici superficiali e della presenza di formazioni quaternarie è da ritenersi di scarsa rilevanza.

Nella carta geologico-geomorfologica allegata, sono comunque riportati i principali depositi alluvionali pleistocenico-attuali e gli accumuli dei principali fenomeni gravitativi dedotti in base alla banca dati IFFI e a verifiche di terreno.

|   |  |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |
|   | <p>IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio<br/>32 di 35</p>               |

## BIBLIOGRAFIA

- Amorosi A., Ricci Lucchi F. & Tateo F. (1995) - The Lower Miocene siliceous zone: a marker in the palaeogeographic evolution of the northern Apennines. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 118: 131-149.
- Barelli, V. (1835) - Cenni di statistica mineralogica degli stati di S.M. il Re di Sardegna. Tipografia Fodratti, Torino.
- Biella G., Polino R., De Franco R., Rossi P.M., Clari P., Corsi A. & Gelati R. (1997) - The crustal structure of the western Po plain: reconstruction from the integrated geological and seismic data. *Terra Nova*, 9: 28-31.
- Biella G.C., Gelati R., Lozej A., Rossi P.M. & Tabacco I. (1988) - Sezioni geologiche nella zona limite Alpioccidentali-Appennino settentrionale ottenute da dati geofisici. *Rend. Soc. Geol. It.*, 11: 287-292.
- Boni A. & Casnedi R. (1970) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000: Fogli 69 e 70 "Asti" e "Alessandria". Poligrafica & Carte Valori, Ercolano: 64 pp.
- Briano, G., Isella, L., Restagno, S., Rodino, A., Trimboli, M. & Vigo, M. (2011) - Problematiche idrogeologiche, geotecniche e di gestione del rischio, associate alle vecchie aree estrattive in ambito urbano nei gessi di Isoverde. Convegno di Geologia Urbana (Genova), Poster. <http://www.sggconsult.it>
- Capponi, G. & Crispini, L. (1997) - Progressive shear deformation in the metasediments of the Voltri Group (Ligurian Alps, Italy): occurrence of structures recording extension parallel to the regional foliation. *Boll. Soc. Geol. It.*, 116, 267 - 277.
- Capponi, G. & Crispini, L. (2002) - Structural and metamorphic signature of alpine tectonics in the Voltri Massif (Ligurian Alps, northwestern Italy). *Eclogae Geol. Helv.*, 95, 31-42.
- Capponi, G., Crispini, L., Giammarino, S., Bruzzo, D., Garofano, M., Lano, M., Piazza, M., Vigo, E., Del Tredici, S. & Pacciani, G. (2007) - Carta Geologica d'Italia. Foglio 231-214 Genova. Progetto CARG, Università di Genova/Dip.Te.Ris., Regione Liguria.
- Capponi, G., Crispini, L., Piazza, M. & Amandola, L. (2001) - Field constraints to the Mid-Tertiary kinematics of the Ligurian Alps. *Ophioliti*, 26(2b), 409-416.
- Capponi, G., Crispini, L., Cortesogno, L., Gaggero, L., Firpo, M., Piccazzo, M., Cabella, R., Nosengo, S., Bonci, M.C., Vannucci, G., Piazza, M., Ramella, A., Perilli, N., et alii (2009) - Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 213-230 - Genova.
- Castellarin A. (1994) - Strutturazione eo- e mesoalpina dell'Appennino settentrionale attorno al "nodo ligure". *Studi Geol. Camerti*, vol. spec., CROP 1-1A: 99-108.
- Castello, B., Moro, M., Chiarabba, C., Di Bona M., Doumaz F., Selvaggi G., Amato A. (2004) - Carta della sismicità in Italia. Centro Nazionale Terremoti - INGV.
- Chiarabba, C., Jovane, L. & Di Stefano, R. (2005) - A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings. *Tectonophysics*, 395, 251-268.
- Cortesogno L., Di Battistini G., Lucchetti G. & Venturelli G. (1979) - Metamorphic assemblages of two high pressure-low temperature ophiolitic units of central-western Liguria: mineralogical and chemical features and tectonic significance. *Ophioliti*, 4 (2): 121-156.

|   |  |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>                |
|   | <p style="text-align: center;">IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio<br/>33 di 35</p> |

- Cortesogno L. & Haccard D. (1984) - Note illustrative alla carta geologica della zona Sestri-Voltaggio. Mem. Soc. Geol. It., 28: 115-150.
- Crispini, L. & Capponi, G. (2001) - Tectonic evolution of the Voltri Group and Sestri Voltaggio Zone (southern limit of the NW Alps): a review. *Ofioliti*, 26(2a), 161-164.
- D'Atri A. & Tateo F. (1994) - Volcano-sedimentary beds of Oligocene age from the Tertiary Piedmont Basin (NW Italy): biostratigraphy and mineralogy. *Giornale di Geologia*: III, 56/1, 79-95. Bologna.
- Dela Pierre F., Piana F., Fioraso G., Boano P., Bicchi E., Forno M.G., Violanti D., Clari P. & Polino R. (2003) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 157 "Trino". APAT Roma: 147 pp.
- Dematteis, A., Kalamaras, G. & Eusebio, A. (1999) - A systems approach for evaluating springs drawdown due to tunneling. *Atti del convegno AITES ITA*, 69 Hudson, 1992.
- Elter P. & Pertusati P. (1973) - Considerazioni sul limite Alpi-Appennino e sulle sue relazioni con l'arco delle Alpi occidentali. *Mem. Soc. Geol. It.*, 12, 359-375.
- Falletti P., Gelati R. & Rogledi S. (1995) - Oligo-Miocene evolution of Monferrato and Langhe, related to deep structures. In: R. POLINO & R. SACCHI (Ed.) *Atti Convegno Rapporti Alpi-Appennino*. Acc. Naz. Sci., Sc. Doc., 14: 1-19.
- Fantoni R., Bello M., Ronchi P. & Scotti P. (2002) - Po Valley oil play: from the Villafortuna-Trecate field to South Alpine and Northern Apennines exploration. *EAGE Conf. Florence, Extended Abstracts Book*: 4 pp.
- Federico, L., Capponi, G., Crispini, L., & Scambelluri, M. (2004) - Exhumation of alpine high-pressure rocks: insights from petrology of eclogite clasts in the Tertiary Piedmontese basin (Ligurian Alps, Italy). *Lithos*, 74, 21-40.
- Festa A., Boano P., Irace A., Lucchesi S., Forno M.G., Dela Pierre F., Fioraso G. & Piana F. (2009a) - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 156 Torino Est. ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca ambientale, Roma.
- Fusinieri, A., in AA.VV. (1831) - *Annali delle Scienze del Regno Lombardo Veneto*. Tomo 1. Padova, tipografia del Seminario.
- Galbiati B. (1977) - La successione oligo-miocenica tra Rigoroso e Carrosio (Bacino ligure-piemontese). *Atti Ist. Geol. Univ. Pavia*, 26: 30-48.
- Gelati R. (1967) - Osservazioni stratigrafiche sull'Oligo-Miocene delle Langhe (Piemonte-Italia). *Pubbl. Ist. Geol. Univ. Milano*, 236: 1-18.
- Gelati R. (1968) - Stratigrafia dell'Oligo-Miocene delle Langhe tra le valli dei fiumi Tanaro e Bormida di Spigno. *Riv. Ital. Paleont. Strat.*, 74: 865-967.
- Ghibaud G., Clari P. & Perello M. (1985) - Litostratigrafia, sedimentologia ed evoluzione tettonico-sedimentaria dei depositi miocenici del margine Sud-Orientale del Bacino Terziario Ligure-Piemontese (Valli Borbera, Scrivia e Lemme). *Boll. Soc. Geol. It.*, 104: 349-397.
- Gnaccolini M., Gelati R. & Falletti P. (1999) - Sequence Stratigraphy of the "Langhe" Oligo-Miocene Succession, Tertiary Piedmont Basin, Northern Italy. In: DE GRACIANSKY P.C., HARDENBOL J, JACQUIN T. & VAIL P. (Eds.), *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins*. *SEPM, Spec. Publ.*, 60: 233-244.
- Haccard, D. (1976) - Carte géologique au 1:50000 de Sestri-Voltaggio. Pubblicazione CNR, Pisa.

|   |  |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>                |
|   | <p style="text-align: center;">IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio<br/>34 di 35</p> |

- Hoogerduijn Strating E.H. (1994) - Extensional faulting in an intraoceanic subduction complex - working hypothesis for the Paleogene of the Alps-Appennine system. *Tectonophysics*, 238: 255-273.
- Laubscher H.P., Biella G.C., Cassinis R., Gelati R., Lozej A., Scarascia S. & Tabacco I. (1992) - The collisional Knot in Liguria. *Geol. Rund.*, 81: 275-289.
- Marini, M. (1998) - Carta geologica della Val Polcevera e zone limitrofe (Appennino Settentrionale) alla scala 1:25.000. Note illustrative. *Atti Ticinensi di Scienze della Terra*, 40, 33-64.
- Mosca P., Polino R., Rogledi S. & Rossi M. (2009) - New data for the kinematic interpretation of the Alps-Appennines junction (Northwestern Italy). *Int. J. Earth Sc.*, 99, 833-849.
- Mutti E., Papani L., Di Biase D., Davoli G., Mora S., Segadelli S. & Tinterri R. (1995) - Il Bacino Terziario Epimesoalpino e le sue implicazioni sui rapporti tra Alpi ed Appennino. *Mem. Sci. Geol.*, 47: 217-244.
- Piana, F., Falletti, P., Fioraso, G., Irace, A., Mosca, P., et alii (in prep.) - Carta geologica del Piemonte in scala 1:250.000. Consiglio Nazionale delle Ricerche, IGG Torino; Università degli Studi di Torino, DST; Politecnico di Torino, DIATI.
- Piana F. & Polino R. (1995) - Tertiary structural relationships between Alps and Apennines: the critical Torino Hill and Monferrato area, Northwestern Italy. *Terra Nova*, 7: 138-143.
- Piccardo, G.B. (1984) - Le ofioliti metamorfiche del gruppo di Voltri, Alpi Liguri: caratteri primari ed interpretazione geodinamica. *Mem. Soc. Geol. It.*, 28, 11, 95-114.
- Pieri M. & Groppi G. (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy, Quad. CNR, Prog. Fin. Geodinamica, Roma: 1-13.
- Polino, R., Clari, P., Crispini, L., D'Atri, A., Dela Pierre, F., Novaretti, A., Piana, F., Ruffini, R. & Timpanelli, M. (1995) - Rapporti Alpi-Appennino e guide alle escursioni. *Atti del Convegno: "Rapporti tra Alpi e Appennino"*, Accademia Nazionale delle Scienze, 14, 531-593.
- Principi, G. & Treves, B. (1984) - Il sistema corso-appenninico come prisma d'accrescimento. Riflessi sul problema generale del limite Alpi-Appennini. *Mem. Soc. Geol. It.*, 28, 10, 549-576.
- Protezione Civile (2004) - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- Ramsay, J.G. (1967) - Folding and fracturing of rocks. Mc Graw-Hill New York, 568 pp.
- Rebora, G. (1990) - Massi erratici sulle argilliti nell'area Bocchetta-Voltaggio (Alessandria). *Il Naturalista*, 3, 3.
- Roure F., Polino R. & Nicolich R.P. (1990) - Early Neogene deformation beneath the Po plain: constraints on the post-collisional Alpine evolution. *Mém. Soc. Géol. France N. S.*, 156: 309-322.
- Roure F., Bergerat F., Damotte, B., Mugnier, J.L. & Polino R. (1996) - The ECORS-CROP Alpine seismic traverse. *Mem. Soc. Géol. France*, 170: 1-113.
- Scholle, P.A. (1970) - The Sestri-Voltaggio Line: a transform fault induced tectonic boundary between the Alps and the Apennines. *American Journal of Science*, 269, 343-359.
- Schumacher, M. E. & Laubscher, H. P. (1996) - 3D crustal architecture of the Alps-Appennines join - a new view on seismic data. *Tectonophysics*, 260, 349-363.
- Sibson, R.H. (1977) - Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc. Lond.*, 133, 191-213.

|   |  |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>                |
|   | <p style="text-align: center;">IG51-00-X-CV-RO-GN00-00-001-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio<br/>35 di 35</p> |

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