

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI  
PROGETTO ESECUTIVO**

**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA GENERALE**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. A. Pelliccia	

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

Progettazione :							
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data
A00	Emissione	GDP <i>WAP</i>	11/12/2014	Rocksoil <i>Tomani</i>	13/07/2014	A. Palomba <i>[Signature]</i>	15/12/2014



n. Elab.:	File: GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
-----------	--

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p><b>CODIV</b> Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p>	<p>Foglio 2 di 157</p>

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>6</b>
1.1	Introduzione .....	6
1.2	Normativa e prescrizioni di riferimento .....	6
1.2.1	Contenuti della delibera CIPE n. 80/2006 .....	6
1.3	Dati cartografici disponibili .....	7
1.4	Attività svolte .....	9
1.4.1	Nuovi rilievi geologici .....	10
1.4.2	Dati della nuova campagna di indagini .....	13
1.5	Principali elementi di novità rispetto al Progetto Definitivo .....	14
1.6	Gruppo di lavoro .....	15
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE .....</b>	<b>16</b>
2.1	Principali domini geologico-strutturali .....	16
2.1.1	Il “nodo collisionale ligure” .....	16
2.1.2	Il Bacino Terziario Piemontese .....	18
2.1.3	I depositi post-messiniani .....	22
2.1.4	I depositi alluvionali della piana tra Serravalle Scrivia e Tortona .....	23
2.2	Corrispondenza tra le unità descritte nel PD/PE e le unità CARG .....	24
<b>3</b>	<b>LA ZONA SESTRI-VOLTAGGIO .....</b>	<b>28</b>
3.1	Unità tettonometamorfica Figogna .....	28
3.1.1	Serpentiniti del Bric dei Corvi (Se'/SPF) .....	29
3.1.2	Metaofalciti di Pietralavezzara (of'/PLV) .....	30
3.1.3	Metabasalti del M. Figogna (B'/MBF) .....	30
3.1.4	Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia (dM/MHF) .....	32
3.1.5	Metacalcari di Erzelli (cE/ERZ) .....	32
3.1.6	Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP/AGI-AGF) .....	32
3.2	Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde .....	35
3.2.1	Dolomie del Monte Gazzo (dG/MDG) .....	35
3.2.2	Gessi del Rio Riasso (gc/GSR) .....	36
3.2.3	Serie di Gallaneto-Lencisa .....	36
3.2.4	Meta-argilliti di Bessega (Mn/MBG) .....	38
3.3	Unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio .....	38
3.3.1	Serpentiniti di Case Bardane (Se"/SPV) .....	39
3.3.2	Metabasalti di Cravasco (B"/CVS) .....	40
3.3.3	Metasedimenti silicei dell'Osteria dello zucchero (d"/MHC) .....	40
3.3.4	Calcari di Voltaggio (cV/VOL) .....	40
3.3.5	Scisti filladici del Monte Larvego (f/LRV) .....	41

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p>	<p>Foglio 3 di 157</p>

<b>4</b>	<b>LE SUCCESSIONI POST-EOCENICHE DEL VERSANTE PIEMONTESE .....</b>	<b>42</b>
4.1	Brecce della Costa di Cravara (CRA).....	42
4.1.1	Mineralizzazioni a lignite .....	43
4.2	Il Bacino Terziario Piemontese.....	43
4.2.1	Formazione di Molare (FM) .....	44
4.2.2	Formazione di Rigoroso (fR).....	49
4.2.3	Formazione di Costa Montada (uM) .....	51
4.2.4	Formazione di Costa Areasa (fC) .....	52
4.2.5	Marne di Cessole (mC).....	53
4.2.6	Marne di Sant'Agata Fossili .....	55
4.2.7	Gruppo della Gessoso-Solfifera.....	56
4.3	Unità post-messiniane.....	58
4.3.1	Formazione delle Argille Azzurre (Argille di Lugagnano auct., aL) .....	58
4.3.2	Sabbie di Asti .....	59
4.3.3	Villafranchiano auct.....	59
<b>5</b>	<b>DEPOSITI QUATERNARI .....</b>	<b>61</b>
5.1	Unità pleistocenico-oloceniche del bacino del T. Polcevera.....	61
5.1.1	Depositi fluviali pleistocenico-olocenici (flp1).....	61
5.1.2	Depositi fluviali olocenici (flp2).....	61
5.2	Unità pleistocenico-oloceniche del bacino dello Scrivia .....	61
5.2.1	Depositi fluviali antichi (fl1) .....	62
5.2.2	Depositi fluviali medi (fl2).....	62
5.2.3	Depositi fluviali recenti (fl3).....	63
5.3	Unità pleistocenico-oloceniche non distinte in base al bacino di appartenenza .....	65
5.3.1	Alluvioni attuali (a).....	65
5.3.2	Detrito di falda (d) .....	66
5.3.3	Accumuli di frana (af).....	67
5.3.4	Coltre colluviale e detritico-colluviale (c).....	68
5.4	Altri materiali detritici non legati a processi geologici .....	68
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>70</b>
6.1	Caratteri geomorfologici generali.....	70
<b>7</b>	<b>EVOLUZIONE STRUTTURALE .....</b>	<b>75</b>
7.1	Quadro evolutivo regionale.....	75
7.1.1	L'evoluzione collisionale alpina .....	75
7.1.2	L'evoluzione post-Oligocenica .....	76
7.2	La deformazione duttile nell'unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde.....	81
7.2.1	Le superfici litologiche primarie .....	82
7.2.2	Gli eventi deformativi D1/D2 .....	82

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p>	<p>Foglio 4 di 157</p>

7.2.3	Caratteri litologici e strutturali delle zone milonitiche sin-D2.....	86
7.2.4	Zone di taglio post-D1/D2.....	92
7.2.5	L'evento deformativo D3.....	92
7.2.6	L'evento deformativo D4.....	93
7.3	La deformazione duttile nell'unità tettonometamorfica Figogna.....	94
7.3.1	Gli eventi deformativi D1 e D2.....	94
7.3.2	L'evento deformativo D3.....	94
7.3.3	L'evento deformativo D4.....	97
7.4	Le deformazioni post-metamorfiche.....	98
7.4.1	Analisi strutturale per settori.....	101
7.4.2	Fotolineamenti.....	109
8	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO DI PROGETTO.....	114
8.1	Unità tettonometamorfica Figogna.....	115
8.1.1	Formazioni attraversate.....	115
8.1.2	Litologia.....	115
8.1.3	Strutture duttili.....	116
8.1.4	Strutture fragili.....	117
8.1.5	Geomorfologia.....	121
8.1.6	Interazioni geologia/scavo.....	121
8.1.7	Criticità particolari.....	123
8.2	Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde (pk <sup>BP</sup> 8+950 – 10+670).....	124
8.2.1	Formazioni attraversate.....	124
8.2.2	Litologia.....	124
8.2.3	Strutture duttili.....	125
8.2.4	Strutture fragili.....	125
8.2.5	Interazioni geologia/scavo.....	125
8.2.6	Criticità particolari.....	126
8.3	Bacino Terziario Piemontese.....	126
8.3.1	Formazioni attraversate.....	126
8.3.2	Litologia.....	127
8.3.3	Stratificazione.....	130
8.3.4	Strutture fragili.....	130
8.3.5	Morfologia.....	132
8.3.6	Interazioni geologia/scavo.....	133
8.3.7	Criticità particolari.....	137
8.4	Successioni post-messiniane.....	137
8.4.1	Formazioni attraversate.....	138
8.4.2	Litologia.....	138



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 5 di 157</p>

8.4.3	Stratificazione .....	139
8.4.4	Strutture fragili.....	139
8.4.5	Morfologia .....	139
8.4.6	Interazioni geologia/scavo .....	139
8.4.7	Criticità particolari .....	140
8.5	La sezione di pianura.....	141
8.5.1	Formazioni attraversate .....	141
8.5.2	Litologia.....	141
8.5.3	Stratificazione .....	143
8.5.4	Interazioni geologia/scavo .....	143
9	BIBLIOGRAFIA .....	144
	ALLEGATO1 – ELENCO SONDAGGI ESEGUITI .....	153

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 6 di 157</p>

## 1 PREMESSA

### 1.1 Introduzione

Il presente rapporto fa parte del Progetto Esecutivo (PE) del nuovo collegamento AC/AV Milano-Genova “Terzo Valico dei Giovi” e riguarda la definizione del Modello Geologico di Riferimento progettuale per tutte le opere di linea e delle opere accessorie, nel settore compreso tra Genova e Tortona.

La presente nota descrive in sintesi quanto rappresentato negli elaborati grafici allegati ed è il risultato della revisione e dell'aggiornamento degli studi geologici eseguiti in fase di Progetto Definitivo (PD), rispetto alla quale sono stati eseguiti ex novo diversi e più dettagliati rilievi geologici integrativi di superficie ed è stato dato corso a una campagna di indagini integrative che hanno riguardato tutto lo sviluppo della linea.

### 1.2 Normativa e prescrizioni 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”.
- CIPE, Delibera n. 80/2006, Primo programma delle opere strategiche (Legge n. 443/2001) Approvazione Progetto Definitivo “Terzo Valico dei Giovi” linea AV/AC Milano-Genova. Allegato 1 “Prescrizioni e raccomandazioni proposte dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti”.

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. GE00-IG51-02-E-CV-RH-GE-00-0-1-001-B00).

#### 1.2.1 Contenuti della delibera CIPE n. 80/2006

Gli studi geologici e idrogeologici realizzati per la progettazione esecutiva della Tratta AV/AC Milano-Genova “Terzo Valico dei Giovi”, oltre a fornire le necessarie indicazioni progettuali per le singole WBS costituenti l'opera nel suo complesso, si sono conformati a quanto richiesto in termini di approfondimenti nell'allegato 1 alla Delibera CIPE n. 80/2006, con specifico riferimento ad alcuni degli aspetti definiti al punto “**7.a – Generale**”, in particolare:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 7 di 157</span>

*"[...] Il soggetto aggiudicatore dovrà eseguire, quanto da lui dichiarato nel Progetto Definitivo, con particolare riguardo:*

- A. Alle ulteriori indagini sul modello idrogeologico di riferimento riguardante il settore di Borlasca e Monte Zuccaro (Formazione del Molare) attraverso:
 
  - a. Sondaggi con prove idrogeologiche in foro*
  - b. Campagna di indagine geochimica ed isotopica sulle acque sorgentizie*
  - c. Rilievi geologici a scala 1:5.000*
  - d. Misure di portata nei corsi d'acqua, all'interno della formazione del molare (Rio Barca, Rio Borlasca ecc.**
- B. Alla progettazione di ulteriori acquedotti sostitutivi nel caso che il pericolo di isterilimento delle sorgenti captate per usi civili, con particolare riguardo all'acquedotto gestito dalla soc. ACOS S.p.A. di Novi Ligure, sia maggiore di quello individuato nel Progetto Definitivo;*
- C. All'approfondimento del quadro idrogeologico dell'unità Monte Gazzo-Isoverde, soprattutto nell'attraversamento dei Calcari di Gallaneto tra il km 10+030 e il km 10+260, mettendo in atto tutti gli accorgimenti necessari per l'eventuale recupero della risorsa idrica [...]*

*[...] Il progetto esecutivo dovrà tenere conto delle seguenti prescrizioni:*

- 1. Approfondimento delle indagini geologiche ed idrogeologiche lungo l'intera tratta al fine di migliorare la definizione dell'assetto litostratigrafico, tettonico idrostrutturale e idrodinamico del sottosuolo interessato dall'opera e caratterizzazione anche in termini quantitativi della risorsa idrica sotterranea, con particolare riguardo alla sorgente di Isoverde.*
- 2. Non limitare le valutazioni degli impatti ai soli aspetti probabilistici riferiti ai singoli punti d'acqua ma, sulla scorta dei risultati di cui al punto precedente, impostare un modello previsionale in grado di quantificare gli effetti dell'opera stessa sulla risorsa idrica nel breve e nel lungo periodo (scenario d'evento post-operam), definendo per ogni impatto previsto il carattere di reversibilità.*
- 3. Formulare sulla base dei risultati delle ulteriori indagini e degli scenari d'evento, un bilancio di massima dei volumi d'acquifero suscettibili di isterilimento*

Il presente rapporto affronta nello specifico l'inquadramento generale delle tematiche geologiche per le quali è richiesto l'approfondimento dalla Delibera CIPE e che costituiscono la base conoscitiva fondamentale per affrontare gli aspetti relativi all'idrogeologia; questi ultimi sono affrontati nella Relazione Idrogeologica Generale (doc. GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE-00-0-2-001-A00), mentre le tematiche progettuali di carattere geologico, idrogeologico e geomorfologico, inerenti nel dettaglio le singole WBS oggetto di progettazione, sono affrontate in singoli, specifici rapporti, allegati alla documentazione del PE (cfr. Elenco Elaborati).

### **1.3 Dati cartografici disponibili**

I dati cartografici di partenza utilizzati per gli approfondimenti geologici a supporto del Progetto Esecutivo comprendono, oltre alla cartografia geologica e idrogeologica del Progetto Definitivo della

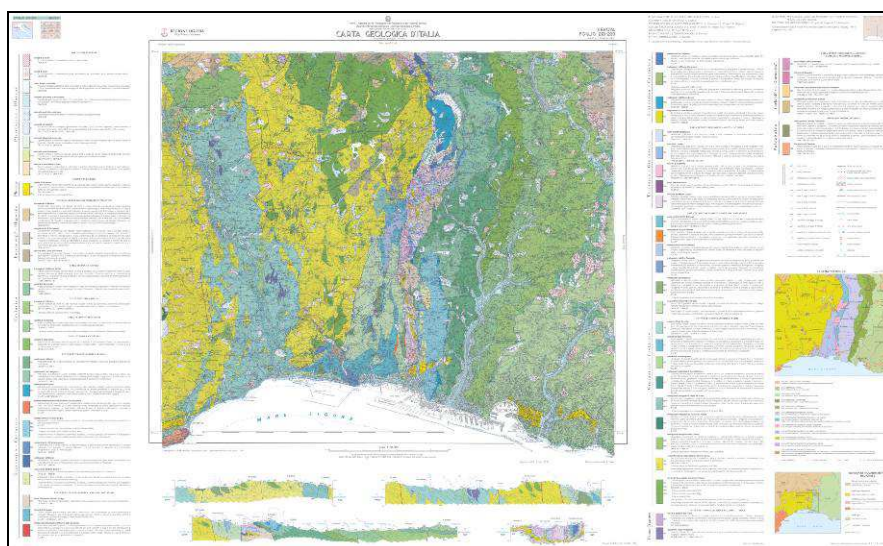
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00	Foglio 8 di 157

linea e ai dati cartografici allegati ai principali contributi scientifici realizzati prima della fase di PD (es.: Haccard, 1976; Marini, 1998), anche i due principali e più recenti documenti cartografici pubblicati o in corso di pubblicazione:

- Foglio n. 213-214 “Genova” della Carta Geologica d’Italia in scala 1:100.000 (progetto CARG); Figura 1;
- nuova Carta Geologica del Piemonte in scala 1:250.000 (Piana et al. in prep.; CNR/ARPA Piemonte/Università di Torino/Politecnico di Torino); Figura 2;

I nuovi studi di approfondimento di terreno si sono largamente basati sulla revisione geologico-strutturale e sugli aggiornamenti cartografici contenuti nel nuovo Foglio 1:100.000 “Genova”, la cui pubblicazione è avvenuta tra la chiusura della Progettazione Definitiva e l’avvio della fase di Progettazione Esecutiva. La revisione, spesso radicale, delle interpretazioni geologiche precedenti, operata dagli autori del Foglio Genova, ha imposto una rilettura dei dati geologici del PD alla luce di questo nuovo importante contributo scientifico e cartografico.

Sul versante piemontese, alla pubblicazione del Foglio Genova è seguito, da parte del CNR-IGG (Unità operativa di Torino), un lavoro di revisione e omogeneizzazione di tutta la più recente cartografia geologica disponibile a livello regionale, che si è tradotto nella compilazione della nuova Carta Geologica del Piemonte in scala 1:250.000. Questo nuovo lavoro ha comportato l’omogeneizzazione di una grande mole di dati pregressi e, cosa di maggiore interesse per il progetto in esame, un’omogeneizzazione della cartografia geologica rispetto ai dati dell’adiacente Foglio Genova. Tale documento, alla data di uscita del presente rapporto, non è ancora ufficialmente pubblicato, tuttavia questi nuovi dati cartografici sono stati resi disponibili per la consultazione, per gentile concessione degli Autori.



**Figura 1 – Il nuovo foglio CARG “Genova” in scala 1:100.000.**

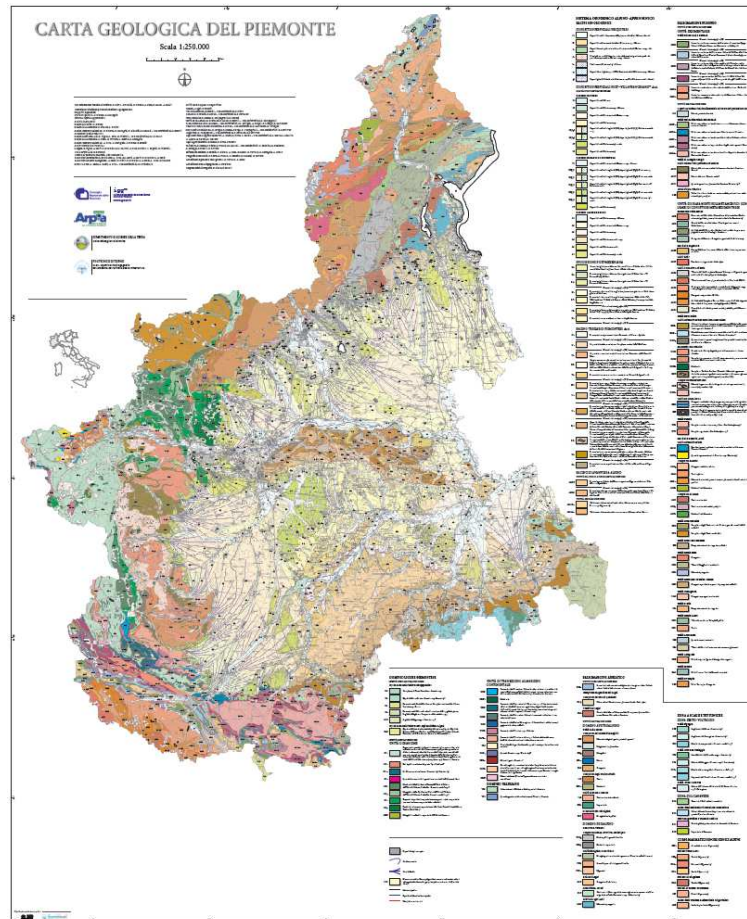


Figura 2 – La nuova carta geologica del Piemonte in scala 1:250.000.

#### 1.4 Attività svolte

La revisione degli studi geologici e idrogeologici che accompagnano il Progetto Definitivo della linea MI-GE ha previsto, in fase di Progettazione Esecutiva, una serie di attività che sono state condotte attraverso le seguenti fasi:

- ricerca e analisi bibliografica;
- analisi e revisione critica dei dati della campagna geognostica del Progetto Definitivo;
- analisi e revisione critica delle relazioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del medesimo Progetto Definitivo;
- rilevamento di terreno con acquisizione di nuovi e più dettagliati dati geologici, geomorfologici e idrogeologici relativi al settore interessato dallo sviluppo del progetto;
- analisi e interpretazione delle immagini aeree disponibili;
- esame dei nuovi dati delle indagini integrative eseguite in sede di Progettazione Esecutiva (campagne di sondaggi e di indagini geofisiche 2012-2014);



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 10 di 157</p>

- interpretazione dei dati di terreno in relazione alle informazioni ottenute mediante le indagini;
- redazione degli elaborati geologici e idrogeologici a supporto della progettazione delle singole WBS costituenti l'insieme delle opere di linea e delle opere accessorie (finestre, aree di cantiere, viabilità, ecc.);
- realizzazione di uno studio idrogeologico che ha comportato l'acquisizione dei dati idrogeologici derivanti dalla nuova campagna di indagini geognostiche (dati piezometrici, dati di permeabilità da prove di pompaggio, ecc.) e la realizzazione di alcuni modelli idrogeologici numerici volti a caratterizzare il comportamento idrogeologico di alcuni acquiferi di particolare interesse tra quelli attraversati dall'opera;
- realizzazione di uno studio generale sulla sismicità della regione attraversata dalla linea in progetto;
- omogeneizzazione e gestione di tutti i dati cartografici inerenti la geologia e l'idrogeologia di progetto in un sistema informatico univoco e georiferito; ciò è stato realizzato attraverso la composizione di tutte le planimetrie dettagliate di progetto, realizzate con software AutoCAD in un'unica banca dati informatica dei dati planimetrici, topografici e cartografici. La migrazione delle informazioni si è svolta in tre fasi:
  - 1) creazione di un progetto GIS in ambiente ArcMap (ESRI) contenente tutti i dati di progetto (basi topografiche, tracciati, planimetrie di progetto dettagliate, geologia, geomorfologia, sondaggi, punti d'acqua, ecc.);
  - 2) migrazione dei dati dalla piattaforma GIS alla piattaforma AutoCAD attraverso un apposito software di conversione, che ha consentito di mantenere invariata la georeferenziazione dei dati;
  - 3) creazione dei layout di stampa direttamente in ambiente AutoCAD, sia per ogni singola WBS sia per la cartografia generale di progetto.

I risultati dello studio idrogeologico sono illustrati nella specifica relazione, cui si rimanda per ulteriori dettagli, mentre per quanto riguarda gli aspetti inerenti la sismicità del settore interessato dal progetto, si rimanda alla relazione di inquadramento sismico dell'intera opera.

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.

#### 1.4.1 Nuovi rilievi geologici

I nuovi rilievi geologici realizzati in fase di PE costituiscono un approfondimento di quanto precedentemente eseguito per il Progetto Definitivo dell'opera; questo approfondimento è stato necessario sia per adeguare le interpretazioni ai nuovi dati scientifici e cartografici disponibili, sia per caratterizzare in dettaglio l'assetto geologico-strutturale delle aree interessate dalle singole WBS che compongono il progetto. Ci si è inoltre posto l'obiettivo di approfondire le conoscenze geologiche su alcune aree ritenute di importanza strategica, ai fini della comprensione dello schema di circolazione idrica negli ammassi rocciosi, estendendo i rilevamenti, quando necessario, anche oltre la fascia di territorio più direttamente interessata dal tracciato. In particolare, in ottemperanza

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 11 di 157</p>

alle sopracitate prescrizioni CIPE, si è focalizzata l'attenzione sulle due aree a ridosso delle località di Borlasca e Cravasco, dove è stata approfondita la ricostruzione geologica e strutturale del substrato.

La rilettura globale della geologia della fascia interessata dallo sviluppo della linea MI-GE ha comportato, dal punto di vista del progetto, la necessità di rivedere e aggiornare i dati geologici del PD, adeguandoli alle interpretazioni più aggiornate, supportate da verifiche mirate di terreno e da nuovi rilevamenti di dettaglio.

In sintesi, sono stati eseguiti, con due diversi livelli di dettaglio:

- i. rilevamenti sistematici in scala 1:5.000 per la revisione e l'approfondimento generale dell'assetto geologico in alcune aree critiche e delle singole WBS di cui si compone il progetto;
- ii. revisioni e completamenti della cartografia geologica esistente da PD, finalizzati a consentire un'adeguata rappresentazione e interpretazione in scala 1:5.000.

Questi approfondimenti cartografici hanno riguardato esclusivamente settori della tratta montana-collinare, dove l'assetto morfologico del terreno e la presenza di affioramenti consente di realizzare delle osservazioni significative e sono stati supportati dalle nuove indagini geognostiche realizzate nel periodo 2012-2014, in particolare sondaggi e rilievi geofisici. Per le tratte di pianura, gli approfondimenti sono stati basati soprattutto sulla rilettura dei dati delle indagini geognostiche precedentemente realizzate e delle indagini di nuova realizzazione.

#### *1.4.1a Rilevamenti sistematici in scala 1:5.000*

I rilevamenti di cui al precedente punto (i) hanno riguardato principalmente aree identificate come particolarmente critiche dal punto di vista idrogeologico, sia sulla scorta delle osservazioni CIPE e di quanto riportato nelle specifiche del PD, sia in base all'esistenza di problematiche idrogeologiche rilevanti, emerse dall'analisi delle carte di impatto sulle sorgenti esistenti, sempre relative al PD. In particolare, sono state inserite, tra le aree su cui eseguire dettagli geologico-strutturali, anche zone in cui sono presenti numerose sorgenti a grado di pericolosità per isterilimento da "medio" a "basso", secondo la scala di pericolosità definita nel PD.

Tutte le WBS componenti il PE sono state oggetto di verifiche specifiche, tuttavia alcune aree di maggiore interesse sono state sottoposte a un maggiore livello di approfondimento, in particolare:

- settore Monticelli / Rio Trasta / Murta / Bric dei Corvi / Cassanego (nodo interconnessioni di Voltri, imbocco Sud Valico e galleria Campasso);
- settore Panigaro / Serra (bassa valle del Fosso Bianchetta / Via Chiaravagna);
- settore Campomorone / Isoverde;
- settore Isoverde / Cravasco / Pietralavezzara (Finestra Cravasco);
- settore Bric dei Galli / Castagnola (Finestra Castagnola);
- settore Fraconalto / Val Carbonasca / Pian dei Grilli (Finestra Val Lemme);
- settore Val Carbonasca / Cascina Carbonasca (frana "Carbonasca", S.P. 163);

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 12 di 157

- settore Valle della Barca / Borlasca / M. Zuccaro / Rio Voltaggio;
- settore di Sottovalle;
- settore Arquata Scrivia / Cascine Radimero / Serravalle Scrivia (nodo imbocco Nord Valico, pozzo fresa, imbocco Sud Serravalle e Galleria Serravalle).

#### 1.4.1b Revisioni e completamenti

I rilevamenti di cui al precedente punto (ii) hanno previsto l'integrazione delle carte esistenti con nuovi dati geologico-strutturali e/o la miglior definizione di limiti geologici rilevanti. Essi non hanno implicato, di norma, la realizzazione di una nuova cartografia, ma piuttosto l'analisi di nuovi affioramenti significativi e/o la revisione dell'interpretazione di affioramenti già precedentemente cartografati.

Questi approfondimenti hanno riguardato soprattutto un'area compresa tra la Finestra Castagnola e la Val Carbonasca, dove sono stati finalizzati alla miglior definizione del limite tra le unità di basamento metamorfico e la base della successione del BTP (Bacino Terziario Piemontese).

Ulteriori revisioni hanno riguardato alcune attribuzioni stratigrafiche all'interno del Bacino Terziario Piemontese, portando in alcuni casi a modificare in maniera significativa l'interpretazione litostratigrafica del PD. In dettaglio:

- 1) è stata riveduta l'attribuzione dell'unità delle "Brecce della Costa di Cravara", che nel PD era stata inclusa in una delle litofacies della formazione di Molare, mantenendo la distinzione formazionale presente in letteratura, poiché le "Brecce della Costa di Cravara" presentano caratteristiche litologiche e geometriche (ad es.: discordanza angolare) tali da poter essere riferite ad un differente ciclo sedimentario.
- 2) All'interno della Formazione di Costa Montada, la sottounità uMa, costituita da marne e marne silicizzate, era stata interpretata nel PD come un "deposito di frana sottomarina", con contatto erosionale netto e chiusura laterale immediatamente a W del tracciato di progetto. I rilievi di terreno hanno messo in evidenza che tale unità è presente e continua in tutta l'area d'interesse (e nell'intero BTP) e che essa è priva di indicazioni sedimentologico-stratigrafiche certe che attestino meccanismi di deposizione legati a processi gravitativi in ambiente subacqueo. L'unità è quindi stata reinterpretata come il prodotto di meccanismi di sedimentazione ordinari.

Dal punto di vista strutturale, è stato migliorato il dettaglio per quanto riguarda la caratterizzazione dei vari lineamenti, che sono stati in parte confermati, con eventuali modifiche (inerenti la giacitura, la persistenza, ecc.), in parte eliminati, o reinterpretati come semplici lineamenti morfologici, perché privi di riscontri oggettivi di terreno e/o di sondaggio. La realizzazione dei sondaggi geogostici, in particolare se carotati, ha consentito di mettere in evidenza diverse strutture di grande importanza a livello regionale, come ad esempio la zona di grandi strutture ad andamento NNW-SSE che borda il limite orientale della Zona Sestri-Voltaggio nei pressi della "frana Carbonsaca", o una serie di piani tettonici a medio-basso angolo, che accompagnano la comparsa di scaglie tettoniche di metabasalti all'interno della formazione delle Argille a Palombini.



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 318"> <tr> <td>Foglio 13 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 13 di 157
Foglio 13 di 157		

La revisione dei tutti lineamenti strutturali è stata effettuata anche attraverso una minuziosa interpretazione delle immagini aeree disponibili, accompagnata da un'analisi delle caratteristiche della topografia attraverso la creazione in ambiente GIS di superfici 3D con ombreggiatura variabile, per evidenziare le caratteristiche morfologiche del terreno.

Nell'insieme, i dati relativi ai fotolineamenti e alle strutture identificate sul terreno e/o in sondaggio, sono stati rilette in un'ottica più generale, inquadrando le informazioni in un modello strutturale coerente, in accordo con le interpretazioni più recenti (Capponi et al., 2009).

#### 1.4.2 Dati della nuova campagna di indagini

I dati geologici acquisiti dalla campagna di indagini integrative realizzata per il PD, comprendono essenzialmente dati derivanti da sondaggi geognostici (sia a distruzione sia a carotaggio continuo) e dati derivanti da indagini geofisiche, principalmente prospezioni sismiche ed elettriche.

##### 1.4.2a Sondaggi

Per quanto riguarda i dettagli inerenti le caratteristiche, l'ubicazione e altri dati riguardanti i sondaggi geognostici si rimanda alla "Relazione tecnico-illustrativa delle indagini geognostiche integrative" allegata al progetto (elaborato GE00-IG51-02-E-CV-RG-GE-00-0-1-001-B00) e alle singole monografie realizzate dalle Ditte esecutrici, sempre allegate al progetto. I risultati sono sintetizzati e commentati, caso per caso, per quanto di interesse, nei documenti dedicati alle singole WBS oggetto di progettazione, in cui sono stati anche ripresi e reinterpretati i dati dei sondaggi delle campagne precedenti (dallo Studio di Massima al Progetto Definitivo).

A livello generale, i nuovi sondaggi sono localizzati sia lungo la linea, le finestre di accesso e le relative aree di cantiere, sia in corrispondenza di interventi di adeguamento della viabilità esistente e di interventi realizzati a compensazione nei territori dei Comuni interessati in diversa misura dal progetto.

In corrispondenza dei sondaggi sono state eseguite prove in situ e sono stati prelevati campioni per prove di laboratorio; su alcune postazioni sono stati installati piezometri, a tubo aperto o a cella, per il monitoraggio della falda e, in alcuni casi (es.: frana Carbonasca), inclinometri per il monitoraggio dei movimenti di versante.

I principali risultati ottenuti con la realizzazione della nuova campagna di sondaggi sono rappresentati:

- dal miglioramento delle conoscenze relative alle geologia profonda degli ammassi rocciosi attraversati dalle gallerie in progetto, grazie all'infittimento dei punti di indagine rispetto al PD;
- dalla validazione del Modello Geologico di Riferimento per le unità quaternarie (depositi alluvionali) che caratterizzano la tratta di pianura a nord di Serravalle Scrivia;
- dall'individuazione di alcune criticità particolari relative all'assetto litostratigrafico, strutturale e/o idrogeologico delle formazioni attraversate;

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 14 di 157</p>

- dalla verifica puntuale di alcuni settori-chiave, caratterizzati da condizioni potenzialmente critiche.

*Un esempio in particolare è quello del settore di Cravasco, dove i sondaggi realizzati hanno consentito di circoscrivere l'estensione in profondità, a quota tunnel, delle formazioni carbonatiche affette da carsismo, permettendo di valutare il rischio idrogeologico correlato a potenziali elevati afflussi di acqua in galleria.*

- Una serie di sondaggi specifici è stata realizzata nel sito della cosiddetta "Frana Carbonasca", che interessa la S.P. 163 immediatamente a SE di Voltaggio.

*In questo sito è previsto un importante intervento di consolidamento e messa in sicurezza del versante e della viabilità. Questi sondaggi, unitamente alle indagini geofisiche e ai nuovi rilievi geologico-geomorfologici di terreno hanno permesso di definire un modello geologico di riferimento accurato, a supporto della progettazione degli interventi.*

#### 1.4.2b Indagini geofisiche

L'elenco delle indagini geofisiche realizzate tra il 2012 e il 2014 è presentato nella "Relazione tecnico-illustrativa delle indagini geognostiche integrative" allegata al progetto (elaborato GE00-IG51-02-E-CV-RG-GE-00-0-1-001-B00). A titolo generale, sono state eseguite sostanzialmente indagini di due tipi:

- indagini sismiche tomografiche a rifrazione e a riflessione
- indagini elettriche (rilievi di resistività).

Le prime sono state indirizzate a caratterizzare l'assetto geologico superficiale in aree di particolare interesse, quali ad esempio gli imbocchi delle gallerie principali. Le seconde sono state indirizzate all'identificazione di anomalie potenzialmente riferibili a cavità carsiche nell'area dell'abitato di, dove è prevista una serie di interventi di compensazione.

## 1.5 Principali elementi di novità rispetto al Progetto Definitivo

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

- l'adeguamento ai nuovi documenti cartografici ufficiali, che in molti casi aggiornano sostanzialmente le interpretazioni geologiche preesistenti: Foglio CARG "Genova" (1:100.000), per il versante ligure e parte del versante piemontese; Carta Geologica del Piemonte (1:250.000) per il versante piemontese e la tratta di pianura.
- L'acquisizione di nuovi dati litologici, stratigrafico-sedimentologici, strutturali e geomorfologici di terreno.
- La realizzazione di nuovi sondaggi geognostici, che hanno consentito di correlare meglio i dati di superficie e di sottosuolo.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 15 di 157</p>

- Una revisione generale dell'assetto strutturale lungo il tracciato di linea, accompagnata da una fase di fotointerpretazione strutturale, volta a individuare correlazioni tra la morfologia superficiale e potenziali set di discontinuità significative a livello delle gallerie in progetto.
- L'individuazione di alcuni elementi strutturali di particolare rilievo per il progetto, in grado di condizionare il comportamento geomeccanico dell'ammasso roccioso per tratte di lunghezza significativa.
- La quantificazione, attraverso specifici modelli numerici, del comportamento idrogeologico delle unità quaternarie e prequaternarie attraversate dalla linea, nel settore di pianura e nel settore di Borlasca/Sottovalle (cfr. Relazione Idrogeologica);
- la realizzazione di un bilancio idrologico complessivo dei bacini attraversati dalle gallerie di linea (cfr. Relazione Idrogeologica);
- la quantificazione degli impatti prevedibili, da parte dello scavo, sulle risorse idriche superficiali, attraverso la modellizzazione numerica e l'analisi spaziale in ambiente GIS (cfr. Relazione Idrogeologica).

## 1.6 Gruppo di lavoro

Il gruppo di lavoro è così costituito:

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 16 di 157</p>

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

### 2.1 Principali domini geologico-strutturali

Il tracciato della linea ferroviaria del "Terzo Valico dei Giovi" si estende da Genova a Tortona, attraverso due grandi domini geologico-strutturali:

- i) la Zona Sestri-Voltaggio auct. (ZSV);
- ii) il Bacino Terziario Piemontese (BTP).

La ZSV costituisce, insieme al "Gruppo di Voltri" auct., il "nodo collisionale ligure" di Laubscher et al. (1992), un settore interpretato come la zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico, affiorante sul versante ligure e lungo lo spartiacque ligure-piemontese (Figura 4).

Il BTP rappresenta una serie sedimentaria terrigena, di età terziaria, che forma i rilievi collinari del settore sud-orientale del Piemonte; il suo margine meridionale, relativamente poco deformato, appoggia in discordanza sulle unità della ZSV, sulle quali si è depositata.

Più a nord, verso la pianura alessandrina, la successione del BTP è sormontata da sequenze sedimentarie più recenti, in particolare:

- iii) depositi post-messiniani (Argille di Lugagnano/Argille Azzurre, Sabbie di Asti l.s. e "Villafranchiano" Auct.), marginalmente toccati dal tracciato di linea;
- iv) depositi alluvionali pleistocenico-olocenici del bacino di Alessandria e del vasto conoide del T. Scrivia, su cui si sviluppa la tratta di pianura del tracciato ferroviario.

#### 2.1.1 Il "nodo collisionale ligure"

Nell'area del nuovo Foglio Genova (Capponi et al., 2007, 2008) è possibile distinguere, lungo il tracciato in progetto, tre settori caratterizzati dall'associazione di unità di crosta oceanica e di mantello, unità di margine continentale e unità costituite da flysch (Figura 4) e cioè, da W verso E:

1. il **Gruppo di Voltri** auct., rappresentato dalle unità tettonometamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella, costituite da associazioni di ofioliti e metasedimenti carbonatici del dominio oceanico ligure-piemontese (pre-Cenomaniano), la cui distinzione sicura è possibile, in genere, solo a scala microscopica, in base ai caratteri mineralogico-petrografici: 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).

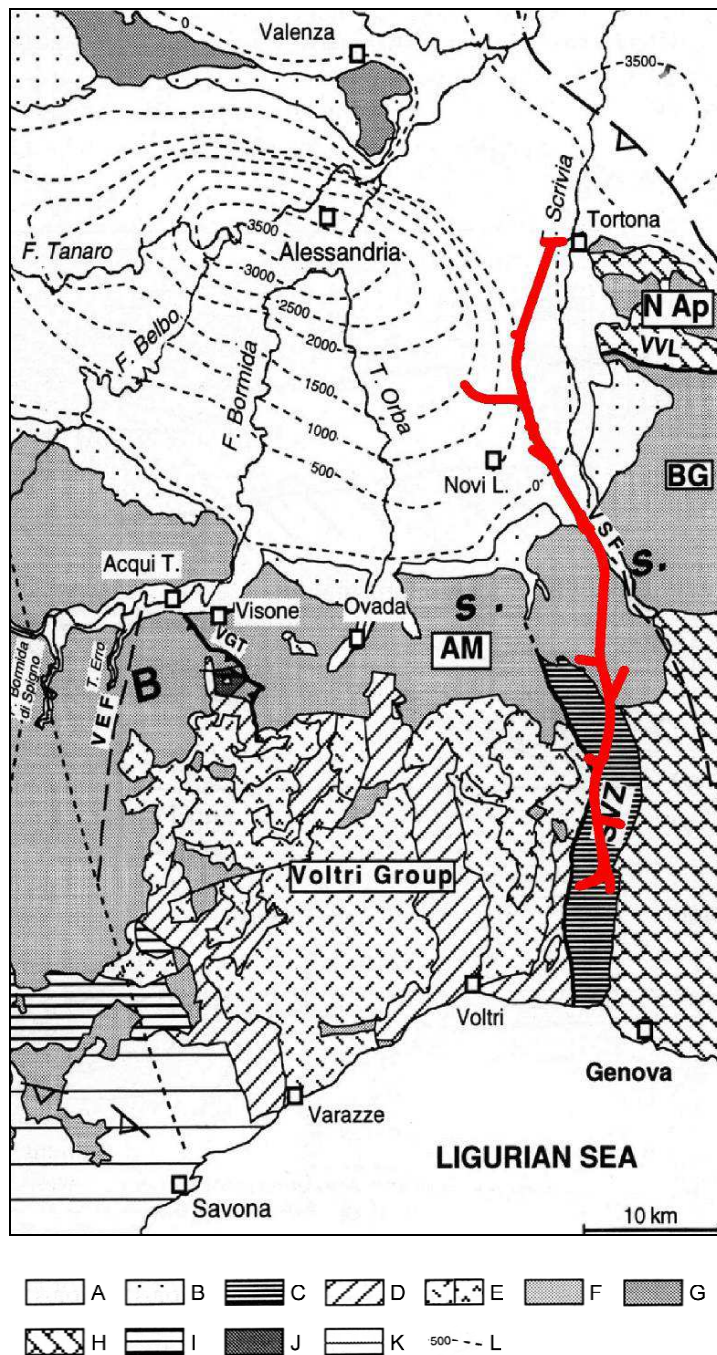
Le unità del Gruppo di Voltri non sono interessate dalle opere di linea, affiorando solo a ovest dello spartiacque del Monte Gazzo.

2. La **Zona Sestri-Voltaggio** auct., costituita da tre unità tettonometamorfiche, di cui due ofiolitiche (unità Cravasco-Voltaggio e Figogna) e una di margine continentale (unità Gazzo-Isoverde).

Il livello del metamorfismo all'interno della ZSV è progressivamente decrescente, passando dalle unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde (facies scisti blu) all'unità Figogna (facies pumpellyite-actinolite).



Attraverso la ZSV si sviluppa la quasi totalità della linea AC/AV Milano-Genova, tra Genova e il contatto con le formazioni del BTP (Figura 3, Figura 4).



**Figura 3 - Schema geologico-strutturale del settore interessato dallo sviluppo del tracciato AV/AC Milano-Genova (in rosso).**

**LEGENDA:** A: alluvioni quaternarie; B: depositi messiniano-pliocenici; C: Zona Sestri-Voltaggio; D-E: Gruppo di Voltri (D: calcescisti; E: unità di crosta oceanica); F: successioni oligo-mioceniche del BTP; G: successioni oligo-mioceniche del Monferrato; H: unità liguri; I: unità Montenotte; J: unità cristallina Valosio; K: altre unità alpine s.l.; L: isobate della base del bacino alessandrino. Per le differenziazioni all'interno della Zona Sestri-Voltaggio si veda lo schema tettonico della figura successiva.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" style="float: right; margin-left: auto;"> <tr> <td>Foglio 18 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 18 di 157
Foglio 18 di 157		

3. Il dominio dei **Flysch Appenninici**: è rappresentato dalle quattro unità tettoniche Mignanego, Montanesi, Ronco e Antola, sovrapposte con vergenza europea (ovest).

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.

I Flysch Appenninici non sono interessati dallo sviluppo della linea ferroviaria e delle opere connesse.

Verso est, quindi, La ZSV, che costituisce quindi il principale dominio geologico-strutturale interessato dallo sviluppo del progetto, è in contatto:

- a est, con le unità tettoniche di basso grado che compongono il dominio dei Flysch Appenninici;
- a ovest, con le unità tettonometamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella.

Questo secondo contatto, è delimitato da una discontinuità tettonica di importanza regionale, con direzione approssimativamente N-S, nota in bibliografia come Linea Sestri-Voltaggio.

Si tratta di un lineamento strutturale 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). Secondo le interpretazioni più aggiornate, comunque, è l'intera ZSV a costituire un canale di concentrazione preferenziale della deformazione tettonica, che lungo di essa si è ripetutamente scaricata, in momenti diversi della storia evolutiva della catena, secondo regimi tettonici che testimoniano un'evoluzione attraverso livelli strutturali (crostali) differenti (Capponi et al. 2009).

All'interno della ZSV, tra il territorio ligure e quello piemontese, è l'unità Figogna (unità del M. Figogna di Haccard, 1976; unità di Timone-Bric Teiolo di Marini, 1998) ad essere quella maggiormente interessata dallo sviluppo dell'opera. Le unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde ne sono toccate solo marginalmente, nel settore di Isoverde, dove è prevista la realizzazione della Finestra Cravasco.

I rapporti di sovrapposizione geometrica e strutturale tra le unità della ZSV, sono schematizzati nel profilo geologico di Figura 5, tratto da Capponi et al. (2007), in cui si osserva l'interposizione tettonica dell'unità Cravasco-Voltaggio a separare le unità Gazzo-Isoverde e Figogna; l'unità Cravasco-Voltaggio tende, in diversi punti, a chiudersi fino a scomparire, per cui si ha probabilmente un contatto diretto, sempre di tipo tettonico, tra le unità Figogna e Gazzo-Isoverde.

### 2.1.2 Il Bacino Terziario Piemontese

Verso nord, sul versante montano che si affaccia sulla Pianura Padana e sul Bacino di Alessandria, le unità metamorfiche alpine e le unità sedimentarie liguri sono ricoperte in discordanza dai depositi del Bacino Terziario Piemontese (BTP; Figura 3, Figura 6 e Figura 7). Questo bacino si è formato per l'evoluzione collisionale a doppia vergenza della catena alpina, che ha portato all'individuazione, sul suo lato interno (rivolto cioè verso la Pianura Padana), di un prisma orogenico complesso, riconoscibile nel sottosuolo fino a una profondità di 6-7 km (Roure et al. 1996).

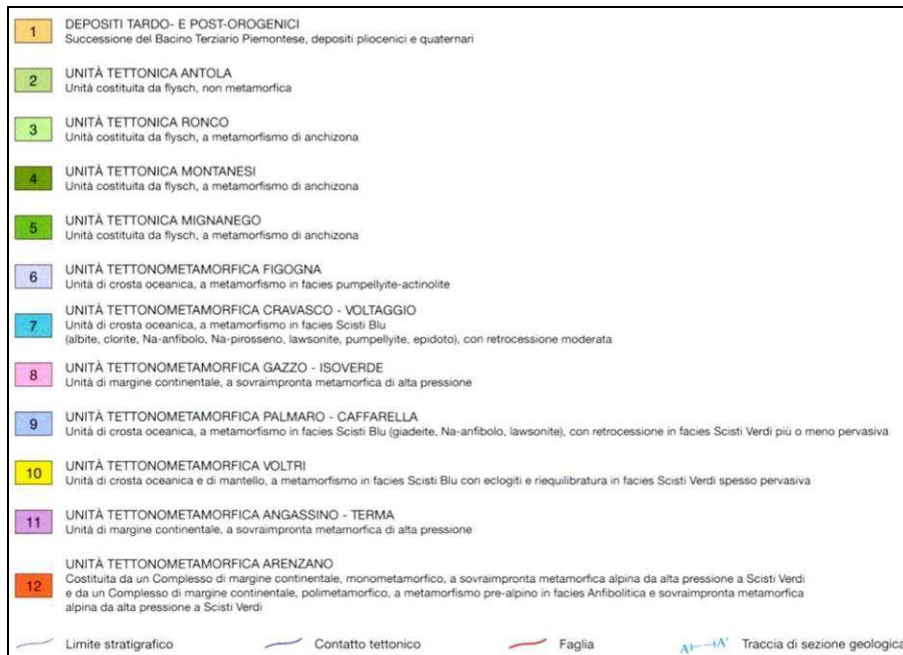
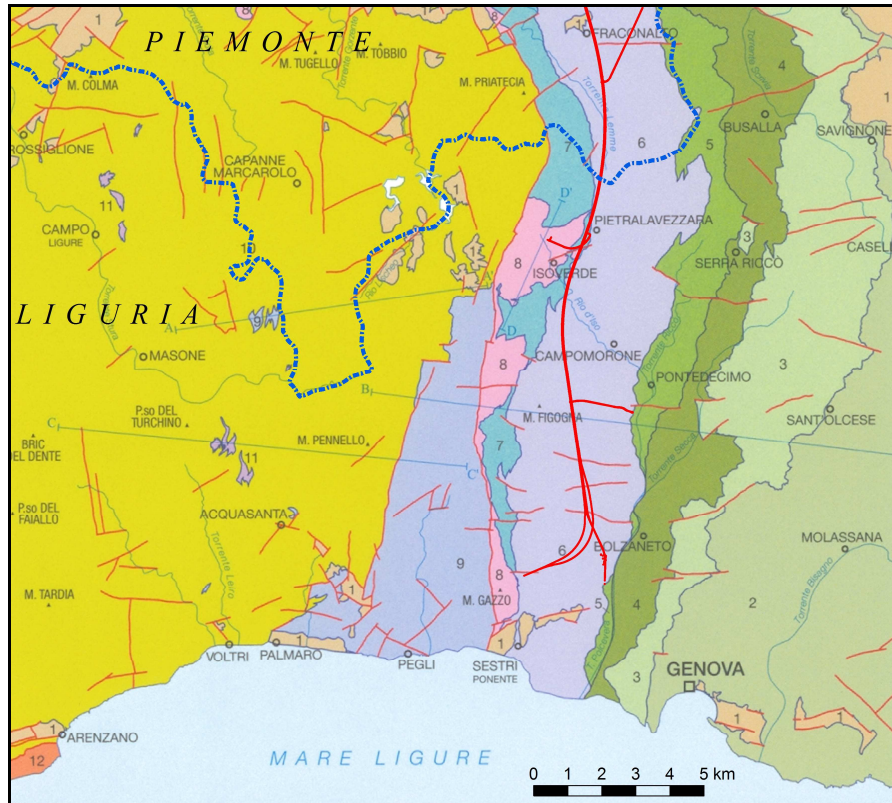
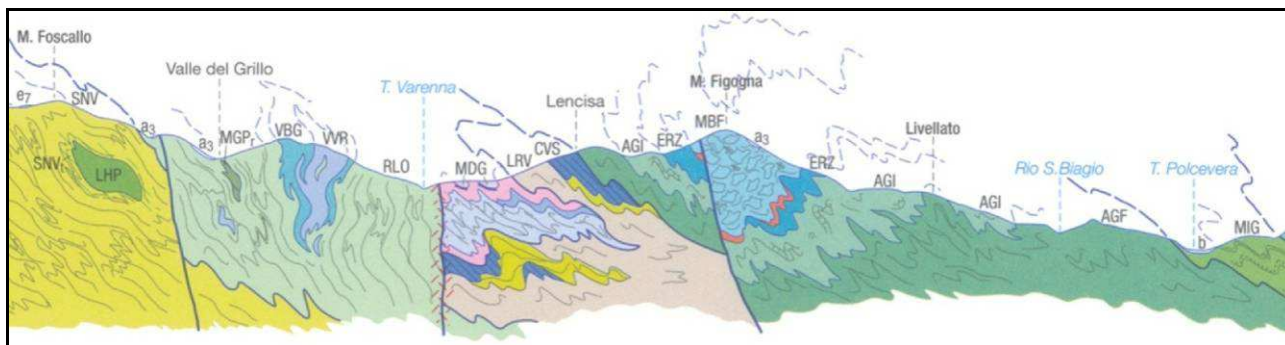


Figura 4 - Schema tettonico dell'area interessata dal progetto (tratto dal foglio CARG "Genova"). In rosso il tracciato dell'opera.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00

Foglio  
20 di  
157



**Figura 5 – Profilo geologico B-B’ (cfr. figura precedente), con direzione WNW-ESE, attraverso la Val Polcevera e la dorsale del M. Figogna (da Capponi et al. 2007).**

A partire dall’Eocene superiore e fino a tutto l’Oligocene inferiore, sulla parte interna del prisma orogenico alpino si è infatti sviluppato un settore che può essere considerato come un bacino di *retroforeland* alpino (Bacino Terziario epi-mesoalpino di Mutti et al. 1995).

La nascita di questo bacino è legata al retroscorrimento delle unità metamorfiche alpine sulle unità liguri (fase mesoalpina o ligure auct.). I retroscorrimenti mesoalpini, ben documentati nel sottosuolo padano (Roure et al. 1990; Fantoni et al. 2002), sono rappresentati, in superficie, dalla Zona Sestri-Voltaggio (Cortesogno et al. 1979; Cortesogno & Haccard, 1984; Hoogerdujin Strating, 1994).

In questo settore, caratterizzato da una geodinamica articolata, si depositano le successioni basali del BTP e dei “bacini epiliguri” dell’Appennino settentrionale (Oligocene inferiore). Inizialmente, Il BTP era costituito da svariati sottobacini, parzialmente interconnessi e raccordati, in continuità fisica, all’apice occidentale dell’avanfossa sudalpina verso nord e al Bacino di Ranzano verso est (Figura 6, Figura 7).

Alla fine dell’Oligocene inferiore, il contesto geodinamico regionale viene modificato dall’apertura del bacino Ligure-Provenzale e dallo sviluppo di una nuova catena a vergenza appenninica (da N a NE). Tra l’Oligocene superiore e il Miocene medio, questa parte della catena alpina è quindi coinvolta negli eventi tettonici coevi alla costruzione della catena appenninica; la parte occidentale del bacino di *retroforeland* alpino viene incorporata nella nuova catena a vergenza appenninica, differenziandosi in diversi domini tettonostratigrafici, costituiti da successioni sedimentarie solo parzialmente confrontabili:

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

Dal tardo Oligocene, quindi, in relazione al coinvolgimento del Monferrato nei sovrascorrimenti appenninici, il BTP diventa un bacino di *thrust-top* fortemente asimmetrico, caratterizzato da elevata subsidenza del settore meridionale. Dal Miocene medio, questo settore registra un’inversione tettonica, che ne determina il progressivo basculamento verso Nord (Rossi et al., 2009).



Dal tardo Priaboniano (Eocene sup.) al Burdigaliano (Miocene inf.) si osserva una generale trasgressione, accelerata da una serie di non-conformità indotte dall'annegamento della piattaforma, associate a faglie sinsedimentarie e a una diffusa instabilità lungo pendii soggetti a rotazioni di origine tettonica (*oversteepening*). La variazione dell'onlap costiero verso le aree sud-occidentali, più prossime al settore assiale della catena alpina, è associata ad un marcato diacronismo dei sistemi marino-marginali (Formazione di Molare; Rossi et al., 2009).

Nel tardo Burdigaliano si verifica la massima creazione di spazio, registrata da un sistema torbiditico ad alta efficienza, esteso per quasi 100 km. A partire dal Langhiano (Miocene medio), la prevalente sottrazione di spazio determina un elevato tasso di progradazione dei sistemi fluvio-deltizi, accompagnato da fasi di regressione forzata, *bypassing* ed estesa instabilità al margine esterno delle piattaforme (Rossi et al., 2009).

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

Nel complesso, la successione sedimentaria del BTP, prevalentemente terrigena-silicoclastica, si sviluppa dall'Eocene superiore al Miocene superiore (Messiniano), raggiungendo spessori che superano talora i 4.000 m (Mutti et. al. 1995). Sulla base dei dati biostratigrafici e litostratigrafici, la successione sedimentaria del BTP è stata suddivisa in unità e gruppi di unità delimitati da superfici di discontinuità, cui corrispondono specifici eventi tettonici e variazioni assolute del livello marino.

Nello schema tettonostratigrafico di Figura 8 sono tentativamente rappresentati i rapporti geometrici tra le varie unità sedimentarie del BTP interessate dall'opera, in relazione con l'assetto strutturale locale.

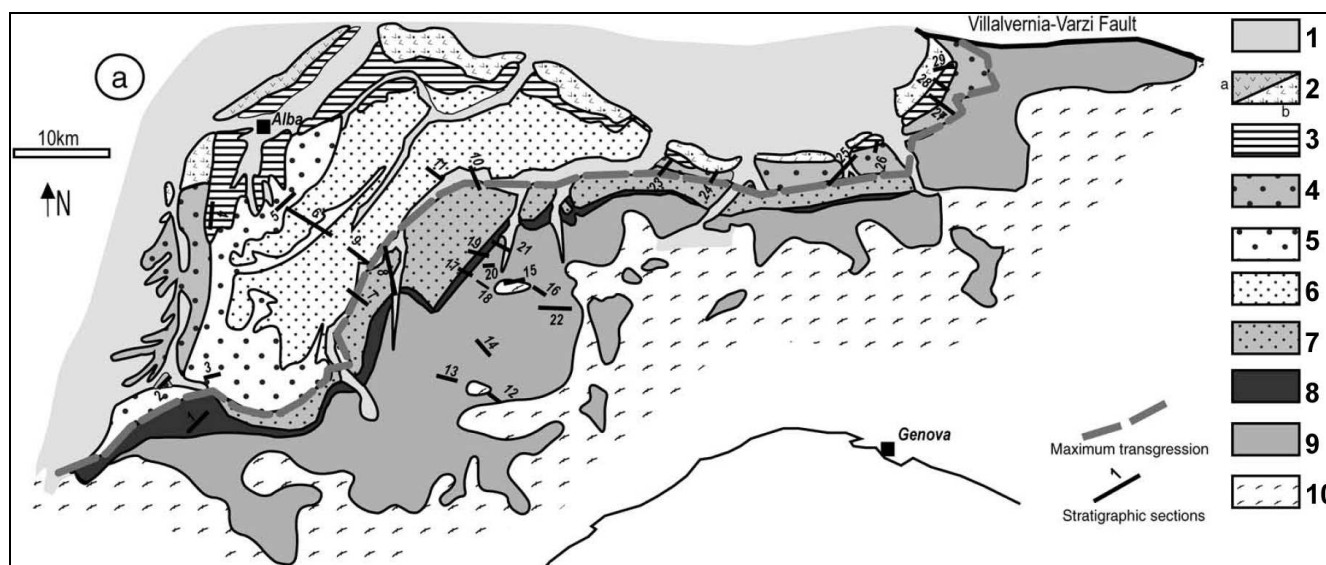
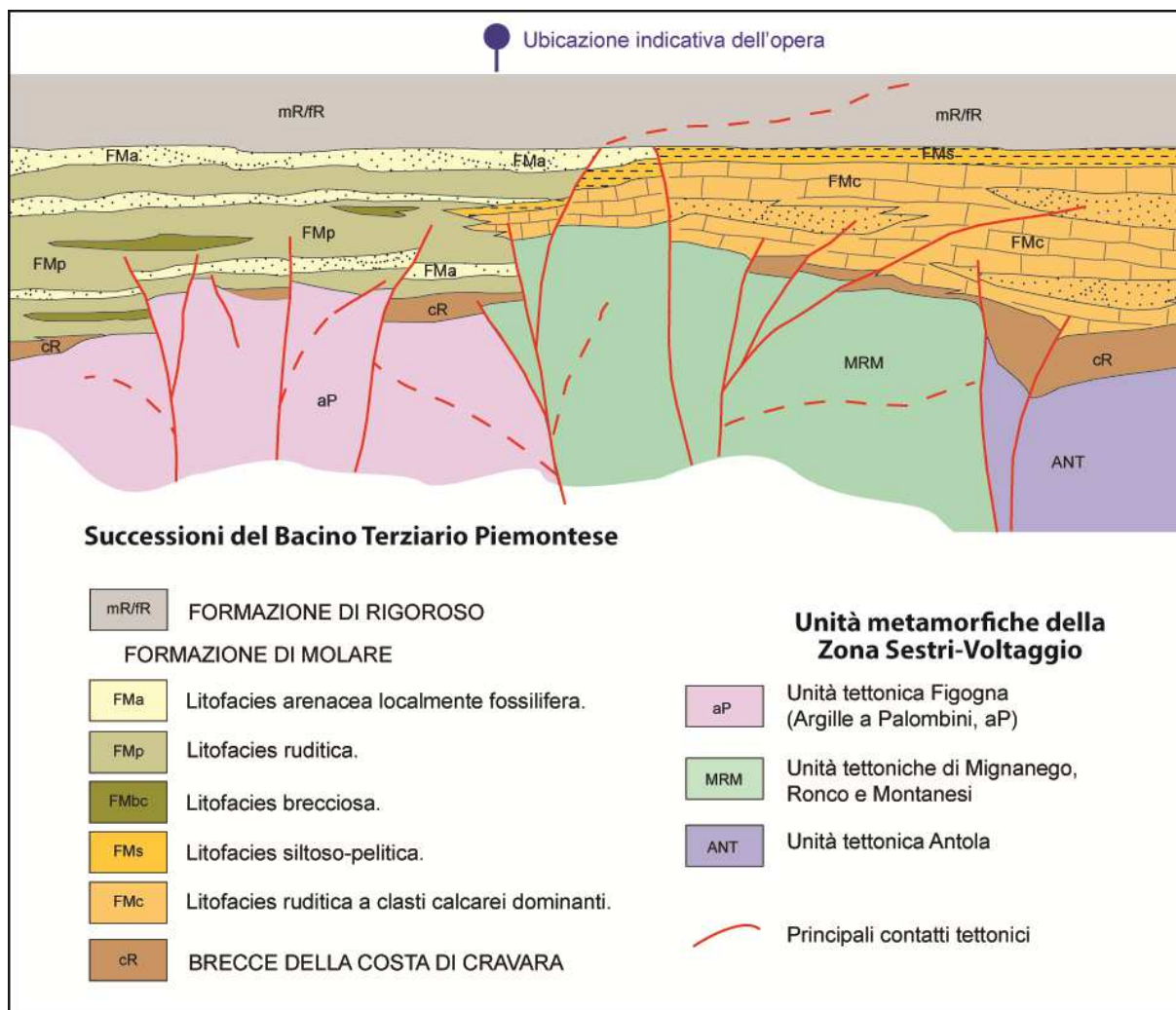


Figura 6 – Carta geologica semplificata del BTP con indicazione delle principali associazioni di litofacies e la localizzazione delle sezioni stratigrafiche illustrate nella figura seguente (da Rossi et al., 2009). Il sistema



Con il sollevamento dell'area si passa dapprima alla deposizione delle Sabbie d'Asti, di ambiente costiero-paralico, quindi alle facies marino-continentali e continentali franche del "Villafranchiano" auct. pp.



**Figura 8 – Schema tettonostratigrafico illustrante i rapporti geometrici e stratigrafici intercorrenti tra le diverse unità affioranti nell'area di progetto. La sezione (non in scala) è orientata indicativamente da ovest (sinistra) a est (destra).**

#### 2.1.4 I depositi alluvionali della piana tra Serravalle Scrivia e Tortona

A partire dall'imbocco nord (lato Milano) della Galleria di Serravalle, il settore cosiddetto "di pianura" del tracciato ferroviario si sviluppa su una successione di depositi fluviali recenti (Pleistocene-Olocene) riferibili al bacino del Torrente Scrivia; i più antichi tra questi depositi, che costituiscono una piccola parte del bacino, sono localizzati alla sommità dei rilievi collinari prospicienti le aree di pianura, mentre la maggior parte di essi, di età più recente, costituisce l'ampio conoide del T. Scrivia, che si sviluppa tra Serravalle Scrivia e Tortona (Figura 9).

Il complesso dei depositi fluviali del bacino dello Scrivia appoggia in discontinuità stratigrafica, da sud a nord, sulle successioni sedimentarie del BTP, sulle successioni post-Messiniane e sui depositi del "Villafranchiano" auct. La superficie di appoggio basale dei depositi fluviali è molto prossima alla

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 24 di 157

superficie topografica in prossimità dei rilievi (Serravalle Scrivia e Novi Ligure), mentre tende ad approfondirsi notevolmente procedendo verso nord (depocentro del Bacino Alessandrino), come si può vedere dalla carta delle isobate dei depositi alluvionali nel settore alessandrino (Figura 35).

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

Le sigle riportate a fianco dei nomi delle formazioni descritte nel presente rapporto e nelle tavole allegare fanno riferimento, in linea di massima, alla legenda già adottata nel Progetto Definitivo (2004); tuttavia, i nuovi documenti cartografici di riferimento (Foglio "Genova" e Carta Geologica del Piemonte) fanno riferimento, in maniera tra loro coerente, a una codifica differente, tarata sulle suddivisioni e sulle interpretazioni proprie degli autori di tali documenti. Per questo motivo, negli elaborati del PE potrà trovarsi riportato, quando necessario, a fianco del codice adottato nel PD, il corrispondente codice adottato nella cartografia CARG (Capponi et al., 2008).

In ogni caso, nell'intento di limitare al massimo la confusione tra la terminologia adottata nel PD e nel PE, senza tralasciare le informazioni derivanti dai dati di letteratura più aggiornati, sono state realizzate le seguenti tre tabelle, in cui è messa a confronto la nomenclatura derivante dalla cartografia ufficiale più recente e quella adottata in base alla bibliografia antecedente il 2004, su cui si è basato il Progetto Definitivo (2004). In Tabella 3 sono inoltre evidenziati (in corsivo sottolineato) i casi in cui il miglioramento delle conoscenze raggiunto con i nuovi rilievi geologici, realizzati in fase di PE, ha imposto una variazione/integrazione della nomenclatura, della gerarchia e/o della descrizione delle unità stratigrafiche interessate dall'opera. Nei paragrafi successivi verrà fornita una descrizione litostratigrafica delle diverse unità interessate dal progetto. Le sigle delle unità includono sia la codifica loro assegnata nel progetto definitivo sia, ove applicabile, la più recente codifica CARG, nel seguente modo: *nome unità (codice PD/codice CARG) es.: Metacalcari di Erzelli (cE/ERZ)*.

Carta Geologica d'Italia Foglio 70 "Alessandria" 1:100.000	Carta Geologica del Piemonte 1:250.000 (in prep.)		Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi"	
			PROGETTO DEFINITIVO	PROGETTO ESECUTIVO
A3 – Alluvioni attuali	DEPOSITI FLUVIALI DEL BACINO ALESSANDRINO	A1 - Depositi fluviali del Pleistocene sup. - Olocene	a - Fluviale attuale	a - Depositi fluviali attuali
A <sup>2-1</sup> – Alluvioni post-glaciali		A2 – Depositi fluviali della parte terminale del Pleistocene sup.		
A <sup>1</sup> /F <sup>1</sup> – Fluviale recente		A3 – Depositi fluviali del Pleistocene sup.	f13- Fluviale recente	f13 - Depositi fluviali recenti, Pleistocene sup.? - Olocene
F <sup>2</sup> – Fluviale medio		A4 – Depositi fluviali del Pleistocene medio - sup.	f12- Fluviale medio	f12 - Depositi fluviali medi, Pleistocene medio - sup.
F <sup>1</sup> – Fluviale antico I <sup>2</sup> – Villafranchiano auct.		A5 – Depositi fluviali del Pleistocene medio	f11 - Fluviale antico	f11 - Depositi fluviali antichi, Pleistocene medio?
	A6 – Depositi fluviali del Pleistocene inf. - medio			
P <sup>3-2</sup> - Sabbie di Asti	SUCCESIONI POST- MESSINIANE	S9b – Sintema di Maranzana	vL – Villafranchiano auct. e Sabbie di Asti, Pleistocene inf.	
		S8b – Successioni silteose e sabbioso-ghiaiose piacentiane		
P - Argille di Lugagnano, Pliocene		S8a – Formazione delle Argille Azzurre dello Zancleano	aL – Argille di Lugagnano (Formazione delle Argille Azzurre), Zancleano	

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



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00

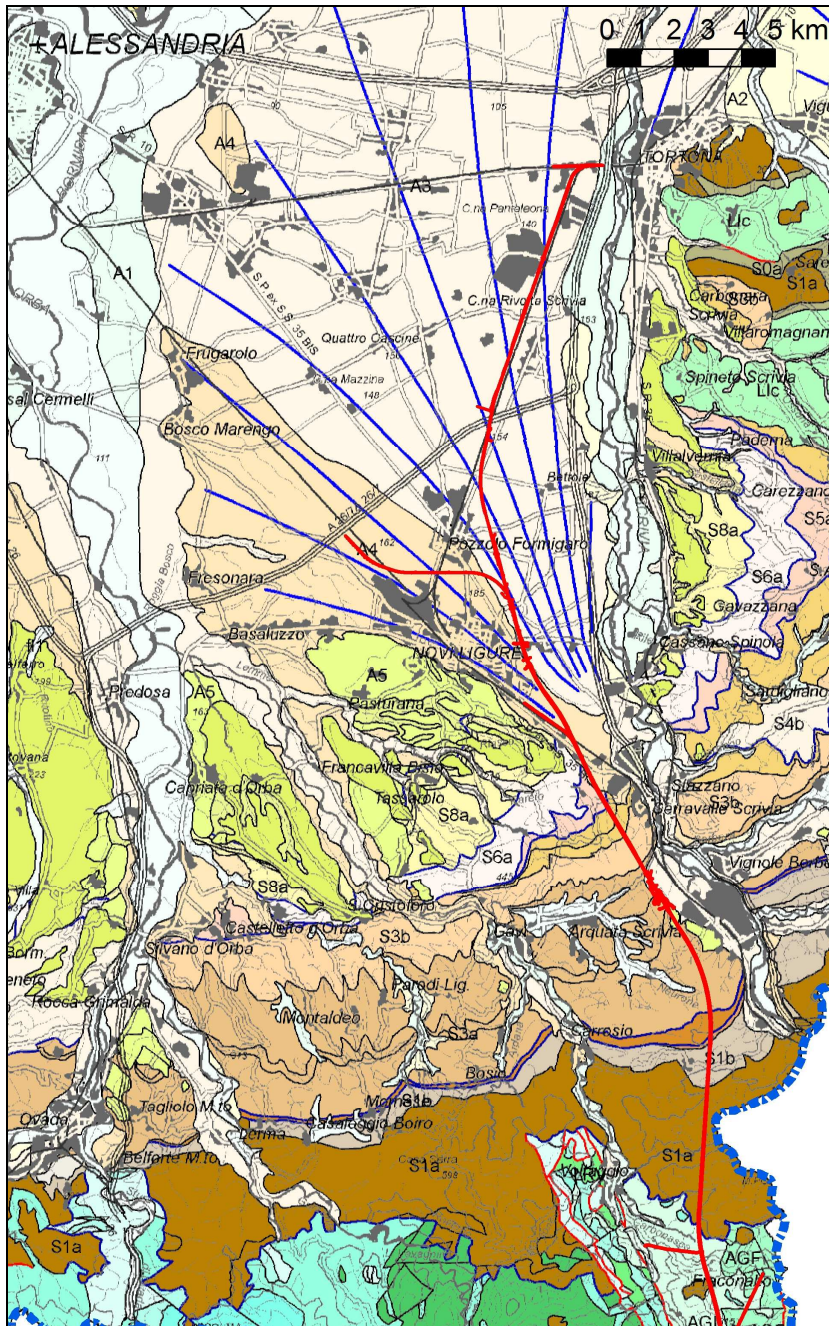
Foglio  
25 di  
157

Foglio 213-230 Genova CARG Cartografia Geologica d'Italia Scala 1:50.000 (2009)			Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" Progetto Definitivo (2004)			Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" Progetto Esecutivo (2014)		
Unità Figogna	Argilloscisti di Murta	AGF	Unità Timone – Bric Teiolo	Argilliti a Palombini del passo della Bocchetta	aP	Unità Figogna	Argille a Palombini del passo della Bocchetta	aP
	Argilloscisti di Costagiutta	AGI		Calcarei di Erselli	cE		Metacalcari di Erzelli	cE
	Metacalcari di Erzelli	ERZ		Scisti silicei	d'		Metasedimenti silicei della madonna della Guardia	dM
	Metasedimenti silicei della madonna della Guardia	MHF		Metabasalti	B'		Metabasalti del Monte Figogna	B'
	Metabasalti del Monte Figogna	MBF		Serpentiniti, serpentinoscisti e 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 Larvego	f
	Calcarei di Voltaggio	VOL		Calcarei di Voltaggio	cV		Calcarei di Voltaggio	cV
	Metasedimenti silicei dell'Osteria dello zucchero	MHC		-	-		Metasedimenti silicei dell'Osteria 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-Isoverde	Meta-argilliti di Bessega	MBG	Unità Monte Gazzo-Isoverde	Metargilliti nere	Mn	Unità Gazzo - 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 carnirole	gc		Calcarei di Gallaneto	cG
	Gessi del Rio Riasso	GSR		Calcarei dolomiti del Monte Gazzo	dG		Gessi, anidriti e carnirole (Gessi del Rio Riasso)	gc
	Dolomie del Monte Gazzo	MDG					Dolomie del Monte Gazzo	dG

**Tabella 2 - 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.**

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

**Tabella 3 - Tabella nomenclaturale riassuntiva delle unità stratigrafiche del Bacino Terziario Piemontese presenti in letteratura messi a confronto con i termini e le sigle di progetto nelle fasi Definitiva ed Esecutiva. In corsivo sottolineato sono evidenziati i termini oggetto di revisione (come terminologia, gerarchia e/o come descrizione) in fase di Progetto Esecutivo.**

**LEGENDA****Depositi alluvionali**

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

**Bacino Terziario Piemontese**

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

**Dominio Ligure-Piemontese (unità non metamorfiche) - Flysch ad Helminthoides dell'Appennino**

**L1a** Formazione del M. Antola, Formazione di Bruggi-Selvapiana, Argilliti di Pagliaro (Campaniano-Maastrichtiano p.p.);  
**L1c** Flysch di Monte Cassio (Cretacico sup.-Eocene inf.?).

**Zona a scaglie tettoniche – Zona Sestri-Voltaggio****Unità Figogna:**

**AGI** Argilloscisti di Costagiutta (Cretacico inf.);  
**AGF** Argilloscisti di Murta (Cretacico inf.).

**Unità Cravasco-Voltaggio:**

**CVOo** metabasalti e metagabbri (Giurassico medio? – sup.?).

**Figura 9** – Estratto della nuova Carta Geologica del Piemonte in scala 1:250.000 (Piana et al. in prep.) con l'ubicazione del tracciato della linea AV/AC (in rosso) per la parte che attraversa il territorio piemontese fino a Tortona. La parte in bianco è in territorio ligure.



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 28 di 157</span>

### 3 LA ZONA SESTRI-VOLTAGGIO

#### 3.1 Unità tettonometamorfica Figogna

L'unità tettonometamorfica Figogna (UF) 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:

- serpentiniti del Bric dei Corvi (zona di deformazione di Scarpino) (Se'/SPF);
- metagabbri di Gheresi (MRF) (\*);
- metaoficalciti di Pietralavezzara (of'/PLV);
- metabasalti del M. Figogna (B'/MBF);
- metasedimenti silicei della Madonna della Guardia (dM/MHF);
- metacalcari di Erzelli (cE/ERZ);
- 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").

(\*): non descritti in quanto non interessati dalla linea.

Uno schema sintetico dei rapporti stratigrafici all'interno dell'UF è presentato nella successiva Figura 10, 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'UF 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 B-B' estratto dal Foglio Genova (cfr. capitolo precedente), la successione basalti / scisti silicei / calcari / argilloscisti rappresentata nella colonna stratigrafica di Figura 10 è rovesciata: infatti i basalti si trovano in posizione geometricamente soprastante, formando la culminazione della dorsale spartiacque e così via 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).

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

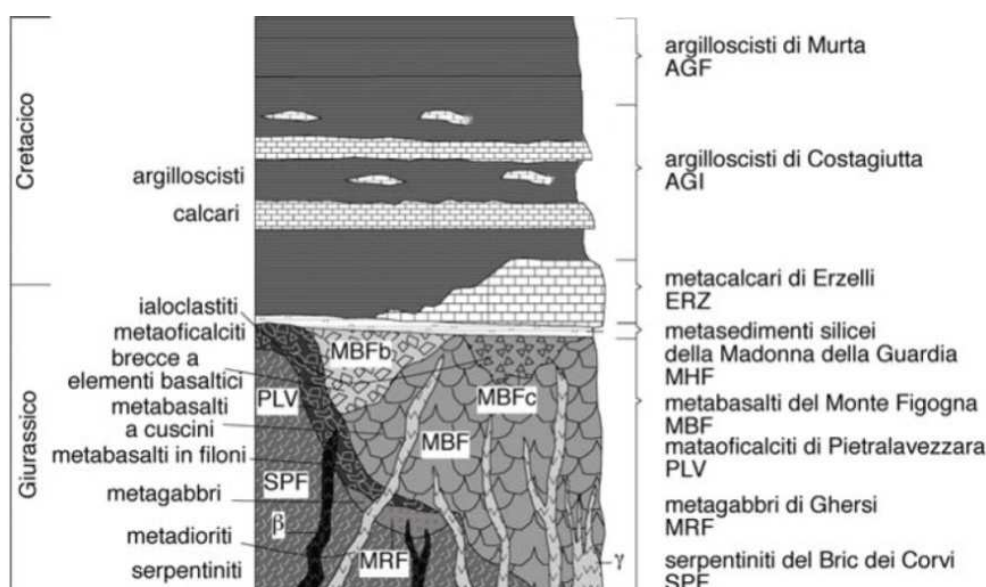


GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00

Foglio  
29 di  
157

(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.

La parte occidentale dell'UF 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).



**Figura 10 – Schema dei rapporti stratigrafici tra le varie formazioni che costituiscono l'unità tettonometamorfica Figogna (Capponi et al., 2008).**

### 3.1.1 Serpentiniti del Bric dei Corvi (Se'/SPF)

Serpentiniti a crisotilo, antigorite e lizardite, a tessitura cataclastica con fenomeni di deformazione duttile legati a pieghe di trascinarsi 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 (Dogger - Malm).

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°.

Le serpentiniti preservano parzialmente una tessitura granulare isotropa o debolmente orientata, di origine mantellica, definita da relitti di pirosseno, olivina e magnetite in una massa di fondo serpentinitizzata; affioramenti di metaperidotiti sono visibili ad esempio lungo la strada che attraversa in quota il versante tra le località Serra e Panigaro (Via Cassinelle) a monte di Genova. Formano dei litoni di dimensioni pluridecametriche, bordati da zone di taglio duttile a serpentinoscisti. Il grado di

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 30 di 157

serpentinizzazione delle peridotiti è variabile, con presenza di tutti i termini intermedi, da metaperidotiti poco serpentinizzate a serpentiniti con relitti di tessitura peridotitica.

I serpentinoscisti che bordano le masse di metaperidotiti meno deformate hanno tessitura fortemente laminata e stirata, di tipo milonitico, essendo legati allo sviluppo di zone di taglio duttile, di potenza variabile da pochi metri a diverse decine di metri; sono costituiti essenzialmente da antigorite lamellare che conferisce alla roccia un colore grigio-verde chiaro; si trovano di preferenza concentrati lungo le zone che definiscono i contatti con i metabasalti dell'unità Figogna, contatti che sono caratterizzati anche dalla compresenza di fasce metriche di metabasalti a tessitura milonitica; esempi di questo tipo si possono osservare sempre lungo la già citata Via Cassinelle.

Al di fuori delle zone di taglio duttile principali, i serpentinoscisti passano gradualmente a serpentiniti antigoritiche da massicce a foliate, spesso con struttura orientata definita da superfici coniugate a basso angolo di tipo S-C.



**Figura 11 – Metaperidotiti serpentinizzate a tessitura granulare, con layering metamorfico spaziatto definito da livelli con arricchimento in minerali scuri (magnetite, cromite). Via Cassinelle a monte di località Panigaro.**

### 3.1.2 *Metaoficalciti di Pietralavezzara (of'/PLV)*

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 (Dogger? - Malm?).

### 3.1.3 *Metabasalti del M. Figogna (B'/MBF)*

Si tratta di metabasalti massivi e a pillow (Figura 12), con orizzonti di brecce basaltiche a tessitura fluidale, più raramente in filoni massicci a tessitura doleritica e con locali filoni decimetrico-metrici di metadioriti (Malm?).



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 31 di 157

I metabasalti, in particolare quelli affioranti nella massa principale che forma la dorsale del M. Figogna, si presentano poco deformati; un accenno di scistosità è più evidente dove si osserva lo stiramento dei pillow, che raramente è accentuato.



**Figura 12 - Affioramento di metabasalti del Monte Figogna, in prossimità dell'imbocco della Finestra "Castagnola" della linea MI-GE; nel dettaglio si notano relitti dell'originaria tessitura a pillow.**

Nelle parti centrali della formazione si osservano brecce 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 delineano 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 numerosi lembi allungati e discontinui, di origine tettonica, all'interno della formazione degli argilloscisti di Costagiutta, dove sono frequentemente associati a metasedimenti silicei, metacalcari e metaoficalciti, formando dei litoni pluridecametrici o pluriettometrici, allungati parallelamente alla direzione della foliazione regionale che li avvolge. Tali masse minori di metabasalti sono sovente attraversate da un fitto reticolato di vene idrotermali, a prevalenti albite e calcite,  $\pm$  quarzo

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 315"> <tr> <td>Foglio 32 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 32 di 157
Foglio 32 di 157		

### 3.1.4 *Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia (dM/MHF)*

Scisti silicei, rossi o più raramente verdi, ftniti zonate con sporadici livelli radiolaritici, scisti quarzosi rosso–rosati, fittamente foliati e con giunti (Malm?).

Formano lembi sottilissimi e discontinui, sempre in associazione con i basalti nella caratteristica posizione stratigrafica che questi depositi conservano nelle successioni ofiolitifere. 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.

### 3.1.5 *Metacalcari di Erzelli (cE/ERZ)*

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) (Malm? - Cretacico Inf.?).

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 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 torbidityca; la non trascurabile componente terrigena torbidityca 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).

### 3.1.6 *Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP/AGI-AGF)*

L'unità delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (Cretacico inf.), descritta come un complesso litostratigrafico unico dagli autori pre-CARG e dal Progetto Definitivo, è stata successivamente suddivisa nel foglio CARG Genova in due sottunità (cfr. Figura 10):

- argiloscisti di Costagiutta (AGI);
- argiloscisti di Murta (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 sottunità CARG sopra citate e distinguendo cartograficamente, sempre ove possibile, le due litofacies principali.

Le due sottunità AGI e AGF occupano posizioni strutturalmente e litostratigraficamente distinte: gli argiloscisti di Costagiutta in posizione soprastante, gli argiloscisti di Murta in posizione sottostante; tuttavia, i rapporti geometrici tra le due litofacies sono spesso complicati dalla presenza di strutture

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 33 di 157</p>

plicative megascopiche, da serrate a aperte; inoltre, i contatti reciproci non sono netti, ma probabilmente di tipo stratigrafico transizionale, come indicato dalla colonna stratigrafica di Figura 10.

Tutto ciò, in aggiunta al fatto che i contatti non sono facilmente osservabili sul terreno, a causa della persistente coltre detritico-colluviale e della fitta copertura boschiva che caratterizza i versanti montuosi attraverso i quali si sviluppa il tracciato di linea, fa sì che i limiti tra le due litofacies non siano quasi mai nettamente circoscrivibili. L'informazione cartografica, anche relativa al dato CARG, che pone un limite netto tra queste due litofacies, può risultare quindi fuorviante se non si tiene conto delle condizioni sopra esposte.

I presumibili rapporti geometrici reciproci, a scala regionale, sono esemplificati dal profilo geologico B-B' estratto dal foglio CARG "Genova" (cfr. capitolo precedente). Il profilo ha un'orientazione E-W e passa per la sommità del M. Figogna, appena a sud del tracciato della finestra Polcevera. Come si vede, 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; cfr. capitolo dedicato all'analisi strutturale).

### 3.1.6a Argilloscisti di Costagiutta

Dal punto di vista litostratigrafico, la sottounità degli **argilloscisti di Costagiutta** è costituita da alternanze di argilloscisti 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.

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., 2008).

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 pluridecimetrica. 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).



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 34 di 157

### 3.1.6b Argilloscisti di Murta

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 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.



**Figura 13 - Affioramento di Argilloscisti di Murta, in prossimità di un contatto tettonico secondario, con foliazione molto pervasiva a spaziatura millimetrico-centimetrica.**

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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 35 di 157

### 3.2 Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde

L'unità Gazzo–Isoverde (UGI) è un'unità di margine continentale costituita da una successione metasedimentaria che comprende dolomie, con livelli di gessi e carniole, calcari e argilloscisti. Vi affiora un nucleo di dolomie di età norica (Dolomie del M.Gazzo), equivalenti alla Dolomia Principale del Sudalpino, con al tetto lembi preservati di unità bacinali a sedimentazione mista carbonatica/silicoclastica (Serie di Gallaneto-Lencisa e meta-argilliti di Bessega). La successione stratigrafica è continua dal Triassico medio al Giurassico inf., senza lacune importanti (Figura 14).

L'unità affiora in tre corpi principali (Isoverde, Lencisa e M. Gazzo) ed è compresa tra l'unità Figogna (geometricamente sovrastante) e l'unità Palmaro-Caffarella (geometricamente sottostante).

Nell'UGI è riconoscibile una sovrimpronta metamorfica di alta pressione / bassa temperatura, comparabile a quella osservabile nell'unità Cravasco-Voltaggio, che presenta anche la stessa evoluzione strutturale.

Le associazioni litologiche sono riferibili a un ambiente di piattaforma carbonatica in fase di collasso (Capponi et al., 2008). I caratteri sedimentologici e stratigrafici permettono di attribuire il dominio paleogeografico di pertinenza al margine paleoeuropeo (dominio pre-Piemontese, Cortesogno & Haccard, 1984).

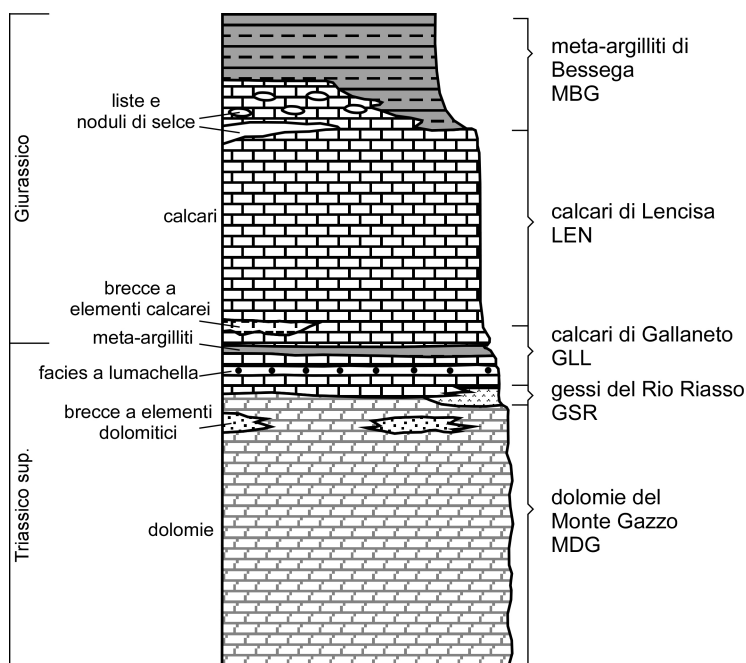


Figura 14 – Schema dei rapporti stratigrafici tra le varie formazioni che costituiscono l'unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde (da Capponi et al., 2008).

#### 3.2.1 Dolomie del Monte Gazzo (dG/MDG)

Dolomie e calcari dolomitici, di colore da grigio chiaro a biancastro, ricristallizzati, spesso saccaroidi (Carnico sup. - Norico). Tessitura grossolanamente stratificata, spesso mal definita, con spessore degli strati variabile in media tra 0.5 e 2 m, ma con banchi potenti fino a 10 m ca., costituiti da strati decimetrici rinsaldati, ondulati a scala plurimetrica. Sono frequenti le intercalazioni di metapeliti e di calcari marnosi giallastri. La stratificazione non è sempre facilmente riconoscibile anche a causa

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00

Foglio  
36 di  
157

della deformazione tettonica. Verso l'alto stratigrafico sono presenti filoni sedimentari e breccie intraformazionali ad intraclasti dolomitici scuri fino a nerastri. Raramente sono conservate strutture sedimentarie (tappeti algali, oospariti, intramicrospariti e fossili). La porzione superiore della serie è costituita da dolomicriti nerastre e facies di breccia.

I sistemi di fratture presenti sono sede di frequenti fenomeni carsici, associati a condotti di dimensioni metriche, impostati lungo le discontinuità e particolarmente sviluppati nel settore centro-meridionale dell'unità. Il sistema carsico della Dolomia del Gazzo costituiva un acquifero significativo, che presumibilmente è stato modificato dalla perforazione del tunnel ferroviario di Borzoli, diretto al porto di Voltri. Tuttavia sul versante della Val Chiaravagna vi sono sorgenti ancora attive. Sono inoltre presenti diverse cavità carsiche oggetto di esplorazione, segnalate nel database "Gestionale Speleologico Ligure" (<http://www.catastogrotte.net>).

Le dolomie sono oggetto di un'intensa attività estrattiva in numerose grandi cave localizzate sul versante orientale del M. Gazzo.

### 3.2.2 Gessi del Rio Riasso (gc/GSR)

Si tratta di gessi saccaroidi associati a calcari vacuolari, breccie dolomitiche e anidriti (Norico), osservabili solo in alcuni limitatissimi affioramenti lungo il Rio Riasso e tra Cravasco e Isoverde.

Le note illustrative del foglio Genova riportano non meglio precisate "fonti storiche" da cui risulta che i gessi siano stati oggetto di coltivazione in sottosuolo nell'area tra Cravasco e il Passo della Bocchetta; nella zona di Isoverde sono riportati problemi di instabilità, a causa sia di fenomeni di dissoluzione, sia del probabile collasso di gallerie realizzate all'epoca della coltivazione. Da una ricerca più accurata sono emerse ulteriori informazioni di interesse, di cui si darà una descrizione più precisa nella parte dedicata agli approfondimenti.

Non sono noti in superficie affioramenti di anidriti, la cui presenza in profondità è però attestata da alcuni carotaggi profondi realizzati nell'area. È probabile che le anidriti esposte in superficie si siano idratate in gesso, mentre in profondità esse si siano mantenute inalterate.

L'associazione di questi litotipi suggerisce un ambiente costiero di transizione, con locali emersioni. La posizione stratigrafica di questa formazione è ambigua: per alcuni autori alla base della successione stratigrafica triassico-liassica, per altri al *top* delle dolomie e calcari dolomitici e al *bottom* dei Calcari di Gallaneto. Al *top* delle dolomie e dei calcari dolomitici sarebbe stato riconosciuto, nell'evoluzione del bacino deposizionale, un progressivo avvicinamento a condizioni evaporitiche. Le note illustrative del CARG propendono per questa seconda interpretazione.

### 3.2.3 Serie di Gallaneto-Lencisa

Le Formazioni dei Calcari di Lencisa e dei Calcari di Gallaneto sono difficilmente distinguibili sul terreno, se non in base all'analisi del contenuto paleontologico. Affiorano sul fianco nord-orientale e sul fianco meridionale dell'unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 232 1532 318"> <tr> <td>Foglio 37 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 37 di 157
Foglio 37 di 157		

### 3.2.3a *Calcari di Lencisa (eN/LEN)*

Metacalcari grigi, grigio-neri e nocciola, con intercalazioni di livelli metapelitici, liste e noduli di selce. La stratificazione è solitamente riconoscibile, anche se appare trasposta, mentre a seconda dei litotipi considerati può essere presente anche un clivaggio più o meno evidente. Lo spessore degli strati varia da centimetrico a decimetrico (Sinemuriano-Pliensbachiano).

### 3.2.3b *Calcari di Gallaneto (cG/GLL)*

Metacalcari grigi più o meno micacei, alternati a scisti pelitici e marnosi; verso l'alto stratigrafico si rinvencono calcari cristallini puri. La stratificazione è generalmente ben riconoscibile, mentre lo sviluppo del clivaggio è poco pervasivo. Lo spessore degli strati varia da decimetrico a metrico (Norico-Hettangiano).

I calcari di Gallaneto possono agevolmente essere osservati, in affioramento, lungo la strada che percorre il fondovalle del Rio Bianchetta, tra le dorsali del M. Gazzo e del Bric dei Corvi (Via Chiaravagna, GE); vi affiorano degli scisti calcarei di colore da grigio-azzurro a grigio scuro, a tessitura laminata definita da una foliazione pervasiva, con spaziatura da millimetrica a centimetrica, pieghettata a scala centimetrico-decimetrica (Figura 15). Le pieghe, riferibili a una fase tardiva (D3 probabile, cfr. capitolo strutturale), hanno stile aperto con cerniere acute, assi debolmente immergenti verso N e piano assiale immergente verso ENE (vergenza a WSW). Localmente, vene a quarzo-calcite parallele alla foliazione definiscono delle cerniere di pieghe isoclinali centimetriche trasposte (D1/D2).

Al contatto tra gli scisti calcarei di Gallaneto e le metabasiti e metaultrabasiti dell'unità Figogna si osserva, lungo l'alveo del Rio Bianchetta, un *mélange* tettonico costituito da serpentinoscisti antigoritici tettonizzati (Figura 16), a tessitura milonitica inglobanti liti metrici di serpentinite relativamente meno deformata e possibili liti di carnirole giallastre vacuolari (affioramento in cattive condizioni sotto al ponte per la frazione di Serra). Il *mélange* è permeato da un fitto reticolato di vene a calcite bianca, che cresce anche in fibre lungo i piani di alcuni giunti con movimento.



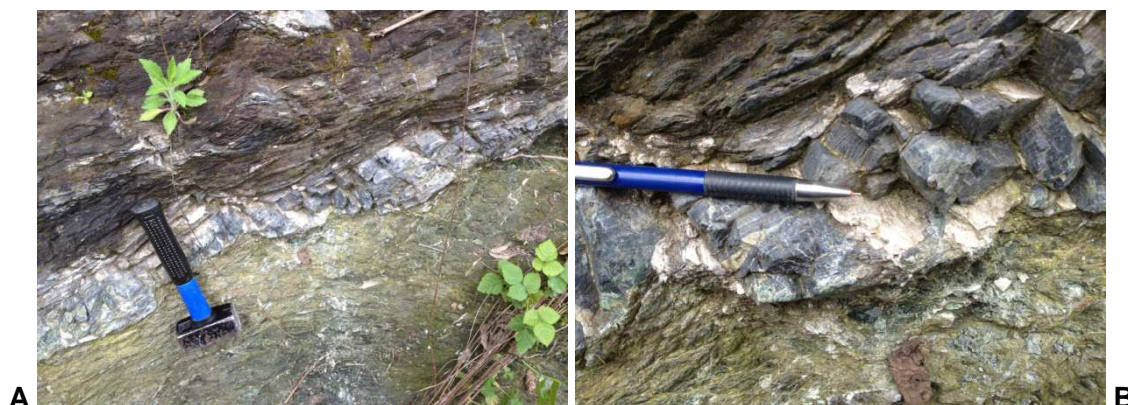
**Figura 15 – Scisti calcarei di Gallaneto: A) litofacies-tipo; B) foliazione interessata da pieghe acute vergenti a WSW. Affioramenti lungo Via Chiaravagna.**

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 38 di 157</span>

### 3.2.4 Meta-argilliti di Bessega (Mn/MBG)

Meta-argilliti scistose grigio-scure e nere, più o meno siltose, organizzate in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, con intercalazioni di calcari cristallini in strati da millimetrici a centimetrici. A tale unità sono state attribuite anche facies chiaramente scistose, a basso tenore in carbonati, organizzate in strati centimetrici talora filladici di colore bruno-grigiastro, che affiorano in modo discontinuo in sinistra idrografica della Val Bianchetta.

Le meta-argilliti di Bessega sono interpretate come depositi bacinali distali, disposti al tetto della successione Norica (Lias Sup.-Dogger).



**Figura 16** – Contatto tettonico tra le unità Figogna e Gazzo-Isoverde, alveo del T. Chiaravagna a monte della borgata Serra. A) serpentinoscisti a tessitura milonitica in contatto duttile saldato con scisti calcarei a tessitura milonitica, con l'interposizione di un livello calcareo più massivo, boudinato per effetto dello strain. B) dettaglio della foto (A): si notano fratture estensionali perpendicolari al piano di taglio, con riempimento di calcite banca.

### 3.3 Unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio

L'unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio (UCV) affiora in una fascia allungata in direzione N-S, tra il M. Gazzo a sud, fino a Voltaggio, oltre lo spartiacque ligure-piemontese (rif. Figura 4 e **Figura 9**); essa è strutturalmente compresa tra le unità Figogna e Palmaro - Caffarella ed è associata all'Unità Gazzo - Isoverde, con la quale condivide l'evoluzione deformativa.

In affioramento, l'UCV risulta maggiormente estesa a nord di Pietralavezzara, mentre verso sud si assottiglia progressivamente fin quasi a scomparire in due punti, all'altezza di Isoverde e di Lencisa, dove le unità Figogna e Gazzo-Isoverde vengono a contatto (Figura 4). Le linee strutturali che delimitano l'unità a tetto e a letto immergono verso ENE, con una giacitura che delinea una struttura regionale "a fiore", tipica di zone di taglio transpressive; in posizione intermedia tra le due unità si rileva un piano di possibile sovrascorrimento che porta a contatto gli scisti filladici di Larvego con le serpentiniti di Case Bardane.

È costituita da un basamento gabbro-peridotitico con relativa copertura metasedimentaria, riequilibrata in condizioni metamorfiche di alta pressione / bassa temperatura, legate ai processi di subduzione.

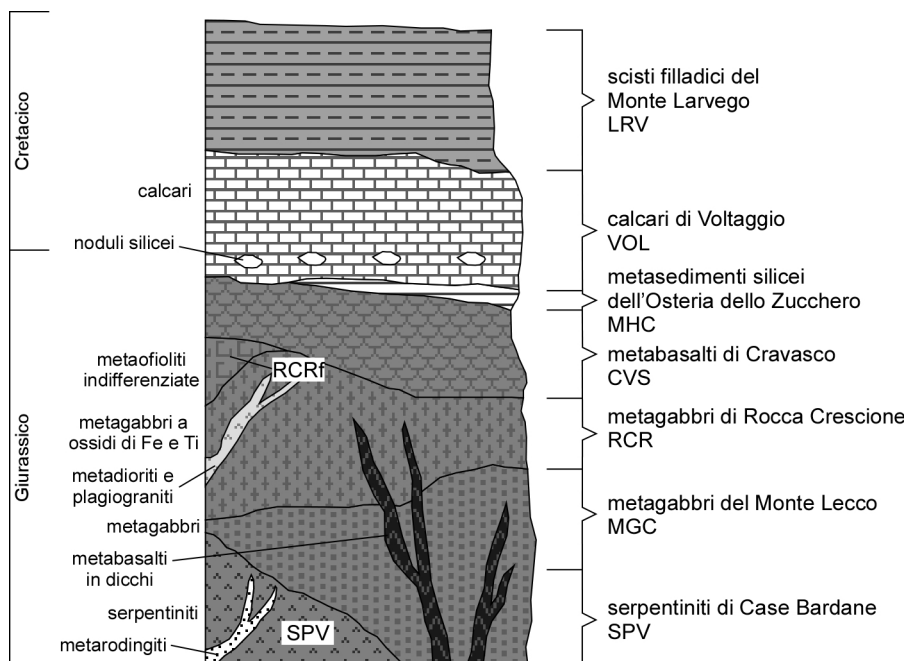
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 39 di 157

Le condizioni di picco metamorfico raggiungono la facies Scisti Blu, con associazioni ad albite, clorite, Na-anfibolo, Na-pirosseno, lawsonite, pumpellyite e epidoto, con una successiva destabilizzazione di lawsonite, Na-anfibolo e pirosseni giadeitici, relativamente diffusa.

Dal basso verso l'alto della successione si distinguono (Figura 17):

- serpentiniti di Case Bardane;
- metagabbri del Monte Lecco (\*);
- metagabbri di Rocca Crescione (\*);
- metabasalti di Cravasco;
- metasedimenti silicei dell'Osteria dello Zucchero;
- calcari di Voltaggio;
- scisti filladici del Monte Larvego (f/LRV).

(\*): non descritti in quanto non interessati dalla linea.



**Figura 17 – Schema dei rapporti stratigrafici tra le varie formazioni che costituiscono l'unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio (da Capponi et al., 2008).**

### 3.3.1 Serpentiniti di Case Bardane (Se"/SPV)

Si tratta di serpentiniti a crisotilo e antigorite con frequenti relitti mineralogici e tessiturali di lherzolite (Dogger - Malm).

Le serpentiniti, di colore da verdastro a grigio-verde chiaro, hanno tessitura da scistosa e intensamente laminata, con sviluppo di piani di clivaggio pervasivi, a spaziatura submillimetrica, con superficie liscia o untuosa al tatto; la tessitura può localmente divenire cataclastica, fino a ultracataclastica, in particolare in corrispondenza della zona di deformazione tettonica di Timone, un



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 315"> <tr> <td>Foglio 40 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 40 di 157
Foglio 40 di 157		

importante piano di taglio duttile-fragile che fa parte del più esteso sistema di deformazione della linea Sestri-Voltaggio.

All'interno delle serpentiniti si riconoscono pieghe disarmoniche a scala da centimetrica a plurimetrica, riferibili a pieghe di trascinamento di una foliazione preesistente, sviluppatasi nell'ambito di zone di taglio. Le facies deformate (brecce, cataclasiti, ultracataclasiti e gouge) possono avvolgere litoni di forma amigdalare, meno deformati ma comunque intensamente fratturati e brecciati, da centimetrici a metrici. Localmente si osservano fasce brecciate con litoni allungati metrici o plurimetrici, circondati da zone di taglio cataclastico da decimetriche a metriche, percentualmente subordinate, che definiscono un pattern anastomosato.

Sono spesso presenti minerali asbestiformi visibili a occhio nudo, concentrati lungo piani di frattura o in vene estensionali.

Le serpentiniti affiorano in lembi isolati tra gli scisti di Larvego e le argilliti di Bessega, a sud e a est di Isoverde e Paravanico.

### 3.3.2 *Metabasalti di Cravasco (B"/CVS)*

I metabasalti di Cravasco (Malm?) sono litotipi spesso foliati, con metamorfismo in facies scisti blu. Il protolite era rappresentato da basalti oceanici, anche a grana grossa, sia massicci che con tessitura a pillow, brecciate o a pillow-breccia. Affiorano essenzialmente in corrispondenza dell'area di Cravasco, nel settore di Fraconalto e in alcuni lembi più sottili sul versante W del M. Figogna.

### 3.3.3 *Metasedimenti silicei dell'Osteria dello zucchero (d"/MHC)*

Si tratta di scisti silicei (Malm?) fortemente ricristallizzati di colore generalmente rossiccio, con contenuto variabile di fillosilicati e carbonati, nonché di metasedimenti silicei ematitici più o meno pelitici (ftaniti) a colorazione rosso-bruna, talora con livelli verdastri o grigi. Sono localmente presenti relitti di radiolari non determinabili. Alla base sono caratterizzati da livelli verdi, spesso a componente detritica, passanti a più rare metaareniti ofiolitiche; seguono in successione livelli prevalentemente rossi o neri, raramente verdi. Sono caratterizzate da diverse superfici di foliazione e nei livelli metaarenitici sono presenti degli anfiboli sodici. Gli spessori sono sempre ridotti e vanno da pochi metri e pochi centimetri, sia per una loro modesta potenza originaria, sia per fenomeni di elisione tettonica.

### 3.3.4 *Calcari di Voltaggio (cV/VOL)*

La formazione dei calcari di Voltaggio, nota anche con il termine di "calcaires pointillés" (Cortesogno & Haccard, 1979), affiora in forma di sottili scaglie essenzialmente a N di Cravasco; è costituita da calcari cristallini grigi (Malm? – Cretacico Inf.?), spesso a grana grossa, con livelli sottili ricchi in fillosilicati, che presentano almeno due scistosità sovrapposte (Marini, 1998). Generalmente questi litotipi presentano un'abbondante frazione quarzosa e micacea, indicante un'origine detritica.

Verso la parte basale della sequenza, al contatto con un orizzonte di diaspri, si possono incontrare alcuni metri di calcari cristallini bianchi, ricchi in quarzo microcristallino. Il limite stratigrafico inferiore è determinato dai diaspri o, in loro assenza, direttamente dall'unità basaltica di Cravasco; il limite stratigrafico superiore è rappresentato dal passaggio graduale agli scisti filladici.



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00	Foglio 41 di 157

L'ambiente di deposizione delle originarie sequenze calcareo-silicee e calcareo-marnose era presumibilmente di tipo pelagico. I calcari di Voltaggio presentano inoltre una spiccata analogia di facies con i calcari a Calpionella dell'Appennino settentrionale (Cortesogno & Haccard, 1984).

### 3.3.5 Scisti filladici del Monte Larvego (f/LRV)

Scisti filladici grigio-verdastri, fittamente laminati, con scistosità a spaziatura da millimetrica a centimetrica e superfici untuose al tatto e di aspetto sericeo, che in alterazione prendono un colore nocciola. Locali livelli di metasiltiti e metaareniti bruno scuro di spessore centimetrico e lenti di silice microcristallina biancastra, di spessore centimetrico (Cretaceo inf.). La scistosità principale descrive localmente pieghe da aperte a serrate.

Le filladi sono caratterizzate da diverse generazioni di scistosità, con fasce tettonizzate piuttosto ampie; gli affioramenti, a causa dell'alterazione, risultano di estensione ridotta, mascherati da una coltre detritica di alterazione piuttosto continua.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 42 di 157

## 4 LE SUCCESSIONI POST-EOCENICHE DEL VERSANTE PIEMONTESE

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

### 4.1 Breccie della Costa di Cravara (CRA)

In fase di Progetto Definitivo la formazione delle Breccie della Costa di Cravara era stata inclusa tra le litofacies della formazione di Molare.

A seguito degli approfondimenti di studio effettuati in fase di progettazione esecutiva, si è invece ritenuto opportuno mantenere la distinzione formazionale presente in letteratura in quanto le "Breccie della Costa di Cravara" presentano caratteristiche litologiche e geometriche (come ad es. i rapporti di discordanza angolare con i depositi soprastanti) tali da poter essere riferite ad un differente ciclo sedimentario rispetto a quello della formazione di Molare. Anche quest'ultima comprende, a sua volta, delle litofacies brecciose monogeniche e poligeniche, che però occupano posizioni stratigrafiche differenti rispetto alla formazione delle Breccie della Costa di Cravara. È particolarmente importante, quindi, tenere conto di questi aspetti, soprattutto nella fase di realizzazione dei profili geologici e nella valutazione dello spessore delle due diverse unità.

Le Breccie della Costa di Cravara affiorano principalmente presso il confine tra Piemonte e Liguria, e in alcuni lembi ridotti in territorio ligure. Si tratta essenzialmente di breccie eterometriche, sia monogeniche sia poligeniche, di colore rossiccio, non stratificate, costituite da clasti che litologicamente riflettono la composizione del substrato pre-oligocenico.

La loro deposizione è avvenuta probabilmente in ambiente subaereo (continentale) e quindi queste breccie rappresentano probabilmente il lasso di tempo che è intercorso tra la prima emersione della catena e la successiva trasgressione marina che ha dato l'avvio alla deposizione delle successioni del BTP.



**Figura 18 – Breccie della Costa di Cravara, affioranti nella località omonima.**

La deposizione delle breccie è stata influenzata dalla morfologia del substrato, del quale colmano depressioni preesistenti, appoggiando di conseguenza su una superficie marcatamente irregolare e

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 318"> <tr> <td>Foglio 43 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 43 di 157
Foglio 43 di 157		

assumendo scarsa continuità laterale. Non è ad oggi noto alcun contenuto paleontologico, per cui le Breccie della Costa di Cravara sono dubitativamente attribuite all'Eocene sup. - Oligocene inf. (Allasinaz et al. 1971), in base alla loro posizione stratigrafica sottostante la formazione di Molare, la cui età è invece relativamente ben determinata mediante datazioni paleontologiche.

#### 4.1.1 Mineralizzazioni a lignite

Nella zona dello spartiacque tra Liguria e Piemonte, diversi documenti storici e alcune pubblicazioni (Lorenz & Rebora, 1982; Pipino, 2005) citano la presenza di sporadiche mineralizzazioni a lignite, in lenti e livelli di potenza decimetrico-metrica; in particolare, sono noti giacimenti di lignite a Costa Cravara e presso la sorgente del Rio Acquestriate (Val Lemme), in comune di Voltaggio.

Ulteriori segnalazioni di affioramenti di lignite riguardano alcuni altri siti in alta Valle Scrivia, in particolare presso le Capanne di Marcarolo, dove dopo la scoperta (1836) furono intrapresi lavori di coltivazione che tuttavia innescarono franamenti che causarono l'occultazione del deposito; altri orizzonti mineralizzati e in passato oggetto di coltivazione sono segnalati al Monte Maggio, al Monte Orditano e a Praglia; in sinistra Scrivia, vi sono segnalazioni incerte di rinvenimenti e/o antichi permessi di ricerca nelle vicinanze del Bric Ronco dell'Obbio e sul Monte Reale.

Il giacimento di Costa Cravara affiora fra il Rio Morsone e la località Cresta di Cravara (Voltaggio); i lavori minerari più antichi risalgono al 1843 (località *Crovvara di sopra* e *Crovvara di fondo*), dopodiché le ricerche continuarono ad alterni periodi fino all'immediato dopoguerra. Pipino (2005) riporta una produzione, da cinque diverse lenti di lignite, potenti da pochi centimetri a oltre mezzo metro, di circa 1500 tonnellate, dal 1944 al 1947. Secondo l'autore, gli orizzonti mineralizzati a lignite di Costa Cravara hanno uno spessore che non supera 30 metri e sono costituiti da conglomerati, arenarie e siltiti (marne) con livelli di lignite, che appoggiano in discordanza sia su serpentiniti, sia su breccie continentali riferibili alle Breccie della Costa di Cravara e su cui appoggiano, a loro volta, i conglomerati marini del BTP (Lorenz, 1968).

Ad Acquestriate, le mineralizzazioni a lignite sarebbero contenute in "*marne argillose continentali interposte tra breccie fluviale e conglomerati ed arenarie continentali*" (Roverero, 1936).

I livelli marnosi verdastri con intercalazioni a lignite si sarebbero sviluppati, in un clima tropicale e in ambiente da salmastro a continentale, nell'Oligocene inf. (Stampiano inf.) (Lorenz (1968); queste facies sarebbero correlate al passaggio eteropico tra dominio marino e lagunare, in presenza di accumuli di materia organica, localizzati ma abbondanti, depositi in piccoli bacini in rapida subsidenza, correlabili allo sviluppo di facies trasgressive al margine occidentale e orientale del Gruppo di Voltri (Lorenz, 1968).

Da segnalare la presenza, in alcuni di questi orizzonti con abbondanti resti vegetali, di resti fossili di *Antracotherium*, un vertebrato affine al cinghiale; osservazioni paleobotaniche confermano l'età oligocenica inferiore di gran parte di questi depositi.

## 4.2 Il Bacino Terziario Piemontese

Nel settore interessato dallo sviluppo del tracciato della linea ferroviaria AV/AC Milano-Genova, il Bacino Terziario Piemontese interseca il tracciato di linea approssimativamente tra le pk 19+600 e

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 44 di 157

l'imbocco Nord della Galleria di Serravalle.

In quest'area, il BTP è rappresentato, dal basso verso l'alto stratigrafico, dalle seguenti unità:

- Brecce della Costa di Cravara;
- formazione di Molare;
- formazione di Rigoroso;
- formazione di Costa Montada;
- formazione di Costa Areasa;
- Marne di Cessole;
- Arenarie di Serravalle;
- Marne di S. Agata Fossili;
- Gruppo della Gesosso-Solfifera.

Nello schema tettonostratigrafico di Figura 8 sono tentativamente rappresentati i rapporti geometrici tra le varie unità sedimentarie del BTP interessate dall'opera, in relazione con l'assetto strutturale locale.

#### 4.2.1 *Formazione di Molare (FM)*

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

La formazione di Molare, che può raggiungere una potenza di oltre 1.500 metri (Gnaccolini et al., 1999), poggia in discontinuità angolare sul substrato metamorfico (unità tettonometamorfiche Figogna e Cravasco-Voltaggio, cfr. Foglio 213-230 "Genova" della Carta Geologica d'Italia) o sulla formazione delle Brecce della Costa di Cravara. La formazione di Molare rappresenta i primi depositi della successione del BTP che si sedimentano su un substrato fortemente irregolare, caratterizzato da alti e bassi strutturali che ne determinano la forte variabilità nello spessore complessivo e nella composizione dei clasti. Da questo ne deriva inoltre che la superficie di appoggio basale, geometricamente irregolare, spesso non è congruente con la giacitura della stratificazione regionale, immergente in media di 25-30° tra NW e NNW.

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

All'interno della formazione di Molare, allo stato attuale delle conoscenze, sono state distinte cinque litofacies, caratterizzate da rapporti geometrici reciproci di sovrapposizione e/o di eteropia di facies, tuttavia non è da escludere che, in seguito ad ulteriori approfondimenti, possano esserne



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 318"> <tr> <td>Foglio 45 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 45 di 157
Foglio 45 di 157		

individuare altre; queste litofacies sono:

- litofacies brecciosa (FMbc),
- litofacies ruditica poligenica parzialmente cementata (FMp),
- litofacies ruditica cementata a clasti calcarei dominanti (FMc),
- litofacies siltoso-pelitica (FMs),
- litofacies arenacea (FMa).

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

Questa distinzione è stata fatta principalmente sulla base delle caratteristiche che le due unità presentano in affioramento: il *“membro conglomeratico parzialmente cementato o non cementato”* si presenta con superfici/pareti di aspetto prevalentemente calanchivo, mentre il *“membro conglomeratico cementato a ciottoli calcarei”* sviluppa superfici nette, subverticali. Queste differenze di alterazione superficiale sono da imputare, probabilmente, a una differente tipologia di cementazione, dal punto di vista chimico-mineralogico; tuttavia, l'analisi accurata delle numerose carote di sondaggio che hanno attraversato queste unità, dimostra in maniera evidente che, in profondità, la cementazione della Formazione di Molare è piuttosto omogenea all'interno di tutte le litofacies precedentemente distinte.

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

#### 4.2.1a Litofacies brecciosa (FMbc)

Si tratta di una breccia monogenica, a supporto di clasti, ad elementi di serpentiniti e subordinate metaperidotiti. Scarsa matrice argillosa grigio-verdastra. Localmente sono presenti blocchi di dimensioni metriche (Figura 19). Nel complesso si tratta di una litofacies ben cementata, osservata a vari livelli stratigrafici, all'interno e nella parte alta della litofacies FMp. Lo spessore massimo osservato per questa unità è inferiore a 50 m.

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00	Foglio 46 di 157



**Figura 19 - Dettaglio della litofacies brecciosa monogenica ad elementi di serpentiniti (FMbc).**

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

L'unità è costituita da conglomerati e subordinati livelli arenacei (Figura 20). I conglomerati da clast-a matrix-supported con matrice arenacea, si presentano in strati metrici, localmente gradati e con gli elementi di dimensioni inferiori embricati. I ciottoli presentano un grado di arrotondamento variabile (da subangolosi a ben arrotondati) e consistono di metabasiti, serpentiniti, eclogiti, calcescisti, marmi e micascisti; localmente sono stati osservati anche dolomie e calcari. I clasti serpentinitici talora contengono asbesti in modeste quantità concentrati in fratture, anche se non si esclude che localmente possano essere presenti delle concentrazioni maggiori.

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 47 di 157



**Figura 20 - Litofacies ruditica poligenica (FMp): evidenti le alternanze di areniti grossolane e ruditi a scarsa matrice e clasti pluricentimetrici.**

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

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

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

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

#### 4.2.1d *Litofacies siltoso-pelitica (FMs)*

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

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



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 48 di 157

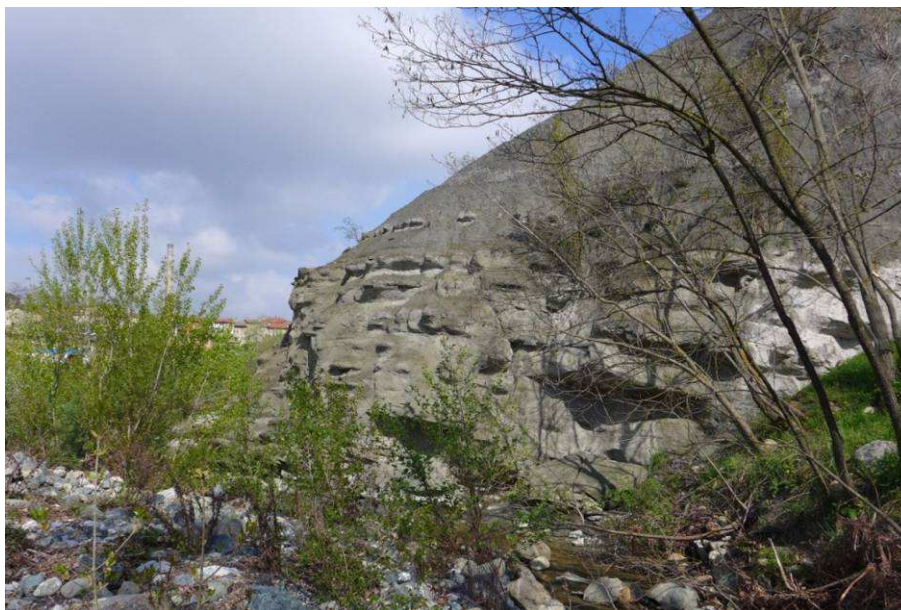
inquadramento con le altre unità.

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

#### 4.2.1e Litofacies arenacea localmente fossilifera (FMa)

Unità costituita da arenarie da grossolane a fini (Figura 21) localmente fossilifere, in strati decimetrico-metrici gradati e caratterizzati da fenomeni di cementazione differenziale; localmente sono presenti lamine oblique a basso angolo da tempesta (hummocky cross-stratification). Sono presenti, soprattutto nella parte inferiore della litofacies, intercalazioni centimetrico-decimetriche di conglomerati e microconglomerati ad elementi caratterizzati da un buon grado di arrotondamento e sfericità. Questi depositi sono intensamente bioturbati, con gallerie da bioturbazione di tipo *Thalassinoides* con diametro centimetrico (Figura 22).

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



**Figura 21 - Torrente Lemme, in prossimità dell'abitato di Carrosio. Passaggio tra la litofacies arenacea FMa della formazione di Molare (in basso) alla soprastante formazione di Rigoroso.**

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

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

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



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 49 di 157

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



**Figura 22 - Monte Porale, Valle Carbonasca. Litofacies arenacea FMa della formazione di Molare con evidenti gallerie di bioturbazione maggiormente cementate (parte alta dell'immagine).**

#### 4.2.2 *Formazione di Rigoroso (fR)*

La formazione di Rigoroso poggia, con un passaggio stratigrafico transizionale rapido (che si sviluppa entro pochi metri), sulla litofacies arenitica fossilifera (FMa) della formazione di Molare. La formazione di Rigoroso è stata suddivisa in due litofacies sovrapposte: marne siltose (mR) e marne con livelli arenacei (fR); nel complesso si sviluppa con uno spessore di circa 400 m dando luogo ad un caratteristico paesaggio calanchivo.

##### 4.2.2a *Marne siltose (mR)*

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

Al di sopra delle siltiti-areniti fini si trovano marne e marne siltose emipelagiche (Figura 22) di colore grigio con stratificazione mal definita e locali intercalazioni decimetriche di arenarie risedimentate. Localmente contengono anche livelli centimetrici biancastri vulcanico-sedimentari, a geometria

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 50 di 157

lenticolare, caratterizzati da zeoliti di Bario (Tateo, 1992). Studi biostratigrafici condotti in prossimità della località di Sottovalle (d'Atri & Tateo, 1994) hanno messo in evidenza la presenza di un'associazione a nannofossili calcarei (tra cui *Sphenolithus distentus* e *S. ciproensis*) che permettono di riferire l'unità alla parte alta del Rupeliano.

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



**Figura 23 - Vista del settore a Nord della località di Sottovalle. In primo piano la litofacies marnosa (mR) con aspetto calanchivo, lungo il versante sono inoltre evidenti i livelli arenacei della litofacies fR della formazione di Rigoroso. La sommità del rilievo è invece costituita dalla Formazione di Costa Montada.**

Il passaggio alla soprastante litofacies marnosa con livelli arenacei (fR) avviene in modo transizionale e come limite cartografico è stato utilizzato il punto in cui compare il primo livello arenaceo. Trattandosi di corpi risedimentati in un bacino dalla morfologia abbastanza irregolare, è tuttavia possibile che questo limite occupi una posizione stratigrafica differente, spostandosi lateralmente lungo strato e che venga cioè a trovarsi alcuni metri più in alto o più in basso nella successione rispetto a quanto indicato nel profilo.

#### 4.2.2b Marne con livelli arenacei (fR)

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

La potenza complessiva della litofacies è di circa 150 m.

In letteratura la litofacies è stata interpretata come depositi torbiditici di scarpata (Ghibaudo et. al, 1985), oppure come depositi risedimentati in un ambiente di shoreface/fronte deltizio collegato a sistemi deposizionali di fan delta (Mutti et al., 1995). Le osservazioni a carattere stratigrafico-

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 315"> <tr> <td>Foglio 51 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 51 di 157
Foglio 51 di 157		

sedimentologico effettuate in fase di Progetto Esecutivo, nonché l'assetto paleogeografico e paleoambientale dell'area suggeriscono che l'interpretazione avanzata da Mutti et al. (1995) sia probabilmente più in linea con i dati di terreno riscontrati rispetto a quella proposta da Ghibaudo et. al (1985).

#### 4.2.3 *Formazione di Costa Montada (uM)*

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

##### 4.2.3a *Marne e marne silicizzate (uMa)*

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

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

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

Depositi biogenici silicei analoghi a questi sono tipici di ambienti di scarpata in zone ad alta produttività risultanti da upwelling di acque fredde e ricche di nutrienti che favoriscono lo sviluppo di organismi a guscio siliceo. Successioni sedimentarie corrispondenti sia come composizione, sia come età alla litofacies siliceo-marnosa sono presenti in tutto il Bacino Terziario Piemontese (Marne a Pteropodi inferiori, Dela Pierre et al. 2003; Festa et al., 2009; membro di C. Colombara, Galbiati, 1977) e nell'Appennino settentrionale (Tripoli di Contignaco o litozona silicea, Amorosi et al, 1995).

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

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



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 318"> <tr> <td>Foglio 52 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 52 di 157
Foglio 52 di 157		

#### 4.2.3b Areniti (uMb)

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

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

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

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

#### 4.2.3c Alternanze di marne e areniti (uMc)

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

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

Questa unità, facilmente riconoscibile sul terreno, risulta particolarmente significativa per quanto riguarda l'evoluzione tettonico-sedimentaria regionale perché corrisponde ad un momento di riorganizzazione del bacino che causa una notevole variazione nella composizione degli apporti terrigeni (Gelati 1967; 1968).

#### 4.2.4 Formazione di Costa Areasa (fC)

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

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



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 53 di 157

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

La formazione è stata deposta in un ambiente di piana sottomarina, mentre la parte superiore, essenzialmente pelitica, potrebbe rappresentare un ambiente di scarpata non attiva (Ghibaudo et al., 1985).

La formazione, nel complesso raggiunge una potenza di oltre 1000 m e, verso l'alto, diventa sempre più marnosa, passando transizionalmente alle Marne di Cessole. Rispetto alle osservazioni fatte in fase di Progetto Definitivo, nel corso degli approfondimenti condotti in fase esecutiva, all'interno della formazione di Costa Areasa, nella parte basale, è stata ulteriormente distinta un'unità arenitica (fCa).

In base ai dati strutturali raccolti sul terreno in corrispondenza di rari affioramenti, la stratificazione immerge verso NNW di circa 25°-45°. Il substrato è caratterizzato da un grado di fatturazione piuttosto ridotto, come testimoniato dalle stratigrafie di diversi sondaggi.

#### 4.2.4a Areniti medie e fini (fCa)

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

Lo spessore dell'unità è di circa 50 m lungo il tracciato dell'opera e la continuità laterale è di alcuni chilometri.

#### 4.2.5 Marne di Cessole (mC)

Questa formazione è costituita da alternanze di marne siltose omogenee, bioturbate, in strati decimetrico-metrici, con intercalati strati centimetrico-decimetrici risedimentati siltosi e/o arenacei molto fini.

Localmente si osservano strati costituiti da arenarie fini e marne siltose (Figura 24), gradati, con alla base clay chips e al tetto peliti nerastre eterolitiche, bioturbate. Sono presenti gallerie di bioturbazione di diametro centimetrico ed altre con diametro millimetrico (*Chondrites?*). Il contenuto fossilifero, localmente abbondante, è rappresentato da bivalvi a guscio sottile, gasteropodi e radioli di echinidi. Il passaggio alla sovrastante Formazione di Serravalle avviene in modo transizionale entro pochi metri.

In prossimità della località Libarna è presente un intervallo di areniti e calcareniti gradate, risedimentate, con base erosionale (Figura 25). In fase di Progetto Definitivo questo intervallo di 10-15 m ca. di potenza è stato attribuito alla Formazione delle Arenarie di Serravalle, di cui ne rappresenterebbe la base. Tuttavia, data la presenza di un intervallo marnoso alla base e al tetto del suddetto livello, nonché la composizione dello stesso (calcareniti), si è ritenuto più opportuno riferirlo alla formazione delle Marne di Cessole, anche in accordo con la cartografia pregressa (Ghibaudo et. al. 1985; Boni & Casnedi, 1970).



**Figura 24 - Marne di Cessole lungo il T. Scrivia in prossimità della località Libarna. Sulla superficie dell'affioramento si osservano la stratificazione cm-dm, evidenziata da locali intervalli argillosi e ricchi di sostanza organica (grigio scuro), e un evidente sistema di giunti a spaziatura metrica.**



**Figura 25 - Marne di Cessole lungo il T. Scrivia in prossimità della località Libarna. Base dell'intervallo calcarenitico risedimentato, sviluppato all'interno delle Marne di Cessole.**

Le Marne di Cessole sono interpretabili come depositi di piattaforma esterna. L'associazione a nannofossili calcarei è ricca e ben preservata e permette di riferire la formazione al Langhiano superiore.

#### 4.2.5a Formazione di Serravalle (aS)

La Formazione di Serravalle è costituita da alternanze irregolari di siltiti e arenarie ricche di bioclasti (Figura 26) rappresentati da bivalvi e scafopodi (*Dentalium sp*). Le siltiti e le arenarie sono intensamente bioturbate e formano gruppi di strati di potenza plurimetrica, organizzati internamente

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 55 di 157

in strati di spessore compreso tra 10 e 20 cm. I corpi arenacei mostrano geometria debolmente lenticolare a scala pluridecimetrica. All'interno di essi, gli strati arenacei sono amalgamati e caratterizzati da sottili concrezioni stratiformi; essi mostrano contatti di base netti, gradazione normale, laminazione piano-parallela mal definita alla base e livelli a *clay-chips*, ripples o lamine oblique a basso angolo verso il tetto. Nelle siltiti si osservano lamine isolate sabbiose a base piana e tetto convesso od ondulato ad estensione laterale decimetrico-metrica, interpretabili come treni isolati di ripple. Nelle siltiti sono comuni tracce riferibili all'icnogenere *Anconichnus* (bioturbazioni da 2 mm a 7 cm di diametro) e rare tracce prodotte da echinidi.

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

La Formazione di Serravalle è riferibile ad un ambiente di piattaforma (zona di transizione e shoreface inferiore). L'associazione a nannofossili calcarei è caratteristica del Serravalliano.



**Figura 26 - Formazione di Serravalle poco a ovest dell'abitato di Serravalle. Arenarie e siltiti a stratificazione piano-parallela; sono riconoscibili alcuni strati maggiormente cementati, costituiti da quarzareniti passanti ad areniti ibride.**

#### 4.2.6 Marne di Sant'Agata Fossili

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

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

La porzione inferiore (mA2) è costituita da marne argillose passanti a marne calcaree omogenee di colore grigio a stratificazione mal distinta, bioturbate e ricche in foraminiferi planctonici e nannofossili calcarei, e livelli pelitici laminati. Nella parte basale della formazione ai sedimenti



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 56 di 157</p>

marnosi si intercalano intervalli pluridecimetri di diatomitici e caratteristici livelli silicizzati finemente laminati (contenenti abbondanti resti di squame di pesce e di vegetali), inoltre sono associati a strati centimetrico-decimetri di arenarie spongolitiche e livelli costituiti interamente da cristalli di dolomite primaria. Gli intervalli diatomitici si presentano fittamente stratificati e finemente laminati e contengono un'associazione di forme marine planctoniche.

La parte superiore delle Marne di Sant'Agata Fossili (mA1) è caratterizzata da un significativo aumento di intercalazioni pelitiche laminate di colore scuro, ricche in sostanza organica, sempre più frequenti verso l'alto. Nelle marne, il contenuto fossilifero è rappresentato da pteropodi e foraminiferi bentonici indicativi di condizioni disaerobiche del fondale (Kouwenhoven et al. 2006), inoltre sono presenti bioturbazioni attribuibili al genere *Chondrites*.

#### 4.2.7 Gruppo della Gessoso-Solfifera

Il Gruppo della Gessoso-Solfifera comprende tutte le successioni sedimentarie connesse alla crisi di salinità di età Messiniana che secondo il modello CIESM (2008) si è sviluppata attraverso tre stadi evolutivi cui sono legati tre differenti tipi di depositi:

- fase 1: evaporiti primarie e peliti euxiniche tempo-equivalenti,
- fase 2: evaporiti risedimentate,
- fase 3: depositi terrigeni post-evaporitici.

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

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

##### 4.2.7a Membro di Riomaggiore (gS)

Le peliti euxiniche non sono mai state segnalate in precedenza in questi settori e i documenti di letteratura non ne riportano traccia; soltanto nel corso degli approfondimenti condotti nella fase di PE illustrati nel presente rapporto è stata rilevata la loro presenza. Questa nuova unità è stata indicata come "Membro di Riomaggiore". In fase di PD, lo stesso intervallo stratigrafico era stato riferito genericamente all'unità "Gessoso Solfifera".

Questa revisione della successione stratigrafica risulta particolarmente significativa dal punto di vista della caratterizzazione litologica e geomeccanica dell'ammasso roccioso: infatti in fase di PD l'unità è stata descritta come "arenarie fini e siltiti con blocchi di gessi selenitici e livelli evaporitici risedimentati", tuttavia, i nuovi dati raccolti, unitamente alle informazioni provenienti dai sondaggi hanno permesso di escludere con un buon margine di certezza la presenza di blocchi di gessi e calcari.

Il Membro di Riomaggiore presenta una potenza massima di 80-100 m circa e risulta nel complesso costituito da argille, siltiti e subordinate arenarie con stratificazione centimetrica molto ben sviluppata e laminazione millimetrica (Figura 27), che conferisce a tali depositi un aspetto "varvato".



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 57 di 157

La colorazione è molto variabile dal giallo bruno, al crema, al grigio e localmente violacea. Ciò che contraddistingue questi depositi è l'assenza di bioturbazione. Il contenuto fossilifero è soprattutto concentrato lungo le superfici di laminazione degli strati argillosi, ed è rappresentato da resti vegetali e squame o resti di pesci e larve di libellula e resti di esemplari adulti. Inoltre sono presenti lamine e gruppi di lamine, caratterizzate da un'abbondante concentrazione di frustoli di diatomee.

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

I depositi del Membro di Riomaggiore sono interpretati come depositi euxinici ed evaporitici di scarpata.



**Figura 27 - Livelli millimetrico-centimetrici sottilmente laminati costituiti da peliti, siltiti e gesso cumulitico microcristallino.**

#### *4.2.7b Conglomerati di Cassano-Spinola (cC)*

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

La formazione è riferibile alla parte superiore dell'intervallo "post-evaporitico" del Messiniano ed è costituita per la maggior parte da alternanze arenaceo-pelitiche (Figura 28) e subordinatamente da corpi lenticolari di conglomerati. I livelli arenacei sono potenti da qualche decimetro a 2-3 m e talora risultano amalgamati. Internamente essi risultano omogenei oppure sono gradati e caratterizzati da

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 58 di 157

associazioni di strutture trattive (laminazione piano-parallela, laminazione obliqua planare a medio-grande scala, lamine oblique concave a media e piccola scala, laminazione ondulata, laminazione convoluta). Le intercalazioni pelitiche (potenti da pochi centimetri a 1 m circa) corrispondono ad intervalli compositi, costituiti da un'alternanza ritmica fra strati centimetrico-decimetrici di argille omogenee e strati centimetrici di siltiti o strati millimetrico-centimetrici di areniti fini.

I corpi conglomeratici, nel settore interessato dall'opera possono raggiungere i 2-3 m di spessore e mostrano un'estensione laterale variabile intorno alla decina di metri. Si tratta di conglomerati clast-supported, con matrice sabbiosa, a ciottoli centimetrico-decimetrici, passanti lateralmente ad areniti medie e grossolane. Localmente sono osservabili ciottoli embricati e una stratificazione mal definita. Il contatto inferiore con i depositi pelitico-siltosi sottostanti risulta netto ed erosionale. Sulla base del modello proposto da Ghibaudo et al. (1985), questi depositi possono essere interpretati come depositi di delta-conoide distale.



**Figura 28 - Evidenza del passaggio stratigrafico tra il Membro di Riomaggiore (gS) e i Conglomerati di Cassano Spinola (cC), qui rappresentati da facies fini siltoso-argillose.**

### 4.3 Unità post-messiniane

I depositi appartenenti alla successione sedimentaria post-messiniana affiorano all'estremità settentrionale della dorsale montuosa dell'Appennino ligure, in prossimità dell'apice dell'ampio conoide del Torrente Scrivia, a nord di Serravalle Scrivia e sono rappresentati dalla Formazione delle Argille Azzurre (Argille di Lugagnano auct., aL), dalle Sabbie di Asti e dal "Villafranchiano" auct.

#### 4.3.1 Formazione delle Argille Azzurre (Argille di Lugagnano auct., aL)

Le Argille Azzurre rappresentano il termine basale della successione pliocenica. Il passaggio tra i sottostanti Conglomerati di Cassano Spinola (BTP) e le Argille Azzurre è stato osservato

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 59 di 157</p>

esclusivamente in carote di sondaggio e risulta di tipo transizionale rapido, sviluppandosi entro pochi metri.

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

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

Nel complesso la formazione è riferibile ad un ambiente da bacinale profondo ad uno di scarpata, prossimo alla piattaforma esterna.

Sulla base della associazioni a foraminiferi planctonici le Argille Azzurre sono riferibili allo Zancleano (Pliocene inferiore) (Dela Pierre *et al.* 2003).

#### 4.3.2 Sabbie di Asti

L'unità delle Sabbie di Asti appoggia sulle Argille Azzurre con un passaggio graduale, caratterizzato da alternanze tra sabbie e siltiti; è costituita da sabbie da fini a grossolane passanti a siltiti, a composizione silicoclastica, di colore giallo o grigio-azzurro, organizzate in strati da decimetrici a plurimetrici (fino a 5 m) amalgamati, a base netta e sovente irregolare. Gli strati mostrano cenni di laminazione piano-parallela (evidenziata da allineamenti sparsi di ciottoli e da concentrazioni di gusci isorientati di bivalvi e gasteropodi), tuttavia si presentano sovente omogenei a causa dell'intensa bioturbazione.

Sulla base dell'associazione a foraminiferi le Sabbie di Asti possono essere riferite allo Zancleano-Piacenziano.

Le associazioni a foraminiferi bentonici (*Florilus boueanum*, *Ammonia spp.*, *Cibicides lobatulus*, *Protoelphidium granosum*, *Bolivina spp.*, *Brizalina spp.*, *Textularia spp.*) (Dela Pierre *et al.* 2003) suggeriscono un ambiente di deposizione tra infralitorale e circalitorale.

#### 4.3.3 Villafranchiano auct.

Quest'unità comprende una parte della successione nota in letteratura come "Villafranchiano" di età Zancleano-Gelasiana, rappresentata da sedimenti sabbioso-limosi, talora ghiaiosi, di ambiente marino transazionale e continentale, che poggiano con contatto transazionale sulle Sabbie di Asti.

In particolare si possono osservare:

- Sabbie da fini a grossolane passanti a siltiti, di colore giallo o grigio-azzurro, organizzate in strati da decimetrici a plurimetrici (fino a 5 m) amalgamati, a base netta e sovente irregolare. Gli strati mostrano cenni di laminazione piano-parallela, tuttavia si presentano sovente omogeneizzati dall'intensa bioturbazione.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 315"> <tr> <td>Foglio 60 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 60 di 157
Foglio 60 di 157		

- Sabbie e sabbie ghiaiose in strati decimetrici, parzialmente cementate, alternate verso l'alto a peliti. Nella parte medio-bassa della formazione gli strati sabbiosi sono bioturbati (icnogenere *Ophiomorpha*) e sono presenti corpi conglomeratici a geometria canalizzata e a laminazione obliqua. Le siltiti sono per lo più laminate e più raramente bioturbate. Nel complesso sono interpretabili come depositi marini marginali, di fronte e piana deltizia.
- Ghiaie e sabbie ghiaiose mal selezionate, parzialmente cementate, organizzate in corpi piano-concavi canalizzati.. Sono localmente associate siltiti contenenti resti di molluschi dulcicoli e rizoconcrezioni. I sedimenti di quest'unità sono interpretabili come depositi fluviali di *braided stream* ghiaioso-sabbioso e subordinatamente di piana di inondazione.

I sedimenti riferiti alle Sabbie di Asti ed al *Villafranchiano auct.* sono stati distinti, per la prima volta, in fase di Progetto Esecutivo in quanto presentano caratteristiche geotecniche sensibilmente differenti rispetto ai depositi fluviali/alluvionali del T. Scrivia, ai quali erano stati accomunati nel corso delle precedenti fasi progettuali.

Le caratteristiche delle Sabbie di Asti e del *Villafranchiano auct.* sono osservabili, in affioramento, esclusivamente in prossimità dei settori collinari situati a W-SW dell'area interessata dalla tratta di pianura dove, invece, le uniche indicazioni stratigrafico-sedimentologiche relative al sottosuolo provengono dai dati di sondaggio.

Come risulta dalla descrizione sopra riportata le Sabbie di Asti e il *Villafranchiano auct.* presentano, a tratti, una marcata convergenza di facies; quindi, dalla sola osservazione delle carote di sondaggio, non risulta possibile distinguere con precisione le due unità. Per questa ragione, in fase di Progetto Esecutivo le due unità stratigrafiche sono state rappresentate con un unico termine che le comprende entrambe: Sabbie di Asti - *Villafranchiano auct.* (vL).



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 61 di 157</p>

## 5 DEPOSITI QUATERNARI

Nell'ambito delle formazioni quaternarie, sono state distinte cartograficamente le formazioni individuabili in base a uno specifico bacino di appartenenza dalle formazioni ubiquitarie e quindi non differenziabili in tal senso.

Delle prime fanno parte:

- i depositi alluvionali del bacino del T. Polcevera;
- i depositi alluvionali del bacino alessandrino e del conoide del T. Scrivia.

### 5.1 Unità pleistocenico-oloceniche del bacino del T. Polcevera

#### 5.1.1 *Depositi fluviali pleistocenico-olocenici (flp1)*

Depositi prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi, di spessore variabile, localmente pedogenizzati e/o ricoperti da una coltre di depositi colluviali e detritico-colluviali. si trovano a quote più elevate rispetto agli alvei attuali. Nel complesso possono essere riferiti al Pleistocene-Olocene.

#### 5.1.2 *Depositi fluviali olocenici (flp2)*

Depositi prevalentemente ghiaiosi con rari blocchi e subordinatamente materiale fine siltoso-argilloso che costituiscono le aree adiacenti agli alvei attuali del T. Polcevera e dei suoi tributari. Hanno uno spessore variabile dai 5 ai 15 metri e soltanto nella zona di pianura, in prossimità della foce del T. Polcevera raggiungono i 60 m (Brandolini et al. 2002). Nel complesso possono essere riferiti all'Olocene.

### 5.2 Unità pleistocenico-oloceniche del bacino dello Scrivia

Nei dintorni dell'area oggetto d'intervento i depositi fluviali riferibili al bacino del Torrente Scrivia sono localizzati sia alla sommità dei rilievi collinari prospicienti le aree di pianura, per quanto riguarda i termini stratigrafici più antichi, sia in corrispondenza dell'ampio conoide del T. Scrivia, che si estende tra Serravalle Scrivia e Tortona.

I depositi fluviali del bacino del T. Scrivia sono costituiti da sedimenti sciolti che presentano una granulometria scarsamente differenziata, con netta prevalenza di elementi clastici grossolani; è stato comunque possibile distinguere al loro interno tre unità principali, sulla base delle caratteristiche litologiche, delle caratteristiche dei suoli cui sono associate e della posizione geometrica che essi occupano all'interno del bacino:

- depositi fluviali antichi (fl1),
- depositi fluviali medi (fl2),
- depositi fluviali recenti (fl3).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 315"> <tr> <td>Foglio 62 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 62 di 157
Foglio 62 di 157		

A questi si aggiungono i depositi alluvionali attuali, la cui estensione è circoscritta agli alvei di piena dei corsi d'acqua.

### 5.2.1 Depositi fluviali antichi (fl1)

I depositi fluviali riferiti a questa unità sono ubicati in corrispondenza di alcuni lembi di superfici terrazzate presenti in sinistra idrografica del T. Scrivia in corrispondenza di superfici di modeste dimensioni sospese di circa 75-50 m rispetto all'alveo del T. Scrivia e sono rappresentati da sedimenti fluviali ghiaioso-sabbiosi con struttura a supporto di clasti, ben alterati (5YR 4/6 - 2,5YR 5/8). I clasti sono costituiti soprattutto da serpentiniti, metabasiti e quarziti; localmente presentano patine di ossidi di ferro e manganese e frequentemente sono ben osservabili dei veri e propri livelli centimetrici di ossidi nero-rossastri. La matrice fine, siltoso-arenacea è molto alterata. Questi depositi sono associati a dei paleosuoli abbastanza evoluti, come testimoniato anche dalla locale presenza di concrezioni calcaree (pedotubuli e rizoconcrezioni).

La superficie di appoggio basale, di natura erosiva, è modellata nel substrato pre-quadernario o nei depositi del Bacino Terziario Piemontese; la superficie sommitale dei depositi coincide solo in parte con il top deposizionale essendo in generale sensibilmente rimodellata.

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

### 5.2.2 Depositi fluviali medi (fl2)

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

Le osservazioni stratigrafiche derivano soprattutto dalle stratigrafie di sondaggio e in minima parte da osservazioni dirette. I depositi fluviali medi (fl2) sono costituiti da ghiaie sabbioso-limose debolmente argillose. Dall'analisi granulometrica di 4 campioni raccolti in 1 sito le classi granulometriche risultano così distribuite: 57% ghiaia, 21% sabbia, 15% limo e 7% argilla. La matrice fine, siltoso-arenacea è mediamente alterata. Solo localmente sono presenti livelli metrici di argille e silt-argillosi (Figura 29).

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 318"> <tr> <td>Foglio 63 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 63 di 157
Foglio 63 di 157		



**Figura 29 - Sondaggio XA301B111, dettaglio dell'unità f12.**

### 5.2.3 Depositi fluviali recenti (f13)

I depositi fluviali riferiti a quest'unità sono ubicati in corrispondenza dell'ampio terrazzo, sospeso di 20-25 metri rispetto all'alveo del T. Scrivia, che si estende in sinistra idrografica, da Serravalle Scrivia a Tortona.

I depositi fluviali recenti comprendono sedimenti a granulometria grossolana costituiti, in generale, da ghiaie e sabbie, con percentuali variabili di argille e limi. Trattandosi di depositi fluviali di tipo *braided*, la geometria interna dei corpi sedimentari è piuttosto irregolare, con corpi ghiaioso-sabbiosi piano-concavi, di spessore da metrico a plurimetrico ed estensione laterale decametrica, intercalati a depositi più fini, sabbiosi, sabbioso-limosi e limoso-argillosi.

Lo spessore complessivo dei depositi fluviali recenti (f13) varia da 1-2 metri a oltre 60 metri. In base al grado di alterazione e ai rapporti con le altre unità, i depositi fluviali recenti possono essere indicativamente riferiti, nel complesso, al Pleistocene superiore - Olocene.

Sulla base dell'osservazione delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti nelle fasi Preliminare, Definitiva ed Esecutiva di progetto, degli affioramenti esposti in corrispondenza di alcuni orli di terrazzo e delle analisi granulometriche (elaborato A301-00-D-CV-RG-GE00-0-1-002-A.00), i depositi fluviali recenti sono stati distinti in due sub-unità geometricamente sovrapposte (f13a e f13b).

#### 5.2.3a Sub-unità f13a - ghiaie sabbiose limoso/argillose

L'unità f13a, stratigraficamente inferiore è costituita da ghiaie sabbiose limoso-argillose. Dall'analisi granulometrica di 18 campioni raccolti in 7 siti differenti le classi granulometriche risultano così distribuite: 64% ghiaia, 19% sabbia, 11% limo e 6% argilla. Nel complesso si presentano da mediamente a poco alterati. Localmente sono presenti livelli metrici di argille e silt argillosi.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <span style="float: right;">Foglio 64 di 157</span>

La superficie di appoggio basale, di natura erosiva, è modellata sul substrato (Figura 32), costituito da Sabbie d'Asti -Villafranchiano *auct.* (vL). I depositi fluviali recenti (f13a) non si trovano mai in affioramento e sono sempre ricoperti dalla sub-unità dei depositi fluviali recenti (f13b).

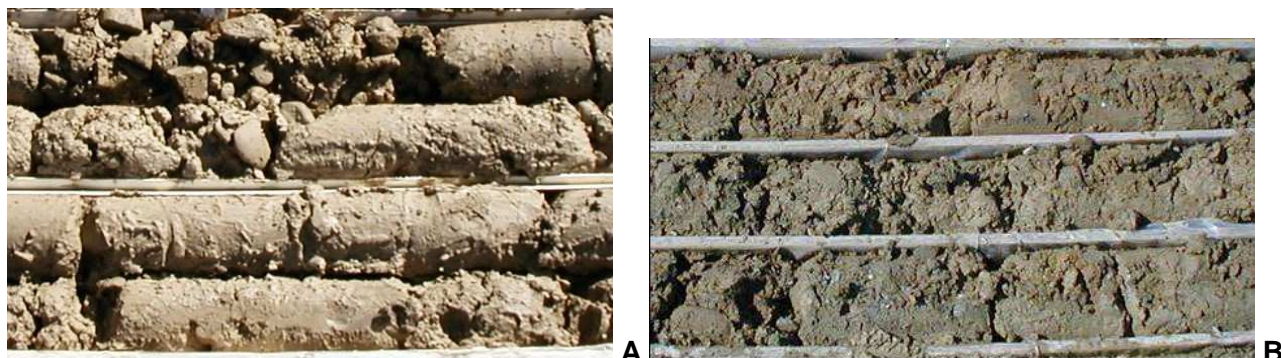


Figura 30 - Dettaglio dell'unità f13a: (A): sondaggio XA301C072, (B): sondaggio XA301C087.

#### 5.2.3b Sub-unità f13b - ghiaie sabbiose

L'unità f13b, stratigraficamente superiore è costituita da ghiaie sabbiose, con clasti che presentano vari gradi di arrotondamento e sfericità e diametro massimo di circa 3-4 cm; solo localmente sono presenti elementi con diametro maggiore (Figura 4).

La superficie di appoggio basale, probabilmente di natura erosiva, è modellata nei depositi fluviali recenti (f13a). I depositi fluviali recenti (f13b) sono ricoperti da suoli che presentano un grado di evoluzione medio-basso con potenza media variabile da 0,5 a 2 metri, prevalentemente utilizzati come coltivo.

Dall'analisi granulometrica di 6 campioni raccolti in 5 siti differenti le classi granulometriche risultano così distribuite: 75% ghiaia, 18% sabbia, 4% limo e 3% argilla. Nel complesso, si presentano da poco alterati a non alterati.

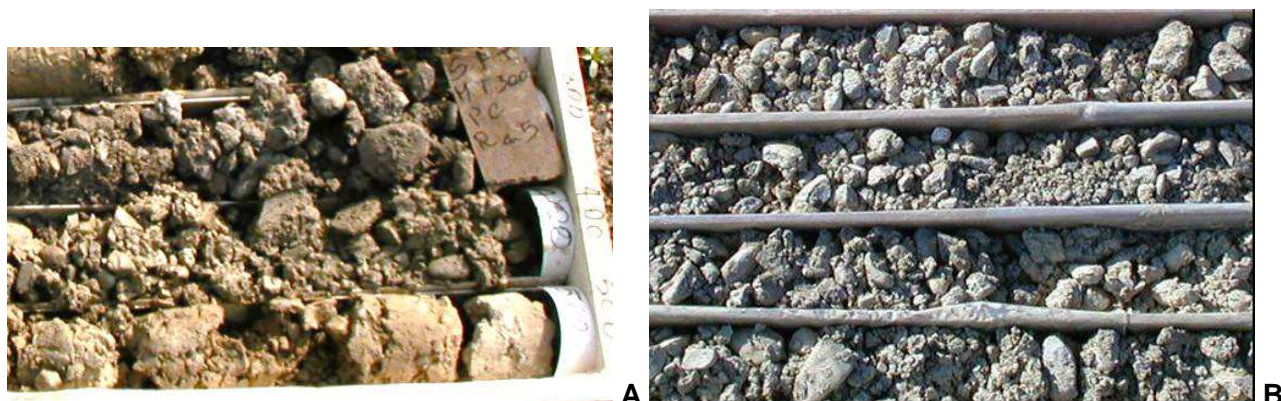


Figura 31 - Dettaglio dell'unità f13a: (A): sondaggio XA301C070, (B): sondaggio XA301C087.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 65 di 157

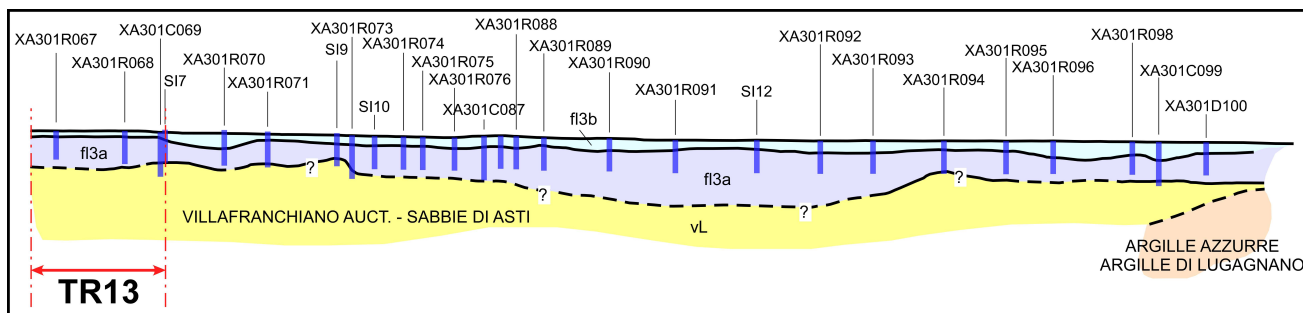


Figura 32 - Localizzazione della posizione del substrato prequaternario lungo la tratta di pianura, in base ai dati dei sondaggi disponibili. I sondaggi rappresentati hanno lunghezza di 30 m.

### 5.3 Unità pleistocenico-oloceniche non distinte in base al bacino di appartenenza

#### 5.3.1 Alluvioni attuali (a)

I depositi riferiti a questa unità sono distribuiti in accumuli più consistenti lungo gli attuali fondovalle del T. Scrivia, del T. Lemme e del T. Polcevera e in lembi più sottili e discontinui lungo l'alveo dei corsi d'acqua tributari.

Le caratteristiche tessiturali, granulometriche e composizionali sono fortemente influenzate dalle caratteristiche litologiche delle aree di alimentazione; una differenza macroscopica che si evidenzia immediatamente è che la grande disponibilità di clasti provenienti dal BTP e in particolare dalla Formazione di Molare, in territorio piemontese, contribuisce a rifornire i corsi d'acqua del versante settentrionale della dorsale montuosa attraversata dalla linea di una grande quantità di materiale clastico grossolano; dall'altro lato, sul versante ligure, la prevalenza lungo il bacino del Polcevera di affioramenti delle Argille a Palombini determina apporti di materiale a granulometria nettamente più fine nella parte alta dei bacini, con un progressivo arricchimento in materiali grossolani man mano che i corsi d'acqua incidono le altre formazioni metamorfiche (dolomie, metabasalti, ecc.).

I depositi connessi ai corsi d'acqua principali sono in genere costituiti da ghiaie e ghiaie sabbiose a supporto di clasti, localmente a supporto di matrice, debolmente o per nulla alterate (Figura 33). I clasti sono di taglia centimetrico-decimetrica e talvolta sono presenti blocchi di dimensioni pluridecimetriche, fino a metriche, che si presentano da subarrotondati a ben arrotondati.

Localmente i depositi ghiaiosi sono coperti da estese coltri di esondazione fluviale, di spessore variabile da 1 a 4 m circa, costituite da sabbie a laminazione piano-parallela o obliqua e da sabbie siltose massive, contenenti rari ciottoli. All'interno delle coltri di esondazione sono presenti lenti ghiaiosi, a supporto di clasti e di matrice, di spessore decimetrico con ciottoli di dimensioni non superiori a 10 centimetri circa.

I depositi alluvionali attuali distribuiti lungo gli alvei torrentizi minori, sono spesso caratterizzati da una bassa percentuale di materiale fine, che viene costantemente dilavato dalla corrente e dalle piene periodiche, soprattutto lungo i tratti d'alveo a maggiore energia di trasporto, cioè a pendenza più elevata; nei settori a minore pendenza si possono avere accumuli a granulometria molto variabile, comprendenti livelli di ghiaie con ciottoli e sabbia, ma anche orizzonti limoso-argillosi, di

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 66 di 157

spessore generalmente decimetrico o pluridecimetrico. Molti tratti d'asta sono completamente privi di depositi, a conferma della tendenza erosiva dei corsi d'acqua della regione.



**Figura 33 – Depositi alluvionali attuali del T. Scrivia in prossimità della località Libarna. Nella parte superiore della fotografia è evidente la coltre di esondazione fluviale argilloso-sabbiosa contenente resti vegetali.**

La superficie di appoggio basale dell'unità è di natura erosiva ed è modellata nel substrato prequaternario, o in altri depositi fluviali più antichi. La superficie sommitale coincide con il top deposizionale che appare ben conservato e tuttora parzialmente inondabile in caso di piene eccezionali. I depositi presenti nei bacini tributari invece sono costituiti da silt, silt sabbiosi e sabbie siltose, debolmente addensati e non alterati, con intercalazioni ghiaioso-sabbiose.

Talvolta danno luogo a superfici terrazzate sospese da 3 a 5 m sugli alvei attuali. La potenza massima dei depositi, valutata sulla base delle stratigrafie derivanti da trivellazioni di pozzi per acqua (fonte SIGEO, Arpa Piemonte) è di circa 15-20 m in Valle Scrivia e di circa 5-10 m nel bacino del T. Polcevera.

In base al grado di alterazione e ai rapporti con le altre unità, i depositi fluviali attuali possono essere riferiti ad un intervallo cronologico compreso tra l'Olocene e l'Attuale.

### 5.3.2 Detrito di falda (d)

Deriva principalmente dalla disgregazione meccanica delle rocce del substrato, associata a moderati processi di alterazione chimica, principalmente per ossidazione, decarbonatazione, argillificazione.

Forma una copertura detritica di spessore variabile da 0.5 a > 10 m, le cui caratteristiche tessiturali e granulometriche variano a seconda del litotipo di origine. In generale, in litotipi argillitici, flyschoidi o marnosi prevale la componente limoso-sabbiosa, con elementi lapidei angolosi di piccole dimensioni, di colore da ocra a bruno.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 67 di 157

Il detrito derivante da rocce massive (es.: calcari, dolomie, metabasalti, serpentiniti, ecc.) presenta una maggior percentuale di clasti litoidi di grandi dimensioni e un maggiore indice dei vuoti; il detrito derivante dagli affioramenti della formazione di Molare ha la peculiare caratteristica di essere composto dagli stessi ciottoli arrotondati in matrice sabbiosa sciopla, che costituivano il litotipo sedimentario di origine.

Localmente, quando i clasti sono costituiti in prevalenza da calcari e calcari dolomitici, il detrito può presentare una cementazione diffusa in relazione alla circolazione di acque arricchite in carbonato (Figura 34).



**Figura 34 – Detrito di falda cementato ad elementi calcarei nei pressi di Isoverde (GE).**

### 5.3.3 Accumuli di frana (af)

Gli accumuli di frana sono diversificati sia per quanto riguarda i meccanismi genetici, sia dal punto di vista dimensionale. La distribuzione degli accumuli rispecchia sostanzialmente le differenti caratteristiche litologiche, strutturali e giaciture del substrato roccioso e la varia composizione e distribuzione delle coperture superficiali coinvolte. Conseguentemente, anche i caratteri sedimentologici degli accumuli variano in funzione della natura del substrato e delle coltri superficiali (prevalentemente di natura colluviale) mobilizzate dai fenomeni di dissesto.

Gli accumuli di frana sono costituiti da *diamicton* con matrice limoso-sabbiosa, poco o nulla addensata, e scheletro in proporzioni molto variabili, formato da ciottoli e massi angolosi eterometrici, derivati dalla rielaborazione di altre formazioni superficiali o del substrato. Talvolta gli accumuli gravitativi sono caratterizzati dalla presenza di clasti e blocchi eterometrici, angolosi, spesso di grande taglia.

In alcuni casi i fenomeni franosi coinvolgono anche il basamento prequaternario, come ad esempio nel caso della “frana Carbonasca”, che interessa direttamente porzioni di substrato caratterizzate da un forte grado di deformazione cataclastica legata a movimenti lungo strutture tettoniche parallele al margine orientale della Zona Sestri Voltaggio. In questi casi il corpo di accumulo è di tipo composito, includendo sia porzioni a tessitura caotica e a granulometria fine (frammenti litoidi in



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00

Foglio  
68 di  
157

matrice prevalentemente limoso-sabbiosa) sia corpi rocciosi decametrici o pluridecametrici, rappresentanti zolle di substrato traslate nel corpo di frana.

Gli accumuli di frana s.l. sono frequentemente caratterizzati da un grado di rimodellamento molto elevato e da processi di erosione accelerata, dato che le caratteristiche geotecniche del materiale in genere subiscono un forte decremento sia per la disarticolazione subita sia per l'imbibizione. Il rimodellamento, può essere dovuto sia a processi naturali sia a fattori antropici, ma spesso è fortemente accelerato da questi ultimi, soprattutto quando si traducono nel taglio di scarpate lungo i versanti, non adeguatamente drenate e sostenute. I processi di rimodellamento e la rapida rivegetazione delle aree in frana tendono a mascherare e talvolta a obliterare completamente sia i depositi sia la morfologia originaria, rendendo quindi molto spesso difficile diagnosticare la presenza di accumuli.

#### 5.3.4 Coltre colluviale e detritico-colluviale (c)

La coltre colluviale costituisce il deposito arealmente più diffuso, sebbene dal punto di vista geologico non rivesta una particolare importanza, essendo per lo più limitato a spessori di 1-2 metri o anche meno. L'elevata diffusione della coltre colluviale è dovuta alla degradabilità e all'erodibilità di molti dei litotipi affioranti lungo il tracciato, in particolare tutti i termini pelitico-arenacei della successione del BTP e gli argiloscisti delle unità metamorfiche della Zona Sestri-Voltaggio.

La coltre colluviale è rappresentata da depositi massivi, eterogenei, a supporto di matrice, costituiti da silt e silt sabbiosi con subordinate percentuali di clasti di taglia centimetrico-decimetrica. I clasti hanno forma angolosa nel caso di coltri sviluppatasi a spese di unità a composizione marnoso-arenacea o riferibili al basamento metamorfico e forma sub arrotondata nel caso di coltri formate a spese di unità a composizione conglomeratica (es.: Molare). Localmente sono presenti livelli e lenti detritiche di spessore decimetrico-metrico, con struttura a supporto di clasti (coltre detritico-colluviale).

Lo spessore della coltre varia in genere tra 1 e 3 m lungo i fianchi vallivi, mentre alla base dei versanti e in prossimità delle incisioni torrentizie i depositi possono raggiungere spessori anche superiori ai 5 metri, eventualmente interdigitandosi con i depositi alluvionali di fondovalle. Per contro, gran parte dell'areale di affioramento della formazione delle Argille a Palombini dell'unità Figogna è caratterizzata dalla presenza di una coltre sottilissima, di spessore sovente inferiore a 0,5 m, che lascia subaffiorare diffusamente il substrato.

In base al grado di alterazione e ai rapporti con le altre unità, la coltre colluviale e detritico-colluviale può essere riferita a un intervallo cronologico compreso tra la parte inferiore del Pleistocene superiore e l'Attuale.

#### 5.4 Altri materiali detritici non legati a processi geologici

Rientrano in questa categoria gli accumuli di materiali vari origine antropica (r), che comprendono materiale di riporto ordinario, utilizzato a formare riempimenti, terrapieni stradali, argini, ecc. o accumulato in siti di deponia provvisori o definitivi, discariche di cava, ecc. Si tratta di materiali sciolti, molto eterogenei in quanto possono essere costituiti integralmente da materiale di derivazione naturale o essere frammisti a macerie, laterizi, scarti di edilizia.



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 69 di 157</p>

Questi materiali sono molto eterogenei anche dal punto di vista della composizione granulometrica, a seconda della loro origine. Possono essere costituiti da terreni di risulta di scavi in rocce sedimentarie o in argilloscisti, nel qual caso prevale la componente granulometrica fine, oppure da rocce cristalline, nel qual caso è presente una non trascurabile componente grossolana, in matrice fine più o meno abbondante.

I depositi di residui edilizi non sono ovviamente classificabili sotto nessun punto di vista, incluso il loro comportamento geotecnico che non può essere parametrizzato in maniera univoca.

In generale, tutti questi materiali sono da considerare dei terreni di scarto, dalle caratteristiche geotecniche estremamente scadenti e imprevedibili sia dal punto di vista del comportamento sotto carico, sia dal punto di vista qualitativo in relazione alla potenziale presenza di inquinanti. Essi vanno quindi invariabilmente rimossi dai siti interessati dalla realizzazione di qualsivoglia struttura, scavo o rilevato.

È da segnalare che per questo tipo di depositi antropici, che spesso risalgono ad anni addietro e non sono il risultato di una gestione controllata, sussiste un rischio, impossibile da quantificare se non in fase di rimozione, correlato alla potenziale presenza di scari edilizi contenenti amianto (frammenti di lastre e tubature in Eternit) o altre sostanze potenzialmente nocive (es.: vetroresina, lana di roccia, ecc.).

Cartograficamente sono stati distinti, ove possibile e ove funzionale alla progettazione delle opere, in: accumuli di inerti, rilevati e terreno di riporto, anche derivante da attività agricole (r), rilevati stradali ferroviari (rf), discariche di cava (rc).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 70 di 157</p>

## 6 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Gli aspetti morfologici del territorio sono essenzialmente in accordo con le condizioni climatiche attuali; non sono riconoscibili morfologie relitte riferibili ad andamenti climatici fortemente differenti, con particolare riferimento ai periodi glaciali.

A grande scala la zona si colloca nel tratto montano e collinare del bacino imbrifero del Torrente Scrivia a nord, e nel bacino montano del Torrente Polcevera a sud.

### 6.1 Caratteri geomorfologici generali

Sul versante ligure, a livello geomorfologico generale si possono distinguere sei domini principali:

- 1) la fascia costiera, caratterizzata da un grado di modificazione antropica estremamente elevato, tale da obliterare pressoché completamente le morfologie originarie e da incidere profondamente anche sullo sviluppo della linea di costa;
- 2) il settore ad ovest della linea Sestri-Voltaggio (corrispondente all'affioramento delle unità Voltri e Palmaro-Caffarella), con morfologia condizionata dalle caratteristiche litologiche del substrato prequaternario, costituito:
  - a) da prevalenti calcescisti, più erodibili e che quindi danno luogo a coltri detritiche più continue, caratterizzate da una maggiore propensione al dissesto in virtù delle caratteristiche granulometriche e mineralogiche dei prodotti di disagregazione;
  - b) da metabasiti e metaultrabasiti, più resistenti, che danno luogo a coltri detritiche più discontinue, spesso prive di suolo e a granulometria più grossolana; in questi litotipi prevalgono mediamente fenomeni di crollo, diffusi o localizzati, a carico delle pareti rocciose;
- 3) il settore della dolomia del M. Gazzo, caratterizzato da un nucleo dolomitico allungato in direzione N-S che determina una dorsale morfologicamente evidente, con pareti subverticali; caratteristico di questo dominio è lo sviluppo di forme carsiche, anche rilevanti;
- 4) il settore compreso tra il M. Gazzo e Borzoli, caratterizzato dall'affioramento di metabasiti e metaultrabasiti, con pareti e versanti in roccia, spesso con copertura di suolo estremamente ridotta e pendii denudati dall'erosione; prevalgono in quest'area accumuli detritici e/o di frana a grossi blocchi, alimentati da crolli e distacchi localizzati di elementi lapidei dalle pareti soprastanti;
- 5) il settore della Val Polcevera, caratterizzato da un substrato costituito in prevalenza da argilloscisti, molto erodibili e che danno luogo a prodotti di erosione a granulometria da sabbiosa ad argillosa; questo settore è caratterizzato da forme piuttosto attenuate, con coltri di alterazione continue e potenti alcuni metri e con forte sviluppo della vegetazione che tende a limitare l'effetto erosivo delle acque di ruscellamento;
- 6) il settore a E della Val Polcevera (fuori dall'area presa in esame nel presente studio), comunque impostato in litotipi di natura flyschoidi, con locali zone di affioramento di litotipi carbonatici più competenti.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 71 di 157</p>

Il versante destro orografico della Val Polcevera ha una morfologia condizionata dalla presenza di litotipi a dominante componente pelitica (argilloscisti), fortemente erodibili, che danno luogo a una coltre di alterazione piuttosto continua. Sono visibili sul versante diversi lineamenti morfologici rappresentati da vallecole con orientazione N-S, perpendicolare alla direzione generale del pendio. Tali avvallamenti riflettono probabilmente la presenza di strutture plicative a scala del versante, cioè pieghe aperte decametrico-ettometriche di terza fase, che determinano ampie ondulazioni della foliazione regionale e sono associate a piani di taglio cataclastico di potenza decimetrico-metrica, paralleli al piano assiale delle pieghe.

In questo settore i corsi d'acqua risultano in progressivo approfondimento, anche se non sempre arrivano ad incidere il substrato, soprattutto nel settore orientale dove la potenza della coltre detritica è maggiore. Sul versante destro della Val Polcevera un set di lineamenti con orientazione da N-S a NNE-SSW, come già detto in precedenza potenzialmente riferibili agli assi di strutture plicative (pieghe aperte e ondulazioni di fase D3).

Il settore montuoso a cavallo dello spartiacque è caratterizzato dalla presenza di versanti moderatamente acclivi, dove le uniche espressioni morfologiche sono correlate all'evoluzione dei versanti per gravità e per erosione fluviale torrentizia, poiché il settore in esame non è stato soggetto al glacialismo pleistocenico.

Sul versante ligure, sono presenti estesi settori di pendio in cui il substrato prequaternario è ricoperto da una coltre detritico-colluviale di potenza metrica o plurimetrica, derivante dalla disgregazione prevalentemente meccanica della roccia in posto cui si associano processi di trasporto per ruscellamento e locali fenomeni di alterazione legati all'infiltrazione dell'acqua piovana.

Vi sono diverse zone specialmente verso la costa, in cui lo stato naturale dei versanti è stato ampiamente rielaborato e rimaneggiato dalle attività antropiche, sia per la presenza di terrazzamenti, coltivi, muri a secco e in cemento a sostegno di strade e edifici, sia per la presenza di estese aree di cava, sia in destra che in sinistra idrografica, sia infine per la presenza di alcune aree industriali, in parte dismesse e abbandonate.

Sul versante piemontese non si riscontra il grado di urbanizzazione estrema che caratterizza alcuni settori dell'immediato entroterra genovese, tuttavia si riscontra la diffusa presenza di terrazzamenti artificiali sostenuti da muri a secco, indice di un passato sfruttamento intensivo di queste zone; anche sul lato piemontese i versanti sono in genere ricoperti da un'estesa coltre detritico-colluviale e da ampie zone boschive, con percentuale di affioramento relativamente ridotta.

In generale, i corsi d'acqua sono in fase di generale di arretramento per erosione regressiva. La situazione di marcato ringiovanimento del reticolo è evidenziata da fenomeni accentuati di erosione spondale e di fondo, spesso all'origine di fenomeni di instabilità dei versanti.

In base ai dati contenuti negli elaborati del Piano di Bacino del T. Polcevera, il bacino è caratterizzato da una diffusa instabilità superficiale e da una potenziale pericolosità in relazione a fenomeni di esondazione con tempo di ritorno cinquecentennale.

Dal punto di vista della dinamica fluviale, i processi erosivi dovuti alle acque di ruscellamento che scorrono sui versanti del bacino e all'azione del corso d'acqua principale sono piuttosto intensi, con frequenti fenomeni di ruscellamento diffuso, erosione concentrata di fondo lungo gli impluvi laterali e dilavamento dei versanti, con asportazione parziale della coltre di suolo superficiale; tali fenomeni

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 72 di 157</p>

sono più accentuati in corrispondenza delle zone di affioramento dei litotipi più teneri, quali gli argilloscisti.

Come già accennato, l'erosione di fondo è attiva sia nei settori di testata, sia lungo il reticolo idrografico minore, costituito in prevalenza da aste a deflusso stagionale o temporaneo. Il reticolo è poco evoluto e soggetto a un generale processo di ringiovanimento, presumibilmente per cause prevalentemente neotettoniche. L'assenza locale di depositi alluvionali lungo il corso dei torrenti ne conferma la tendenza erosiva.

Per quanto riguarda lo stato di dissesto dei versanti, il rilevamento geomorfologico ha messo in luce come i versanti vi siano locali condizioni di potenziale suscettibilità al dissesto, determinata dalle relativamente mediocri caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi (soprattutto negli argilloscisti, per la presenza di uno strato di alterazione superficiale, che può raggiungere uno spessore di alcuni metri), e per gli scadenti parametri di resistenza dei terreni della coltre detritica, derivati dalla disgregazione delle metapeliti substrato e caratterizzati da granulometria prevalentemente fine.

Nel settore di affioramento delle formazioni carbonatiche (area di Isoverde), si sono sviluppati fenomeni carsici di un certo rilievo, tali da permettere di individuare tre sistemi carsici indipendenti, definiti dal Catasto delle grotte e delle aree carsiche della Regione Liguria (<http://www.catastogrotte.net>):

- GE33 - Monte Gazzo,
- GE34 - Alta Val Chiaravagna,
- GE35 – Isoverde

Le evidenze di carsismo note nel settore del M. Gazzo, in molti casi venute alla luce in seguito ai lavori di coltivazione delle cave e allo scavo del collegamento ferroviario tra il porto di Voltri e la linea del III Valico, presentano un andamento prevalentemente verticale, essendo impostate su strutture tettoniche subverticali. All'interno di questo corpo carbonatico non sono conosciuti sistemi freatici né corsi d'acqua importanti. Il carsismo sotterraneo, spesso senile o fossile, è caratterizzato da cavità sovente riempite da depositi chimici secondari in svariate forme. Le acque drenate dal sistema fuoriescono probabilmente lungo l'alveo del rio Bianchetta.

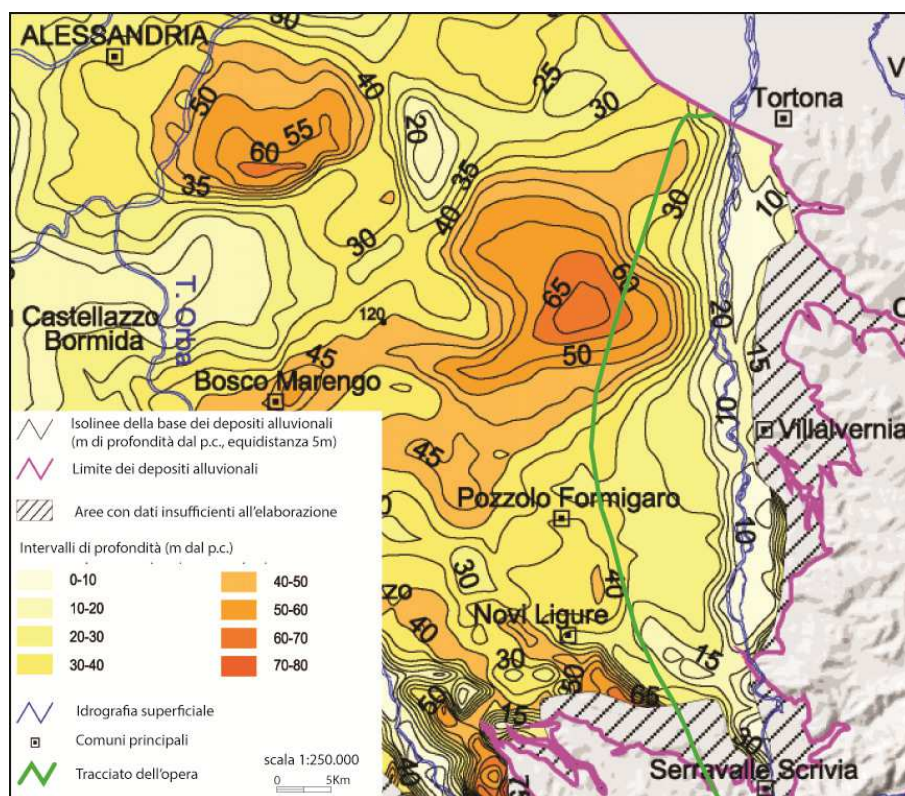
Il settore a ridosso della pianura alessandrina è fisiograficamente caratterizzato dalla presenza del vasto conoide alluvionale del T. Scrivia, formatosi tra gli antichi conglomerati di Serravalle Scrivia, da un lato, e quelli di Stazzano - Cassano Spinola dall'altro. Il conoide si è depositato nel corso del Quaternario, in seguito alla migrazione del torrente da W a E. Gli elementi di spicco del paesaggio sono costituiti dai terrazzi alluvionali digradanti verso nord, contornati da orli di terrazzo.

Gli aspetti morfologici del territorio sono essenzialmente in accordo con le condizioni climatiche attuali; non sono riconoscibili morfologie relitte riferibili al periodo glaciale.

Le formazioni marnose del BTP, molto diffuse nel settore collinare prospiciente la pianura, danno luogo a forme dolci ed arrotondate, in particolar modo laddove i versanti costituiti da questo tipo di roccia hanno raggiunto attraverso movimenti successivi, angoli di equilibrio modesti, in prevalenza attorno ai 20-25°. Nei casi in cui le formazioni presentino strati più competenti e siano soggette all'azione di dilavamento delle acque superficiali, si osserva spesso una morfologia a calanchi.



Dal profilo morfostratigrafico che riguarda il tratto del T. Scrivia che va da Serravalle Scrivia a Villalvernia (Figura 36) si può osservare che nella fascia altimetrica compresa tra 305 e 130 m s.l.m. esistono svariati ordini di terrazzi di origine fluviale. I terrazzi, sulla base della loro quota attuale, possono essere schematicamente suddivisi in tre gruppi principali che corrispondono ad altrettante fasi di deposizione dei sedimenti e modellamento delle superfici.

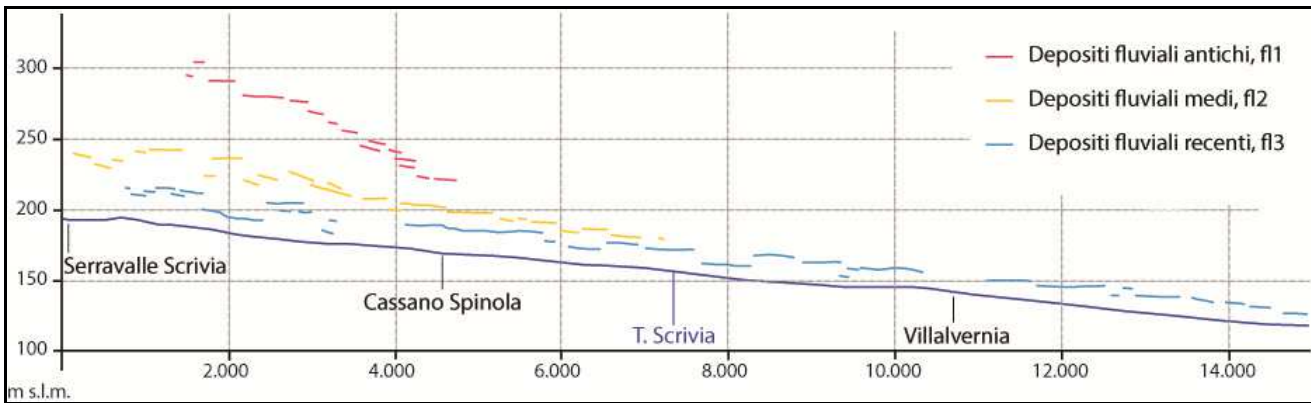


**Figura 35:** Carta schematica della profondità della superficie basale dei depositi alluvionali del settore alessandrino (adattato da Irace et al. 2009). Dalla carta emerge l'estrema irregolarità dell'andamento della superficie basale dei depositi alluvionali lungo il tracciato dell'opera (linea verde), da superficiale a mediamente profondo nei settori di Novi Ligure-Pozzolo Formigaro, con un evidente depocentro nel settore tra Villalvernia e Tortona.

Il gruppo di terrazzi situato in prossimità della fascia altimetrica più alta, compresa tra 305 e 225 m, è ubicato in prevalenza lungo i fianchi e in parte alla sommità dei rilievi collinari che sovrastano il conoide del T. Scrivia. Questi terrazzi sono modellati e delimitano arealmente i depositi fluviali antichi (fl1).

Il gruppo di terrazzi situato in prossimità della fascia altimetrica intermedia, compresa tra 245 e 175 m, è ubicato in corrispondenza del conoide del T. Scrivia. Questi terrazzi delimitano le estese aree poco acclivi o pianeggianti sulle quali sorgono gli abitati di Serravalle Scrivia, Novi Ligure e, in parte, Pozzolo Formigaro. Questi terrazzi sono modellati e delimitano arealmente i depositi fluviali medi (fl2).

Il gruppo di terrazzi situato in prossimità della fascia altimetrica inferiore, compresa tra i 245 e i 175 metri, è ubicato in corrispondenza del conoide del T. Scrivia, a poche decine di metri dal suo alveo ordinario. Questi terrazzi sono modellati e delimitano arealmente i depositi fluviali recenti (fl3).



**Figura 36: Profilo morfostratigrafico del Torrente Scrivia realizzato nel tratto compreso tra gli abitati di Serravalle Scrivia e Villalvernia e riferito al versante idrografico sinistro della Valle Scrivia (non sono stati rappresentati gli ordini di terrazzi riferibili all'evoluzione recente del T. Scrivia - depositi fluviali attuali (a) - in quanto scarsamente rilevanti ai fini dell'opera).**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 75 di 157

## 7 EVOLUZIONE STRUTTURALE

### 7.1 Quadro evolutivo regionale

#### 7.1.1 L'evoluzione collisionale alpina

La giunzione Alpi-Appennini è situata all'interno di un settore di circa 100 km di larghezza, la cui evoluzione è ritenuta essere in relazione alla collisione tra le placche Europa e Adria e alle associate rotazioni in senso antiorario su larga scala (Fig. 4.10).

Le Alpi Liguri, situate all'estremità sudoccidentale della catena alpina, sono costituite da unità tettoniche provenienti dall'oceano Ligure-Piemontese di età giurassica e dagli adiacenti margini continentali; la collisione continentale tra l'Africa e l'Europa hanno prodotto la subduzione ad elevate profondità di frammenti di crosta oceanica e continentale, il loro impilamento e la successiva rapida esumazione, conclusasi prima dell'Oligocene inf. (Rubatto & Herman, 2001; Federico et al., 2004).

Il basamento metamorfico comprende quindi:

- unità metaofiolitiche Liguri-Piemontesi, comprendenti metaofioliti, metasedimenti oceanici e peridotiti di mantello;
- unità sedimentarie carbonatiche Piemontesi, di età da triassica a giurassica inf.

Le unità Liguri-Piemontesi delle Alpi Liguri hanno raggiunto diverse condizioni di pressione-temperatura durante la subduzione del Cretacico sup., dalla facies eclogitica, a quella degli scisti blu di bassa temperatura, alla facies a pumpellyite-actinolite:

- il massiccio di Voltri dell'unità Voltri ha raggiunto condizioni eclogitiche, con una sovrimpressionamento metamorfica in facies scisti verdi;
- l'unità Palmaro-Caffarella si è riequilibrata in condizioni di facies scisti blu;
- l'unità Cravasco-Voltaggio si è riequilibrata in condizioni di bassa temperatura;
- l'unità Figogna ha raggiunto la facies pumpellyite-actinolite.
- l'unità Piemontese Gazzo-Isoverde (Triassico-Giurassico inf.) age, include rocce carbonatiche e argille che si sono deposte su una piattaforma in progressivo approfondimento; quest'unità ha raggiunto condizioni in facies scisti blu.

Dal punto di vista strutturale, le deformazioni registrate dalle unità tettonometamorfiche sono espressione di diversi eventi tettonici sovrapposti, conseguenza della subduzione e della collisione continentale tra Africa ed Europa.

Le strutture duttili più antiche si sono sviluppate durante gli stadi di alta pressione dell'evoluzione tettonometamorfica; piegamenti sovrapposti in condizioni da duttili a duttili-fragili e sovrascorrimenti si sono sviluppati in condizioni metamorfiche via via decrescenti e sono correlabili alle successive fasi di sollevamento, esumazione e messa in posto delle falde.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 76 di 157</p>

Infine, i depositi di flysch cretaci delle Alpi Liguri, rappresentati dalle unità Antola, Ronco, Montanesi e Mignanego, non hanno raggiunto più di un blando metamorfismo alpino di anchizona.

Come conseguenza dell'evoluzione sopra sintetizzata, nell'ambito del cosiddetto "nodo collisionale ligure" i contatti tettonici tra le unità sono stati riattivati in momenti diversi e secondo meccanismi deformativi differenti, a seconda della profondità e delle condizioni tettonometamorfiche di volta in volta dominanti.

L'assetto strutturale attuale è quindi il risultato di quattro fasi tettoniche principali (Capponi et al., 2008):

1. una fase di subduzione, che coinvolge unità di mantello, di crosta oceanica e di margine continentale, scaglie delle quali vengono giustapposte lungo zone di taglio milonitiche sinmetamorfiche.
2. Una fase di esumazione e impilamento delle unità, con cinematica prevalentemente transpressiva, che deforma e/o riattiva i contatti precoci tra le unità coinvolte nella subduzione.
3. Una fase di retropiegamento e retroscorrimento a vergenza appenninica, legata alla rotazione del blocco sardo-corso, durante la quale si sviluppano strutture a grande scala sia nel basamento metamorfico sia nelle successioni sedimentarie del BTP. Si formano importanti sistemi di faglie trascorrenti e i vecchi contatti tettonici vengono deformati e/o riattivati.
4. Una fase da post-orogena a recente in regime fragile, che genera sistemi di faglie a prevalente direzione N-S, che interessano anche i depositi pliocenici.

Nel complesso, l'assetto strutturale regionale attuale risultante dalla sovrapposizione di queste fasi deformative è caratterizzato da una geometria "a fiore positivo" nella quale la *master fault*, principale linea di sutura tra il dominio alpino e quello appenninico, è rappresentata dalla Linea Sestri-Voltaggio, lungo la quale vengono a contatto le unità Palmaro-Caffarella, Gazzo-Isoverde e Cravasco-Voltaggio. A sigillare questa struttura, le successioni sedimentarie del Bacino Terziario Piemontese (BTP), si depositano in discordanza sulla pila di falde del basamento alpino, con cui condividono solo le fasi tettoniche più recenti.

In questo quadro, l'evoluzione strutturale duttile che caratterizza le unità tettonometamorfiche interessate dallo sviluppo del tracciato di linea è diversa per le unità Gazzo-Isoverde e Figogna, anche se, in entrambi i casi, le associazioni strutturali legate ai principali eventi deformativi riconosciuti sono comunque riferibili a traiettorie seguite dai volumi rocciosi di entrambe le unità, attraverso livelli cristallini via via più superficiali.

### 7.1.2 L'evoluzione post-Oligocenica

È interessante, per l'area di studio, approfondire alcuni aspetti relativi all'evoluzione tettonica post-oligocenica, affrontati in dettaglio da Capponi et al. (2009).

Tra Oligocene e Miocene, il regime geodinamico del settore circostante le Alpi Liguri è caratterizzato dalla convergenza obliqua delle placche europea e africana, che determina la formazione, alla scala dell'orogene, di un cuneo individuato dalla placca Adria (*Adria Indenter*,



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 77 di 157</p>

Figura 2-A) e delimitato ai bordi, contro la placca Europea, da zone di transpressione destra e sinistra, rispettivamente localizzate lungo la Linea Insubrica e lungo l'asse alpino meridionale (Figura 2-B).

Al tempo stesso, nell'Oligocene superiore, il blocco sardo-corso inizia a ruotare (Figura 2-A), portando all'apertura del bacino Ligure-Provenzale (Doglioni et al., 1997; Rollet et al., 2002). Dopo la fase di rifting (Aquitano sup.), le Alpi Liguri entrano a far parte del margine continentale passivo settentrionale dell'oceano Ligure-Provenzale.

La fase di apertura del bacino Ligure-Provenzale si conclude nel Burdigaliano-Langhiano, quando il centro di estensione si sposa a est del blocco Corsica-Sardegna, causando l'apertura del Mar Tirreno. Accorciamenti di entità limitata continuano, a nord, nella Pianura Padana occidentale e, a sud, nel Mar Ligure.

L'evoluzione che ha portato all'attuale assetto strutturale del nodo Alpino-Appenninico e dei bacini ad esso associati è quindi determinata dall'azione concomitante di diversi meccanismi: rotazione, e formazione di zone di taglio trascorrente o transpressivo e formazione di sovrascorrimenti.

I sovrascorrimenti in particolare, fanno parte dei meccanismi secondari secondo cui vengono accomodate le deformazioni trascorrenti; nel settore in esame, i sovrascorrimenti più antichi accomoderebbero la maggior parte della trascorrenza nelle parti più interne dell'indenter, mentre i sovrascorrimenti più giovani accomoderebbero gli spostamenti di dip-slip sugli archi esterni.

A livello di strutture trascorrenti, nelle Alpi sudoccidentali la transpressione destra sarebbe stata accomodata, a partire dal Pliocene, dalla faglia di Bersezio. La maggiore transpressione sinistra si sarebbe invece localizzata lungo la faglia della Valle Stura (direzione WNW-ESE, Figura 2); l'offset laterale sinistro lungo questa struttura è circa 40-50 km, in accordo con la rotazione antioraria del blocco indicata dai dati geomagnetici nelle Alpi Liguri. Quando questi spostamenti sono attivi (Oligocene inf.), la Zona Sestri-Voltaggio, che separa le unità Liguri e Appenniniche, è sigillata dalla sedimentazione del BTP (Figura 2-B), che va dall'Eocene sup. al Miocene sup.

È quindi il BTP stesso a venire coinvolto nelle deformazioni legate da un lato alla convergenza obliqua lungo la megasutura trascorrente sinistra delle Alpi Liguri, dall'altro alla rotazione del blocco sardo-corso; il regime geodinamico ha generato dei sovrascorrimenti all'interno del BTP, con la messa in posto di unità Appenniniche-Liguridi, a nord delle quali si è individuata l'avanfossa Padano-Adriatica (*Adriatic foredeep* in Figura 38). I dati paleomagnetici indicherebbero una rotazione in senso antiorario di circa 50° del BTP, a partire dal tardo Oligocene, coerente con la rotazione dell'Appennino settentrionale e del blocco Sardo-Corso. Il BTP è quindi un bacino sintettonico, situato in posizione interna rispetto all'arco della catena delle Alpi Occidentali e Liguri.

Il BTP presenta la particolarità di essere separato, a nord di Genova, all'altezza della Valle Scrivia, in due settori distinti, nei quali i conglomerati basali mostrano una marcata differenziazione litologica, che indica una differente provenienza dei clasti; infatti ():

- a W della Valle Scrivia, i conglomerati sono alimentati dalle unità metamorfiche della Liguria centrale e costituiscono la **Formazione di Molare**;
- nel settore orientale la maggior parte dei clasti deriva dall'unità dei flysch del Monte Antola (**Conglomerati di Savignone**).

La transizione tra i due domini a diversa alimentazione è netta e coincide approssimativamente con l'asse della valle Scrivia (Figura 39-B). Secondo Capponi et al. (2009) la diversa provenienza dei clasti potrebbe essere spiegata con il sovrascorrimento verso nord delle unità metamorfiche delle Alpi Liguri sui flysch dell'Antola (Figura 40); questo meccanismo avrebbe reso i flysch dell'Antola non più disponibili per l'erosione e quindi per l'alimentazione detritica del bacino; al tempo stesso, il sovrascorrimento avrebbe portato alla formazione della "faglia della Valle Scrivia" e di altri lineamenti tettonici analoghi (faglia della val Lemme e faglia Sestri-Voltaggio), che avrebbero agito come *tear faults* perpendicolari al fronte di sovrascorrimento (Figura 39 e Figura 40).

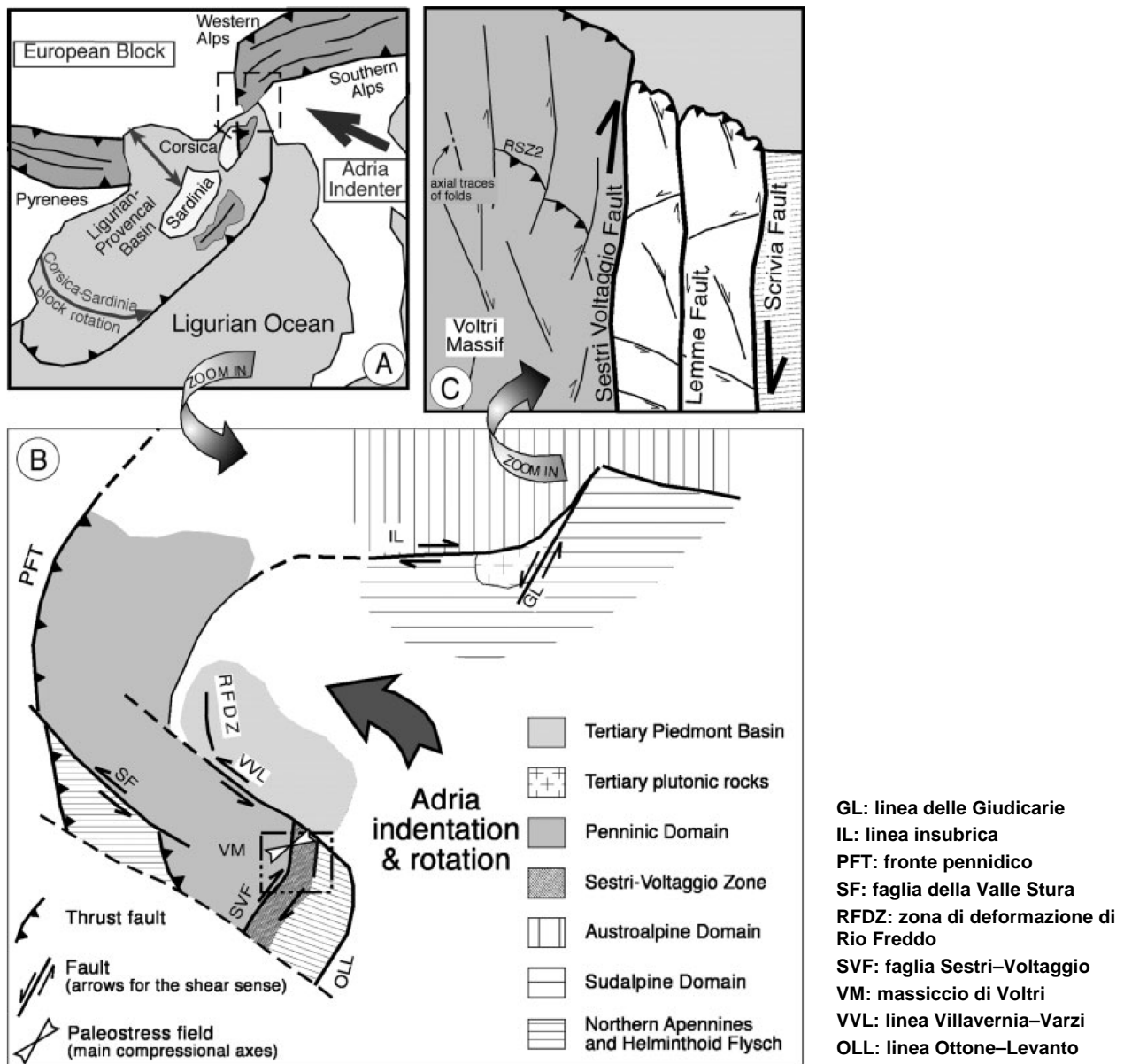


Figura 37 – A: quadro geodinamico del bacino Ligure-Provenzale tra l'Oligocene e il Miocene (da Capponi et al., 2009). B: geodinamica oligo-miocenica delle Alpi Liguri. C: schema semplificato del sistema di faglie Sestri-Voltaggio, Lemme e Scrivia, prima del completamento della rotazione delle Alpi Liguri.

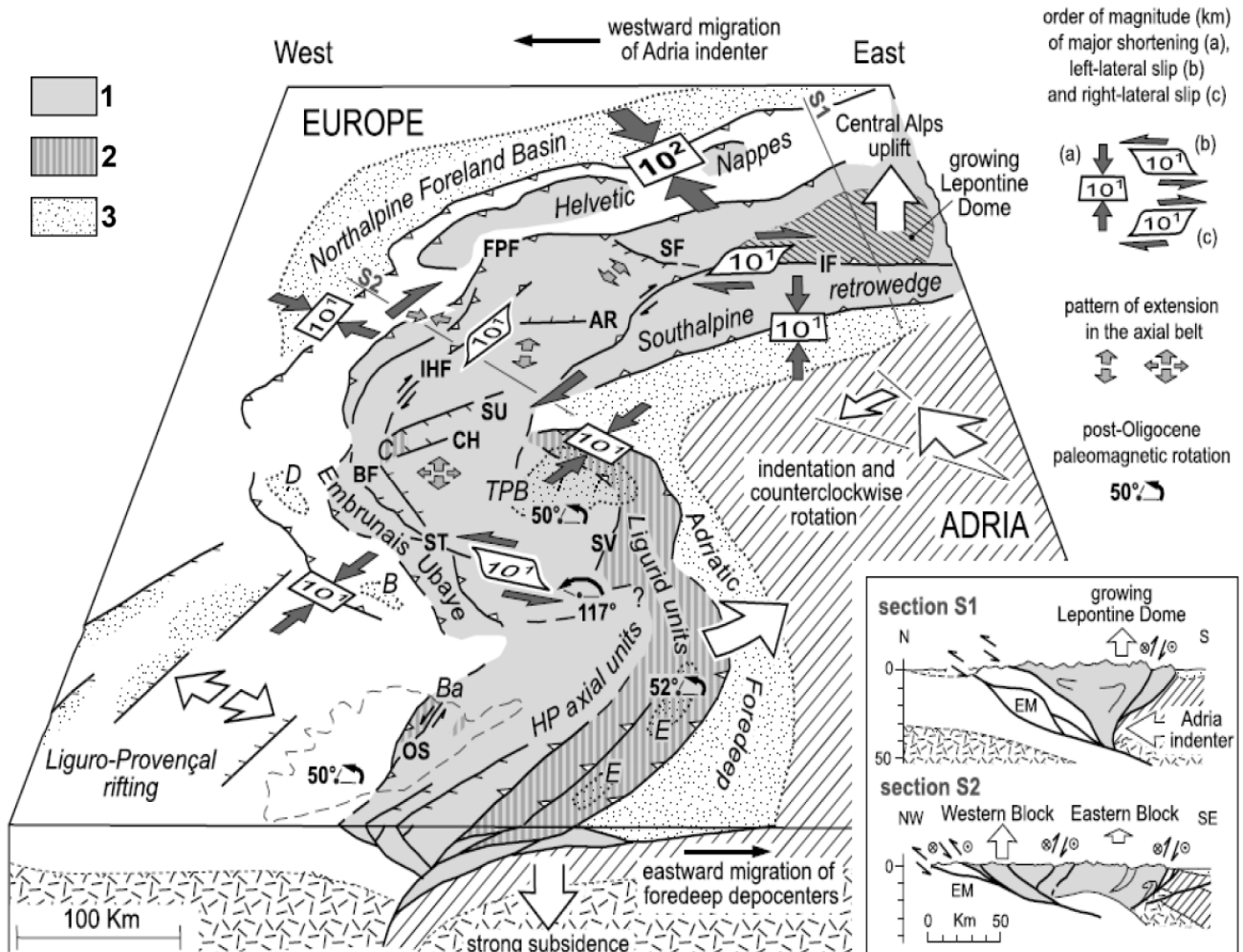


Figura 38 – Schema della ripartizione dello strain nel nodo Alpi-Appennini. Le sezioni trasversali, che mostrano i “massicci esterni” (EM) ancora in profondità, sono retrodeformate (sezione S1: dati da EGT e Traverso Orientale NRP 20; Sezione S2: dati da ECORS-CROP; sezione sul lato meridionale dello stereogramma: dati da CROP M-12A, CROP-03, CROP M-16). Da Schmid et al. (1996), Doglioni et al. (1998), Ford & Lickorish (2004), Leloup et al. (2005), Garzanti & Malusà (2008), Malusà et al. (2009) (in: Cognolato, 2012).

#### LEGENDA

1: asse Alpino, retroscorrimento sudalpino e proto-Appennino; 2: unità Liguri in facies a scisti verdi e lembi di Balagne (Ba) e Chenaillet (C); 3: bacini sedimentari: bacini di Thrust-sheet-top (B, Barrême; D, Dévoluy), bacini di foreland su crosta europea, bacini su crosta Adria e sopra alla cintura assiale (E: successioni epiliguri; TPB, Bacino Terziario Piemontese). Faglie principali: AR, Aosta-Ranzola; BF, Briançonnais; CH, Chisone; FPF, Fronte Pennidico; IF, Linea Insubrica; IHF, Fronte Houiller Interno; OS, Ostriconi; SF, Linea del Sempione; ST, Stura; SU, Susa; SV, Sestri-Voltaggio.

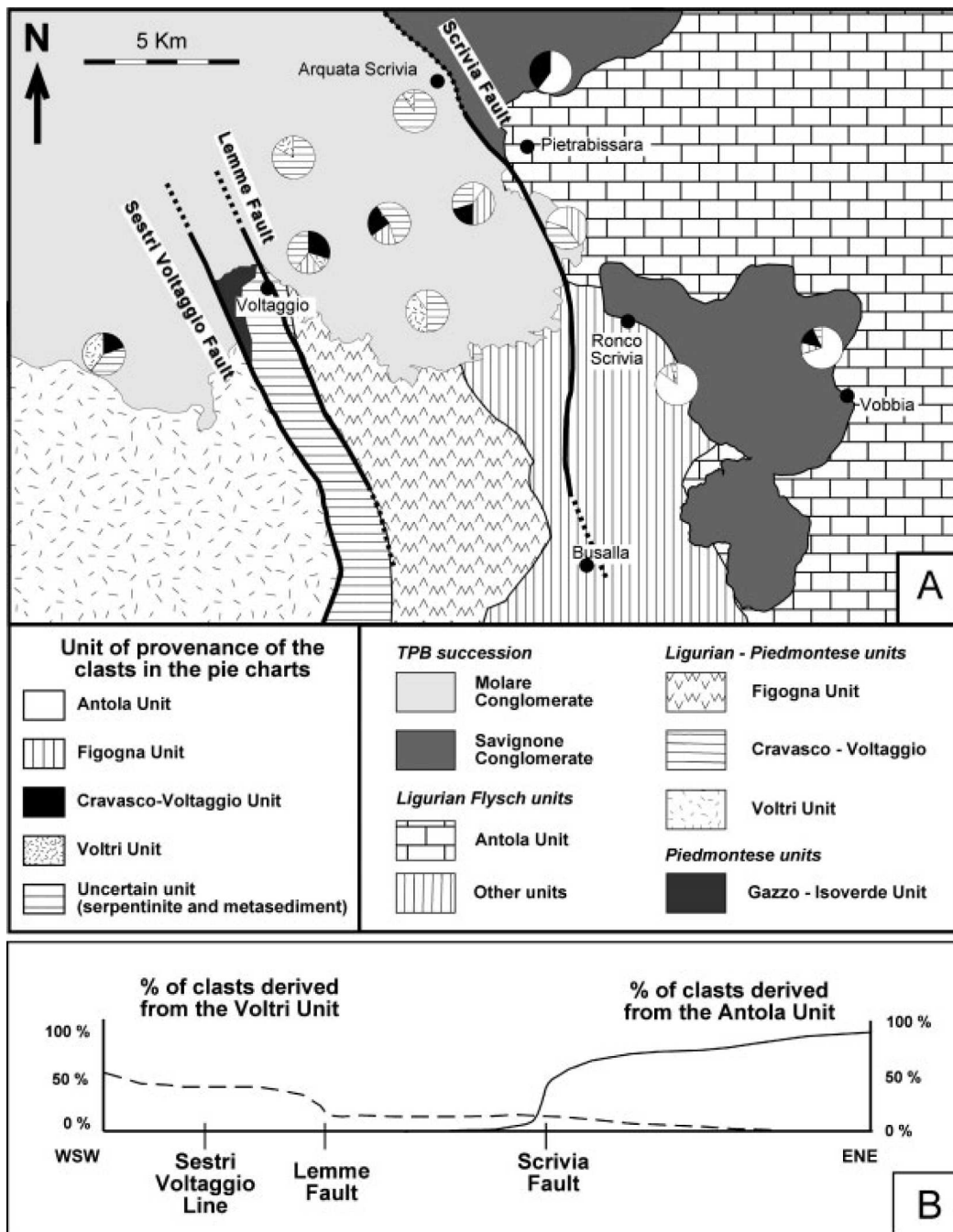


Figura 39 – A: schema geologico del settore compreso tra la Val Lemme e la Valle Scrivia con diagrammi indicanti la percentuale relativa dei vari tipi di clasti che costituiscono le successioni basali del BTP e la relativa formazione di provenienza. B: diagramma della percentuale dei clasti derivanti dalle unità Voltri e Antola in relazione alla loro localizzazione e alla posizione delle faglie principali lungo una sezione circa E-W attraverso la Valle Scrivia (da Capponi et al., 2009).



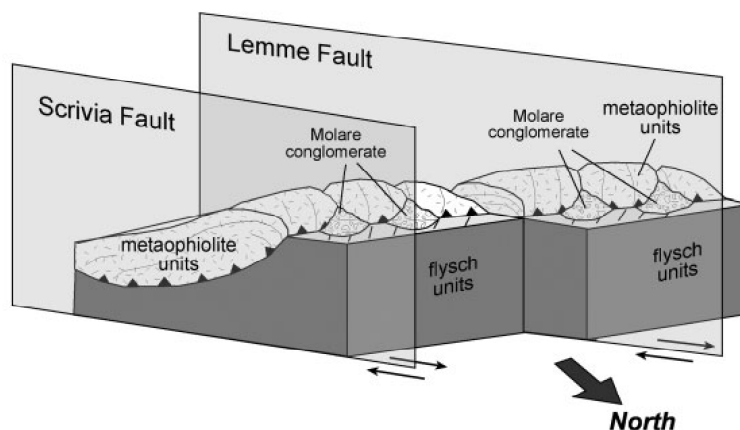


Figura 40 – Sovrascorrimento delle unità metaofiolitiche sulle unità flyschoidi e cinematica delle faglie delle valli Scrvia e Lemme. I Conglomerati di Savignone non sono rappresentati (da Capponi et al., 2009).

## 7.2 La deformazione duttile nell'unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde

Gran parte dell'evoluzione metamorfica e strutturale di quest'unità è in comune con quella dell'unità Cravasco-Voltaggio, se si trascurano alcune zone di taglio e alcune tessiture preservate nei metagabbri di quest'ultima, legate a un metamorfismo oceanico di alta temperatura che non trova corrispondenza nell'unità Gazzo-Isoverde. A partire dal picco metamorfico in facies scisti blu, comunque, le due unità seguono lo stesso percorso metamorfico e deformativo e l'insieme delle due unità costituisce una zona di taglio a scala regionale, all'interno della quale i contatti e la struttura sono condizionati da una forte deformazione a carattere traspositivo e milonitico.

All'interno di questa zona di taglio plurichilometrica, sono presenti corpi rocciosi che costituiscono dei liti relativamente meno deformati (come ad es. le Dolomie del Monte Gazzo), all'interno dei quali sono preservate strutture precedenti alla deformazione milonitica principale.

Capponi et al. (2008) presentano una tabella che riepiloga le relazioni tra deformazioni e metamorfismo, riproposta di seguito.

Fase	Evento tettonico	Strutture	Facies metamorfica	Vergenza
D1/D2	subduzione	pieghe simili da strette a isoclinali e scistosità associata	scisti blu	non determinabile
Sth	sollevamento ed esumazione delle unità metamorfiche e loro messa in posto	zone di taglio da duttili-fragili a fragili	limite tra scisti verdi e pumpellyite-actinolite	top to SSW
D3	collasso post-sollevamento	pieghe da aperte a chiuse	albite + clorite + epidoto	non determinabile
D4	<i>backthrusting</i>	pieghe aperte e faglie inverse	zeoliti	top to ENE

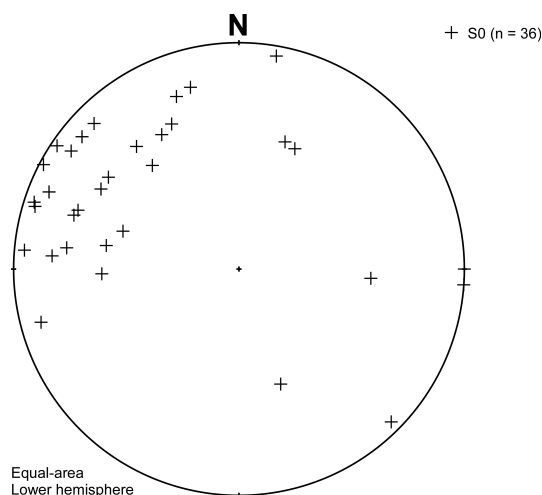
Tabella 4 – Schema delle relazioni tra deformazione, strutture e metamorfismo nelle'unità Gazzo-Isoverde e Cravasco-Voltaggio (Capponi et al., 2008).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 82 di 157

A grande scala la sovrapposizione delle varie fasi di deformazione determina geometrie complesse che comunque presentano alcuni tratti generali chiaramente riconoscibili. L'unità Gazzo-Isoverde immerge mediamente verso NE o ENE a medio-alto angolo al di sotto dell'Unità Figogna nel settore settentrionale dell'area studiata. Andando verso sud (Isoverde), come già precedentemente evidenziato, le superfici strutturali ruotano fino ad immergere verso S, probabilmente per assecondare la presenza del corpo rigido costituito dalle dolomie del Gazzo.

### 7.2.1 Le superfici litologiche primarie

Localmente, nell'area di studio sono tuttora preservate superfici litologiche primarie, corrispondenti probabilmente alla stratificazione originaria, evidenziate da alternanze di livelli con diversa colorazione. Tali superfici, definite S0 (Figura 41 e Figura 43), sono visibili soprattutto nei litotipi in cui il contenuto in fillosilicati è abbastanza basso da non determinare lo sviluppo, nelle diverse fasi metamorfiche, di una scistosità pervasiva che tende a obliterare le tracce delle strutture preesistenti. Nell'area di studio le superfici S0 meglio preservate si osservano principalmente nelle Dolomie del Monte Gazzo a tessitura massiva o debolmente scistosa.



**Figura 41 - Proiezione stereografica di Schmidt delle superfici litologiche S0 nell'area di Cravasco-Isoverde.**

### 7.2.2 Gli eventi deformativi D1/D2

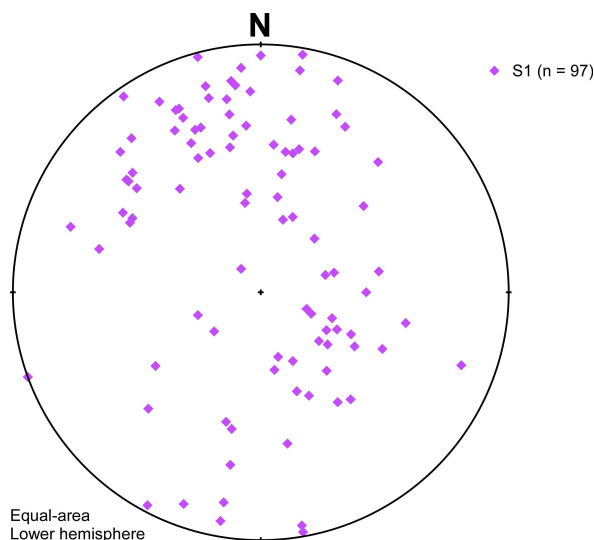
A parte le deformazioni e il metamorfismo di fondo oceanico, la deformazione più antica preservata nelle rocce del settore studiato è rappresentata da due fasi (D1/D2), talora geometricamente distinguibili, talora no, coeve con il metamorfismo in facies scisti blu e con la subduzione delle unità tettonometamorfiche a livelli crostali profondi.

Queste deformazioni, a carattere traspositivo, producono a tutte le scale pieghe isoclinali con fianchi elisi, associate a una scistosità penetrativa di piano assiale e a una scistosità milonitica concentrata lungo zone discrete di taglio duttile. Questa scistosità rappresenta la discontinuità planare più evidente in tutte le rocce dell'area di studio e può, localmente, essere differenziata sulla base dei rapporti reciproci di intersezione geometrica, in due superfici (scistosità) cronologicamente distinte e riferibili a una fase deformativa più antica (D1: Figura 42 e Figura 43) e a una fase più recente (D2: Figura 44 e Figura 45).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 83 di 157

Questa distinzione non è sempre possibile, per cui in genere si preferisce accomunare le due fasi D1/D2 sotto un unico evento, data anche l'uniformità di condizioni metamorfiche e di stile ed intensità della deformazione che le accomuna.

Quando distinguibili, le più antiche scistosità S1 mostrano una forte dispersione di orientazione, sia nel quadrante NW che nel quadrante SE, pur presentando un massimo di concentrazione per giaciture a medio angolo verso SSE (circa 160/65; Figura 42); questa dispersione è dovuta a diversi fattori: i) la sovrapposizione delle fasi di piegamento successive (D2, D3), ii) la rotazione delle strutture intorno al corpo rigido rappresentato dalle dolomie del Monte Gazzo, iii) il fatto che sia molto più facile individuare e misurare la S1 nelle zone di cerniera delle pieghe più recenti, dove naturalmente essa ha orientazioni molto variabili; in altre parole, nella maggior parte dei casi si è in grado di riconoscere la S1 solo quando questa forma una discordanza con la S2, cioè in zona di cerniera, il che potrebbe far sì che l'informazione relativa alla dispersione della S1 suggerita dal diagramma di Figura 42 sia in parte sovrastimata.



**Figura 42 - Proiezione stereografica di Schmidt delle superfici metamorfiche S1 (B) nell'area di Cravasco-Isoverde.**

Più in generale, tutte le superfici pre-D2, inclusa la S0, sono più facilmente visibili nelle zone di cerniera, dove per effetto del piegamento tali superfici vengono a formare una discordanza angolare evidente con la S2, che invece si mantiene parallela al piano assiale delle pieghe. Localmente, la sovrapposizione di cerniere di piega D1 e D2 permette di riconoscere distintamente le due fasi deformative distinte, grazie a caratteristiche figure di interferenza. Questa sovrapposizione di strutture delle fasi D1 e D2 è evidente principalmente nei litotipi carbonatici, non particolarmente ricchi in fillosilicati, che sono quindi in grado di preservare meglio le strutture più vecchie (Figura 44).

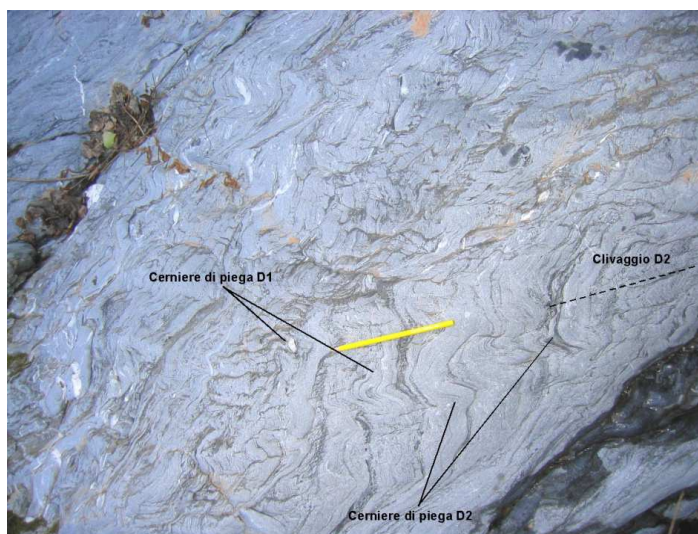
La seconda fase di deformazione traspositiva (D2) ha caratteristiche sostanzialmente analoghe alla fase D1 e determina lo sviluppo di zone di taglio duttile con formazione di miloniti e ultramiloniti mineralizzate a calcite; alla deformazione milonitica penetrativa, viene comunemente riferita la genesi dei principali contatti tettonici tra le unità affioranti nell'area, in particolare tra l'unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde e le adiacenti unità Cravasco-Voltaggio e Figogna.



**Figura 43 – Pieghe isoclinali a fianchi parallelizzati (“tipo 3” di Ramsay, 1967) riferibili alla fase deformativa D1 nei calcari di Voltaggio. In questo caso, la superficie piegata è probabilmente una S0.**

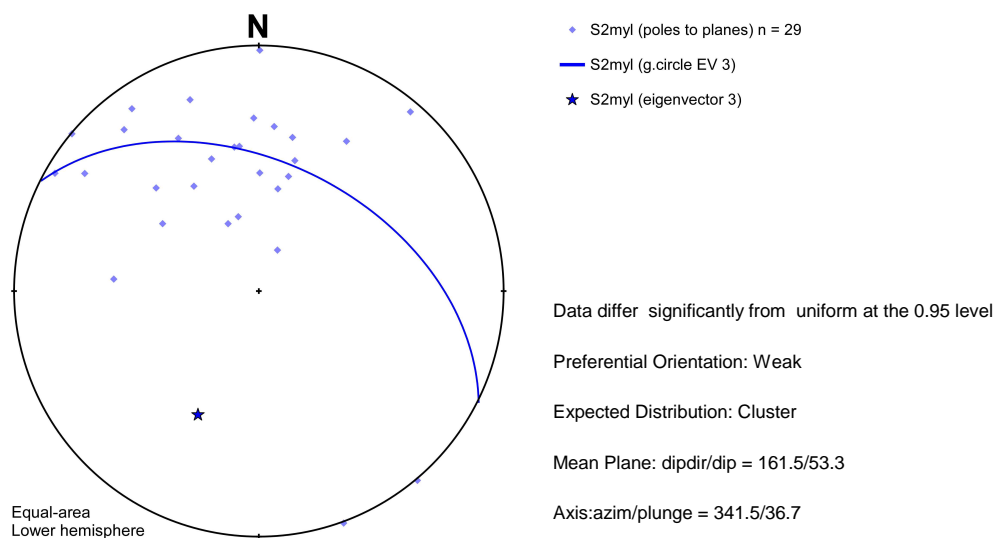
La scistosità S2 milonitica (Figura 45) è accompagnata da pieghe da serrate a isoclinali traspositive, che tendono a parallelizzare tutte le superfici preesistenti; all'interno delle zone di taglio milonitico principali la trasposizione è penetrativa, tale da non permettere più di distinguere tra le superfici S2 e le superfici preesistenti.

Nella zona di studio, le scistosità e piani assiali S2 hanno immersione media 180/50, con valori che ruotano fino a 130/85 Figura 45; la variazione di direzione dell'immersione è in parte dovuta a una progressiva rotazione della scistosità attorno al corpo rigido delle Dolomie del Monte Gazzo che fa sì che la scistosità S2 passi da immersioni prevalentemente verso S nel settore meridionale dell'area, a immersioni prevalentemente verso SE e E nel settore settentrionale. La variabilità della giacitura è anche determinata dai piegamenti relativi alla fase deformativa D3: l'involuppo medio della S2 milonitica ruota attorno a un asse medio (A3 teorico) rappresentato dal polo “eigenvector 3” in Figura 45, con giacitura 340/37.



**Figura 44 – Figure di interferenza tra pieghe isoclinali di fase D1 e pieghe serrate di fase D2 nei calcari di Gallaneto, unità Cravasco-Isoverde.**





**Figura 45 - Proiezione stereografica di Schmidt delle superfici metamorfiche S2 a carattere milonitico traspositivo nell'area di Cravasco-Isoverde. È indicato il cerchio massimo che rappresenta l'involuppo medio di tutte le giaciture (g.circle EV3) nonché il suo polo (eigenvector 3), con orientazione 340/37.**

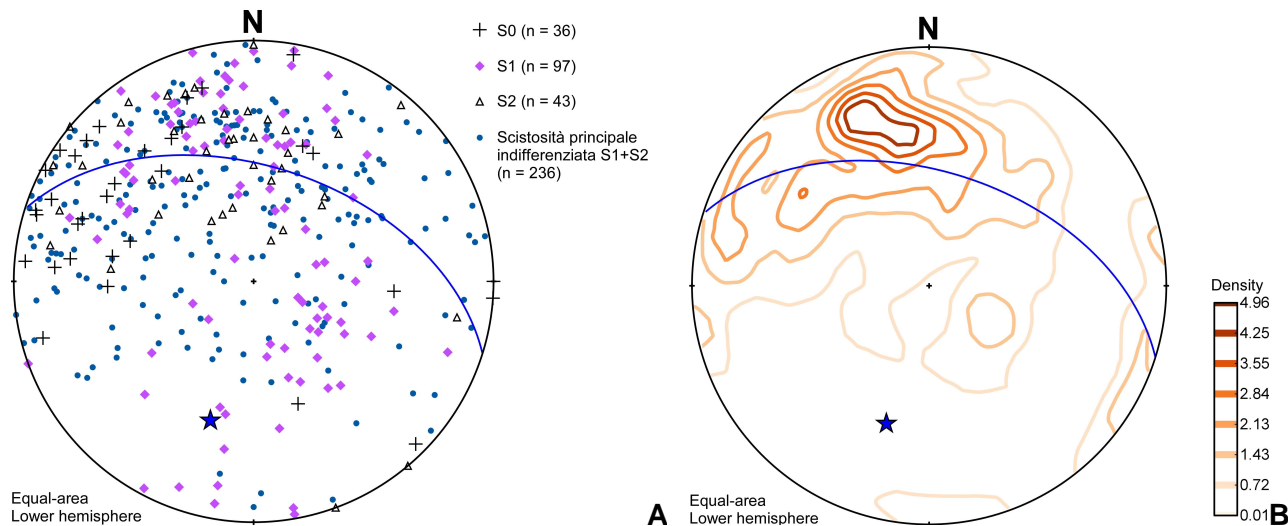
Gli assi delle pieghe di fase D2 sono fortemente dispersi, principalmente a causa del loro carattere non cilindrico. La curvatura degli assi si coglie anche alla scala dell'affioramento, ove talora si osserva una rotazione fino a 70-80°, mentre la giacitura della foliazione di piano assiale S2 rimane invariata. Si possono comunque individuare due direzioni di immersione preferenziali degli assi di piega D2, cioè i) a basso/medio angolo verso NE o verso SW e ii) a basso/medio angolo verso SE.

Anche al di fuori delle zone di taglio milonitico principali, comunque, la deformazione D2 è in grado di determinare la trasposizione di tutte le superfici preesistenti, in particolar modo nei litotipi più fillosilicatici, nei quali si genera una foliazione di piano assiale S2, indistinguibile dalla S1 ad essa subparallela (Figura 46). Nelle rocce ricche in fillosilicati quindi (argilloscisti, micascisti) l'insieme delle strutture riferibili alle fasi D1 e D2 forma un'associazione strutturale composita D1/D2.



**Figura 46 – Pieghe da serrate a isoclinali di fase D2 negli argilloscisti neri dell'unità Gazzo-Isoverde. La foliazione esterna, pervasiva, è una SP (2+1), indistinguibile dalla precedente S1.**

Alla luce di tutte le considerazioni sopra esposte, quando non è possibile distinguere chiaramente tra le due diverse superfici, si è adottata la notazione di “scistosità principale indifferenziata”, indicata con la sigla “SP” (SP = S1+S2).



n = 432

Data do not differ significantly from uniform at the 0.95 level

Expected Distribution: Cluster

Preferential Orientation: None

Mean Plane: dipdir/dip = 155.3/48.1

Axis:azim/plunge = 335.3/41.9

**Figura 47 - Proiezioni stereografiche di Schmidt del totale delle superfici metamorfiche S1+S2+SP nell’area di Cravasco-Isoverde. È indicato il cerchio massimo che rappresenta l’involuppo medio di tutte le giaciture (g.circle EV3) nonché il suo polo (eigenvector 3), con orientazione 335/42. A: campo totale dei poli dei piani; B: contour di isodensità.**

### 7.2.3 Caratteri litologici e strutturali delle zone milonitiche sin-D2

#### 7.2.3a Settore Cravasco-Isoverde

Dal punto di vista litologico, le fasce milonitiche associate alle zone di taglio duttile di fase D2 sono molto eterogenee; nel settore tra Cravasco e Isoverde sono in gran parte costituite da meta-argilliti riferibili agli scisti filladici del Monte Larvego (Figura 48) e, in misura minore, alle meta-argilliti di Bessega (Figura 50). Rispetto agli stessi litotipi non milonitici, le miloniti presentano strutture di piegamento fortemente trasposte, talora completamente elise, cui si associa una nuova foliazione che spesso oblitera completamente il fabric pre-milonitico.

L’effetto della deformazione milonitica non induce un evidente cambiamento nell’aspetto generale delle meta-argilliti non milonitiche, che già originariamente sono litotipi dotati di una scistosità molto pervasiva. All’interno delle zone di taglio duttile sono però più frequenti facies di aspetto tegulare (filloniti, Figura 48), con scistosità definita da un layering metamorfico submillimetrico, all’interno del quale sono visibili rarissime cerniere di pieghe intrafoliali alla mesoscala (Figura 49). Il carattere più distintivo è rappresentato dalla sporadica presenza di livelletti o lenti centimetrico-decimetriche di serpentinoscisti o di metabasiti scistose.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 87 di 157



**Figura 48 – Facies milonitica (filloniti) negli scisti filladici del Monte Larvego; si noti la pervasività della foliazione che presenta una partizione planare da millimetrica a submillimetrica.**



**Figura 49 - Pieghe isoclinal traspositive di fase D2 negli argilloscisti neri di una fascia milonitica duttile nella valle del Rio Gallaneto.**

Le meta-argilliti nere (meta-argilliti di Bessega) milonitizzate sono simili ai litotipi indeformati, rispetto ai quali presentano una scistosità più pervasiva e una sostanziale assenza di pieghe chiaramente riferibili alla fase D2 sin-milonitica (Figura 50). Al loro interno sono piuttosto frequenti livelli di serpentinoscisti, che ne attestano il carattere milonitico, trattandosi di elementi alloctoni in questo tipo di rocce metasedimentarie; ciò considerato, non è da escludere quindi che all'interno di queste meta-argilliti nere milonitiche si trovino anche lenti di meta-argilliti provenienti dalle altre unità.

All'interno delle miloniti sono molto frequenti lenti decametrico-ettometriche (litoni) di litotipi più competenti delle meta-argilliti, la cui distribuzione è del tutto casuale; si riconoscono litotipi carbonatici (riferibili sia ai Calcari di Gallaneto sia ai Calcari di Voltaggio), evaporitici (anidriti, gessi e carniole della formazione del Rio Riasso) o basici-ultrabasici (metabasalti, serpentiniti, ecc.), come testimoniato sia da osservazioni di superficie che dai sondaggi eseguiti all'interno della zona



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00

Foglio  
88 di  
157

milonitica. Di questi litoni fanno parte le numerose lenti di gesso che sono state in passato oggetto di coltivazione nella zona di Isoverde.

Nella cartografia geologica di progetto, all'interno delle fasce milonitiche sono stati distinti i litoni di maggiori dimensioni, tra cui i) lenti ettometriche di meta-argilliti nere milonitizzate di pertinenza dell'unità Gazzo-Isoverde, ii) lenti di metabasalti milonitici di provenienza incerta (unità Cravasco-Voltaggio o Figogna) e iii) lenti di serpentiniti.

I metabasalti milonitici presentano un layering millimetrico-centimetrico dato da livelli più o meno feldspatici, associati a frequenti livelli carbonatici o carbonatico-anfibolici, con tipica tessitura flaser. Rispetto alle facies di metabasiti non milonitiche, queste rocce mostrano una lineazione di stiramento più marcata e abbondanti livelli scistosi anfibolico-micacei. Le serpentiniti coinvolte nella deformazione milonitica assumono un aspetto estremamente scistoso (serpentinoscisti) con tipica struttura a clivaggi anastomosati (Figura 51).



**Figura 50 – Facies milonitica delle meta-argilliti di Bessega; anche in questo caso si nota una scistosità estremamente pervasiva.**



**A**



**B**

**Figura 51 – Facies milonitica sviluppata in litotipi serpentinitici, con presenza di clivaggi anastomosati (A) e foliazione fortemente pervasiva (B).**



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 89 di 157</p>

Come precedentemente accennato, nella zona compresa tra Cravasco e Isoverde, la sovrapposizione delle varie fasi di deformazione fa sì che, a grande scala, nel settore settentrionale dell'area, l'unità Gazzo-Isoverde immerga mediamente verso NE o ENE a medio-alto angolo al di sotto dell'unità Figogna; verso sud (Isoverde), le superfici strutturali ruotano ad immergere in direzione S, probabilmente per assecondare la presenza del corpo rigido costituito dalle Dolomie del Monte Gazzo.

Le unità Gazzo-Isoverde e Figogna sono separate da una fascia milonitica D2, con struttura a scaglie; la distribuzione dei fenomeni di deformazione milonitica in questa fascia è molto eterogenea: consistenti spessori di miloniti si sviluppano soprattutto a carico degli scisti filladici del Monte Larvego, in prossimità del contatto con l'unità Figogna. Questi scisti sono praticamente sempre dei litotipi in facies milonitica, ma al loro interno l'intensità della deformazione è comunque molto variabile; le miloniti derivate dagli scisti filladici in alcuni settori possono raggiungere potenze dell'ordine dei 200 m, senza che al loro interno compaiano scaglie tettoniche non milonitiche.

Sul bordo ovest della fascia di deformazione duttile, le miloniti si sviluppano invece principalmente a carico delle meta-argilliti di Bessega; anche in questo caso le rocce milonitizzate possono presentare spessori piuttosto consistenti, dell'ordine di 50-100 m, senza l'interposizione di scaglie non milonitiche.

Longitudinalmente, lungo *strike*, le fasce milonitiche, soprattutto nelle meta-argilliti di Bessega, presentano forti variazioni di spessore e talora si riducono a semplici piani di scorrimento di spessore metrico o plurimetrico, che separano scaglie meno deformate di spessore pluridecamentrico.

Il contatto milonitico tra le due unità, di fase D2, è quasi ovunque più o meno intensamente deformato da pieghe riferibili alla successiva fase D3, che ne determinano verticalizzazioni e localmente anche rovesciamenti.

### 7.2.3b Settore Serra-Panigaro

Il contatto tra le unità Gazzo-Isoverde e Figogna è stato osservato anche presso la costa, all'estremo limite meridionale dell'areale di affioramento dell'unità Gazzo-Isoverde, lungo il fondovalle del Fosso Bianchetta, nell'immediato entroterra di Genova (località Serra e Panigaro). In questo settore, la deformazione duttile si esprime attraverso lo sviluppo di diverse zone di shear duttile sin D1/D2.

Le zone di taglio duttile D1/D2 determinano la strutturazione a scala regionale delle unità affioranti nel settore; rispetto al settore descritto nel paragrafo precedente, dove ad essere coinvolti nella deformazione milonitica sono principalmente i litotipi argillitici delle formazioni di Bessega e del Monte Larvego, in questo settore ad essere coinvolte nella deformazione sono soprattutto le metabasiti e metaultrabasiti dell'unità Figogna, quindi essenzialmente le serpentiniti e metaperidotiti del Bric dei Corvi e i metabasalti del Monte Figogna e, in misura minore, gli scisti calcarei dell'unità Gazzo-Isoverde (calcari di Gallaneto).

La principale di queste zone di taglio, non tanto per le dimensioni quanto per il ruolo che svolge, separando fisicamente l'unità Gazzo-Isoverde dall'unità Figogna, corre lungo il fondovalle del Fosso

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 90 di 157

Bianchetta, affiorando sporadicamente lungo l'alveo del rio; essa è evidenziata da una fascia metrica o plurimetrica di mélange tettonico a serpentinoscisti milonitici e carniole (Figura 52), con litoni decimetrico-metrici di roccia relativamente meno deformata, circondati da zone di taglio di spessore decimetrico. I serpentinoscisti sono in contatto duttile saldato con scisti calcarei milonitici (calcarei di Gallaneto), con l'interposizione di un livello calcareo massivo, boudinato per effetto dello strain (Figura 16).

Anche i calcarei di Gallaneto adiacenti al contatto sono interessati per alcune decine di metri almeno da una deformazione duttile traspositiva, che localmente assume il carattere di una deformazione milonitica; le facies affioranti a ridosso del contatto tettonico presentano una tessitura laminata pervasiva con spaziatura millimetrico-centimetrica, localmente con cerniere di pieghe isoclinali centimetriche trasposte sin-D1/D2 (Figura 15).



**Figura 52 –** Strutture di tipo S-C (schistosity-cleavage) in serpentinoscisti milonitici isolano litoni centimetrico-decimetrici di roccia meno deformata al contatto tettonico tra le unità Figogna e Gazzo-Isoverde; alveo del Fosso Bianchetta, a monte della borgata Serra (GE).



**A** **B**  
**Figura 53 – A:** Contatto tettonico tra le unità Figogna e Gazzo-Isoverde, alveo del T. Chiaravagna a monte della borgata Serra. **B:** dettaglio della foto precedente: si notano fratture estensionali perpendicolari al piano di taglio, con riempimento di calcite bianca



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 91 di 157

Un'altra importante zona di taglio duttile, con andamento N-S parallelo al contatto tettonico principale, si può seguire all'interno dell'unità Figogna dal fronte della vecchia cava di serpentiniti di Serra verso sud, in direzione di Panigaro; la zona di taglio affiora in corrispondenza della stradina che attraversa la parte alta del versante (Via Cassinelle) e mette in contatto masse allungate di metabasalti, serpentinoscisti e metaperidotiti serpentinite, in parte con tessiture mantelliche preservate.

Nei litotipi serpentinitici è caratteristico lo sviluppo pervasivo di superfici composite di tipo S-C (schistosity-cleavage), tipico delle zone di taglio milonitico, che originano strutture a losanga definite dall'intersezione di due sistemi di piani duttili coniugati e a basso angolo di intersezione reciproca (Figura 52, Figura 55).



**Figura 54 – Scisti calcarei di Gallaneto a tessitura laminata derivante da un'intensa trasposizione di tipo milonitico sin-D1/D2. Affioramenti lungo Via Chiaravagna in località Serra (GE).**



**Figura 55 – Strutture di tipo S-C isolano litoni decimetrico-metrici di roccia meno deformata in metaperidotiti massive serpentinitizzate; Via Cassinelle, a monte della borgata Serra (GE).**

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 318"> <tr> <td>Foglio 92 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 92 di 157
Foglio 92 di 157		

Zone di taglio minori bordano i contatti tra le principali masse di metabasalti e le serpentiniti dell'unità Figogna. Diversi sondaggi eseguiti in asse alla galleria di Panigaro o lungo il fondovalle hanno attraversato fasce di deformazione tettonica riconducibili a piani di taglio con riattivazione cataclastica; tra questi, in particolare, l'SL4 e l'SL60.

Le zone di shear duttile hanno una direzione prevalente nord-sud, direzione alla quale si allineano i contatti tra litotipi e tra unità tettonometamorfiche. La scistosità regionale, ben sviluppata principalmente nei serpentinoscisti, negli argilloscisti e nei calcari foliati, immerge ad alto angolo verso est in tutto il prossimo al contatto tettonico, con locali rovesciamenti, sempre ad alto angolo, verso ovest; allontanandosi verso E rispetto al contatto, in direzione della dorsale del M. Figogna, la scistosità milonitica tende ad immergere verso est con angoli progressivamente decrescenti, fino a disporsi quasi suborizzontale in corrispondenza dello spartiacque; questo potrebbe essere sia un effetto di pieghe aperte a largo raggio riferibili alla fase D3, sia un effetto della strutturazione a fiore positivo che caratterizza a scala regionale la Zona Sestri-Voltaggio.

Successive riattivazioni delle fasce milonitiche sin-metamorfiche, in regime deformativo duttile-fragile, hanno localmente determinato lo sviluppo di fasce cataclastiche che sfruttano come linea di debolezza i piani preesistenti

#### 7.2.4 Zone di taglio post-D1/D2

Secondo quanto riportato da Capponi et al. (2008), le pieghe D1/D2 sarebbero tagliate da zone di *shear* da duttile-fragile a fragile, con cinematismo inverso, che si svilupperebbero in facies scisti verdi di basso grado, al passaggio verso la facies pumpellyite-actinolite; gli autori attribuiscono queste strutture alla fase di sollevamento ed esumazione delle unità tettonometamorfiche; Crispini (1996) individua nelle zone di taglio un senso di movimento "top to S-SW". Nell'ambito del presente studio queste zone di taglio non sono state differenziate, in quanto esse sono riconoscibili principalmente su base petrografica.

#### 7.2.5 L'evento deformativo D3

Alle deformazioni più antiche segue una fase D3, che Capponi et al. (2008) riferiscono al collasso della catena successivo al sollevamento; questa fase deforma sia la scistosità principale (S1+S2), sia le zone di taglio milonitico al contatto tra le unità.

Come precedentemente accennato, l'involuppo delle giaciture della scistosità S2 milonitica mostra una rotazione attorno a un asse medio con immersione verso SW (Figura 45). Lo stesso asse medio si riscontra proiettando anziché la sola S2, l'insieme di tutte le superfici metamorfiche pre-D3, quindi S0, S1 e S2; in questo secondo caso la nuvola dei poli dei piani è molto più dispersa, tuttavia è ancora possibile identificare una rotazione attorno a un asse immergente verso SW (Figura 47), che coincide abbastanza bene con almeno una parte degli assi di piega misurati sul terreno e riferiti alla deformazione D3 (Figura 56).

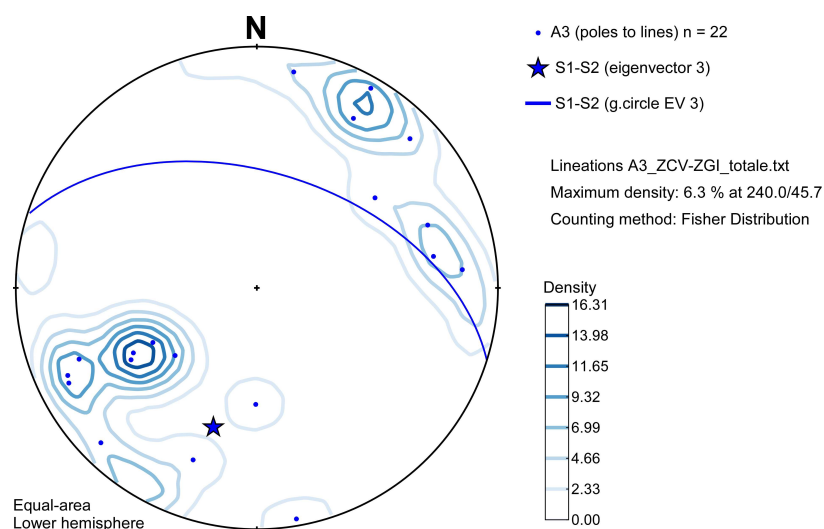
La fase D3 genera pieghe da aperte a chiuse, con assi diretti NE-SW, fino a ESE-WNW (Figura 56) e piani assiali immergenti a basso-medio angolo verso SE, sviluppate in condizioni di bassa pressione (associazioni ad albite + clorite + epidoto).



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 93 di 157

Nel settore tra Cravasco e Isoverde gli assi A3 mostrano una dispersione spaziale significativa, disponendosi da circa E-W intorno a Isoverde, a circa N-S procedendo verso il Passo della Bocchetta. In effetti la deformazione D3 è costretta in parte ad adattarsi alla geometria delle strutture preesistenti ed è condizionata soprattutto dalla presenza delle Dolomie del Monte Gazzo, che rispetto alle meta-argilliti circostanti formano un corpo molto più rigido. Il litone di dolomie, all'epoca dello sviluppo della fase D3, disponeva già di una strutturazione pregressa, legata alle fasi di piegamento e di taglio duttile precedenti, principalmente alla D2, con una progressiva rotazione delle direzioni della scistosità milonitica regionale attorno al corpo di dolomie; le pieghe aperte D3 si sono quindi adattate in parte a questa strutturazione geometrica preesistente, sviluppandosi in modo più armonico nel settore nord (alto bacino del Rio Gallaneto), dove gli assi sono diretti preferenzialmente NE-SW e in modo più disarmonico e discontinuo nel settore sud, dove prevalgono assi con direzioni circa E-W.

Alle pieghe D3 sono spesso associate zone di taglio inverso a medio angolo, a carattere duttile-fragile, osservabili alla mesoscala in numerosi affioramenti, mentre in genere non affiorano strutture cartografabili a scala regionale. Queste zone di taglio sin-D3 potrebbero accomodare componenti di movimento transpressivo, con senso di accavallamento verso NE o verso SW.



**Figura 56 - Proiezione stereografica di Schmidt degli assi delle pieghe di fase D3 nell'area di Cravasco-Isoverde. Sono indicati il polo (Eigenvector 3) e il cerchio massimo dell'involuppo di tutte le giaciture della foliazione regionale (S1+S2) (335/42; cfr anche Figura 47).**

### 7.2.6 L'evento deformativo D4

La deformazione più recente, D4, non mostra riattivazioni metamorfiche significative, se non la locale ricristallizzazione di zeoliti, calcite e quarzo. Le pieghe D4 hanno caratteristiche simili alle pieghe D4 delle unità Voltri e Palmaro-Caffarella, con cui possono essere correlate (Capponi et al., 2008). Si tratta in generale di blande ondulazioni a tutte le scale, spesso molto difficili da individuare sul terreno, a meno che non sia possibile individuare una chiara sovrapposizione con strutture D3. In alcuni casi si osservano kink bands centimetriche o pieghe a scatola o con angoli acuti tipo "chevron", che deformano la foliazione sui fianchi di pieghe D3, ma in generale si tratta di strutture non molto frequenti.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 318"> <tr> <td>Foglio 94 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 94 di 157
Foglio 94 di 157		

## 7.3 La deformazione duttile nell'unità tettonometamorfica Figogna

### 7.3.1 Gli eventi deformativi D1 e D2

Nell'unità Figogna le deformazioni più antiche sono coeve con un metamorfismo in facies pumpellyite-actinolite e sono costituite da pieghe simili, isoclinali e a guaina, cui si associa una scistosità pervasiva di piano assiale, che costituisce la scistosità principale osservabile sul terreno (fase D1).

Alcuni pattern di interferenza rivelano una seconda generazione di pieghe, analoghe alle precedenti (fase D2); come nell'unità Gazzo-Isoverde, in assenza di strutture di sovrapposizione, la distinzione tra i due eventi è pressoché impossibile, poiché la scistosità associata alla D2 è parallela alla scistosità sin-D1; si crea così un *fabric* composito D1/D2 (o "scistosità principale", SP) che ingloba le scistosità D1 e D2, così come tutte le superfici preesistenti, tra cui la superficie litologica S0. I limiti stratigrafici originari sono quindi per lo più trasposti, anche se localmente possono ancora essere riconosciuti i reciproci rapporti stratigrafici.

I contatti tra i diversi litotipi all'interno dell'unità Figogna sono, nella gran parte dei casi, parallelizzati alla scistosità composita SP, la cui giacitura ha una direzione media circa N-S, a scala regionale; gli assi di piega D1/D2 sono dispersi sulle superfici della SP.

### 7.3.2 L'evento deformativo D3

La successiva deformazione D3 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); l'analisi cinematica condotta dagli autori citati suggerisce per l'evento D3 una direzione regionale di raccorciamento finito con direzione NW-SE. Il metamorfismo associato alla fase D3 è ridotto o nullo.

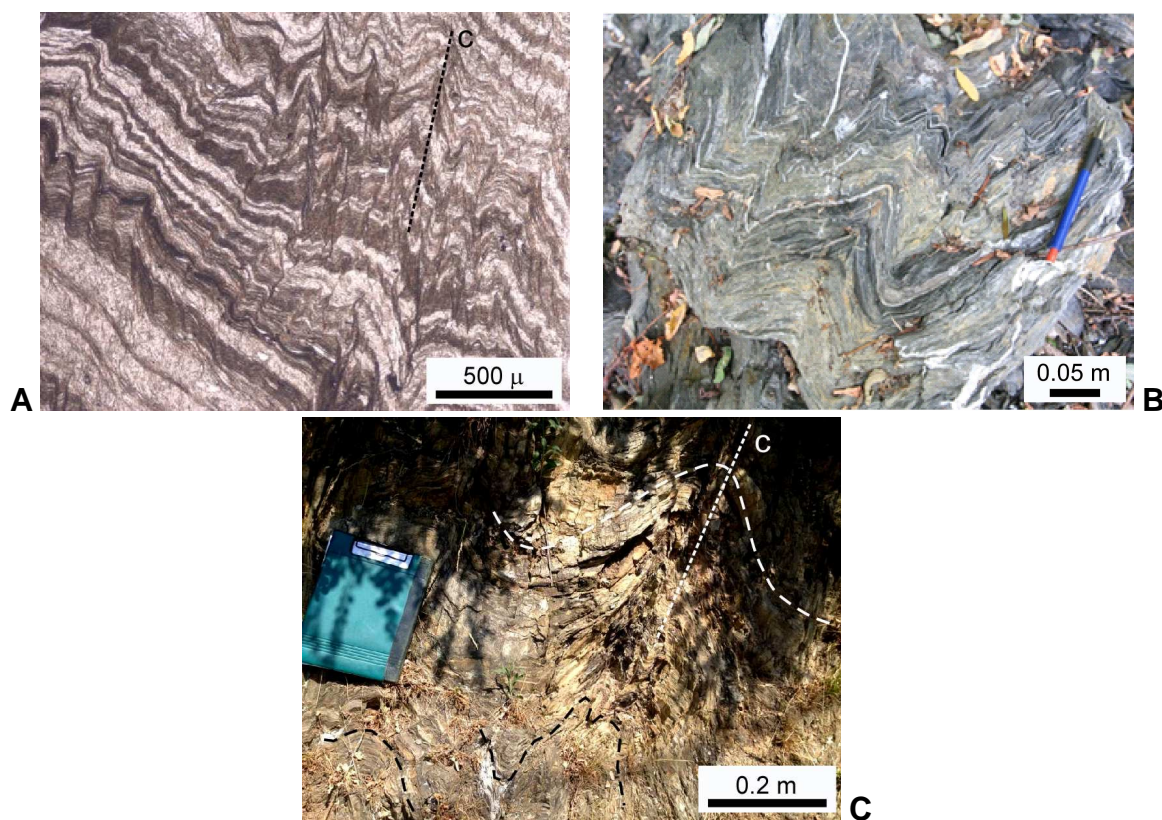
La fase D3 si esprime nell'unità Figogna attraverso pieghe aperte da submillimetriche a pluriometriche, con assi suborizzontali o poco inclinati, sia verso NNE che verso SSW, e con piani assiali mediamente immergenti tra E e SE. I piani assiali D3 sono definiti di un clivaggio spaziato (Figura 57), che localmente può costituire una vera e propria scistosità (SP+1, o S3) che oblitera quasi completamente la SP preesistente.

Ai piani assiali D3 si possono associare, soprattutto lungo i fianchi rovesci e in zona di cerniera, zone di taglio duttile-fragile a medio-basso angolo, immergenti tra E e SE e con cinematismo inverso.

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.

La scistosità composita SP, con orientazione relativamente dispersa, nel complesso si dispone intorno a un asse con direzione media da NNW-SSE (Figura 58) a N-S (Figura 59). Come accennato, le pieghe D3 sono pervasive e interessano l'ammasso roccioso a tutte le scale; la figura seguente illustra bene questo aspetto e mette anche in evidenza la coerenza geometrica delle strutture, che sono sempre identiche, a qualunque scala le si osservi.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 95 di 157



**Figura 57 –** Espressioni del piegamento legato alla fase D3 a scale diverse. **A:** sezione sottile di argiloscisti di Murta; **B:** affioramento di argiloscisti di Costagiutta presso Cascina Carbonasca (Vologno); **C:** affioramento di argiloscisti nella zona del Rio Trasta (GE). In A e B si nota un clivaggio di piano assiale (c) che si sviluppa in zona di cerniera, assente nell'affioramento C.

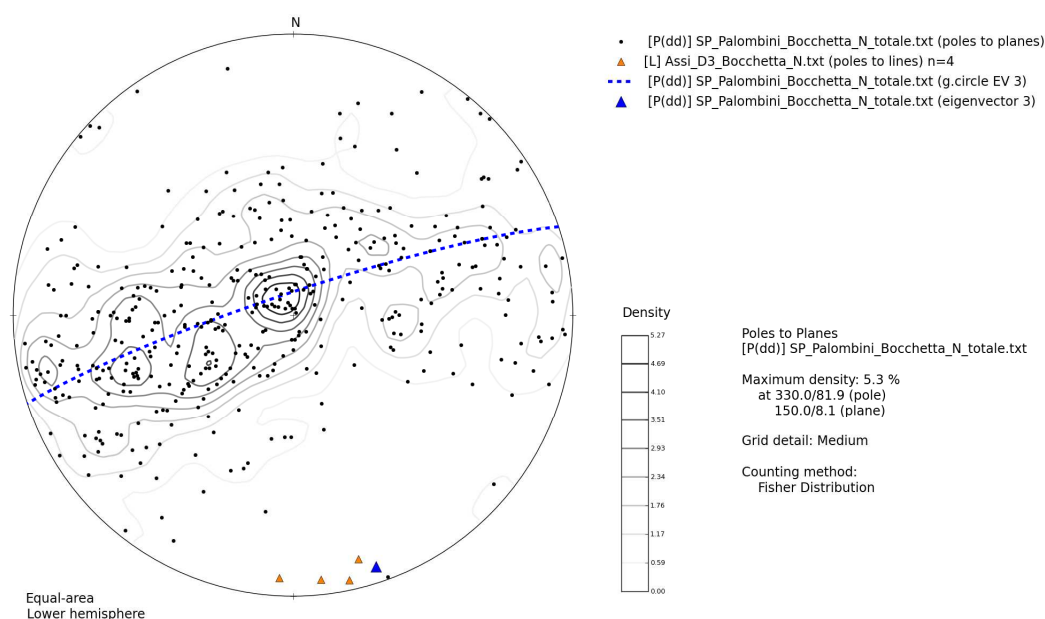
L'analisi strutturale dei dati di terreno, relativi soprattutto alla formazione delle Argille a Palombini, che tra quelle che compongono l'unità Figogna è quella maggiormente interessata dagli scavi di linea, mette in evidenza la disposizione spaziale degli elementi strutturali sopra descritti, alla scala dell'intera area di studio, come si può osservare dai diagrammi di Schmidt delle figure seguenti.

Nel settore della media e bassa Val Polcevera (Figura 59), l'involuppo delle giaciture della SP identifica un asse di piega teorico con giacitura 178/18; lo strike medio della SP è quindi N-S, mentre la giacitura media della scistosità è di circa 20-30° verso E; si può ritenere che questa giacitura media identifichi i fianchi lunghi di pieghe D3 asimmetriche con vergenza W, mentre i fianchi corti, rovesciati, sono individuati da giaciture tendenti a verticalizzarsi (70-80° verso E).

A nord del P.so della Bocchetta (Figura 58), l'involuppo delle giaciture della SP identifica un asse di piega teorico con giacitura 162/6; lo strike medio della SP è quindi NNW-SSE. Anche in questo caso, la giacitura della SP permette di individuare come motivo strutturale dominante la presenza di pieghe D3 asimmetriche con vergenza WSW: la giacitura media della scistosità (fianchi lunghi) è quasi suborizzontale, o di pochi gradi verso ENE, mentre i fianchi corti delle pieghe D3 immergono in media di 60-70° verso ENE. Rispetto alla Val Polcevera questo sembrerebbe indicare una generale riduzione dell'inclinazione media dei piani assiali D3.

In tutti e due i diagrammi si nota come gli assi D3 teorici individuati dall'involuppo della SP si accordano bene con gli assi di piega D3 effettivamente misurati in affioramento; confrontando la

giacitura del *best-fit girdle* nei due diagrammi, si nota come a N del Passo della Bocchetta si verifichi una rotazione dello strike della scistosità regionale di circa 15-20° verso W, rispetto al settore ligure; la stessa rotazione interessa gli assi di piega D3. Ciò riflette in definitiva la diversa direzione strutturale regionale dell'unità tettonometamorfica Figogna, che è circa N-S in Val Polcevera e circa NNW-SSE in territorio piemontese, come si può vedere dallo schema tettonico regionale (Capitolo 1).



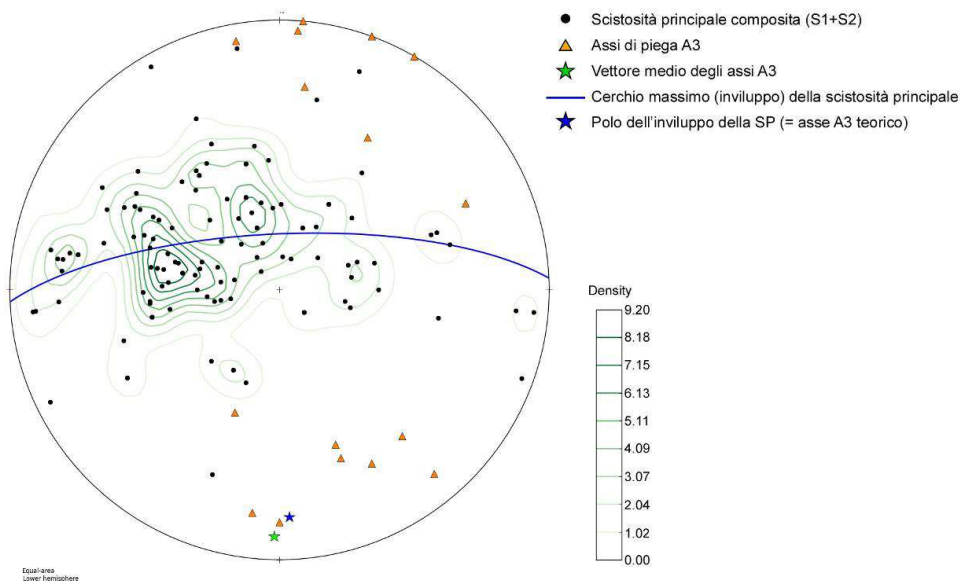
file: [P(dd)] SP_Palombini_Bocchetta_N_totale.txt n = 402 Data do not significantly from uniform at the 0.95 level	Expected Distribution: Girdle Preferential Orientation: None	Fold Axis (eigenvector3): azim/plunge = 161.7/6.4 Best-fit Girdle: dipdir/dip = 341.7/83.6
file: [L] Assi_D3_Bocchetta_N.txt n = 4 There are too few points to test significance	Expected Distribution: Cluster Preferential Orientation: Strong	Axis (eigenvector 1) azim/plunge = 172.5/7.0

**Figura 58 – Proiezione stereografica di Schmidt (emisfero inferiore) della giacitura della scistosità principale (SP) e degli assi di piega A3 (triangoli arancioni) negli argilloscisti aP del settore a nord del Passo della Bocchetta. Il triangolo blu è il polo del cerchio massimo che meglio approssima l'involuppo della scistosità.**

Secondo Capponi et al. (2008), alla fase D3 sarebbe da correlare, sul fianco destro della Val Polcevera, una piega sinforme chilometrica, in realtà un'anticlinale rovesciata, il cui nucleo sarebbe costituito dai metabasalti affioranti lungo la dorsale del M. Figogna, cui seguono, in successione rovesciata, metacalcari e argilloscisti (Figura 60, da Capponi et al., 2007). Secondo gli autori, questa piega D3 deformerebbe il fianco rovescio di una preesistente megapiega D1/ D2.

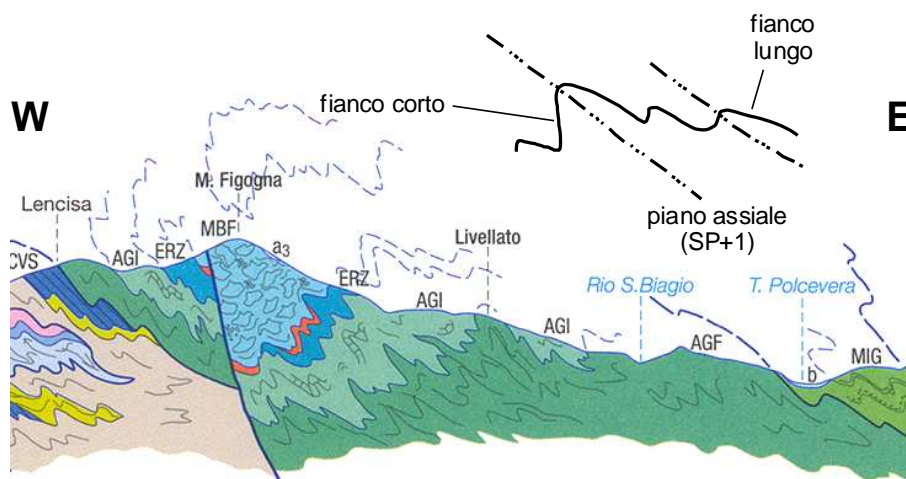
Gli elementi geometrici e strutturali sopra descritti, in particolare l'asimmetria delle pieghe osservate e la loro vergenza verso W o WSW, non sembrano essere incoerenti con l'interpretazione suggerita dagli autori; il settore interessato dallo sviluppo del tracciato ferroviario all'interno delle Argille a Palombini potrebbe quindi effettivamente rappresentare una zona di fianco rovescio di una megastruttura coricata di fase D3, anche se, rispetto alla sezione interpretativa inclusa nella cartografia CARG, lo stile delle strutture osservate sembra in generale essere meno serrato.





file: [P(dd)] SP_Polcevera Sud.txt n = 125 Data do not significantly from uniform at the 0.95 level	Expected Distribution: Cluster Preferential Orientation: Weak	Eigenvector 3: azimuth/plunge = 177.5 / 16.9 Best-fit Girdle: dipdir/dip = 357.5 / 73.1
file: [L] A3_Polcevera Sud.txt n = 17 Data differ significantly from uniform at the 0.95 level	Expected Distribution: Girdle Preferential Orientation: Weak	Eigenvector 1: azimuth/plunge = 181.2 / 9.5

**Figura 59 – Proiezione stereografica di Schmidt (emisfero inferiore) della giacitura della scistosità principale (SP) e degli assi di piega A3 (triangoli arancioni) negli argilloscisti aP del settore della media e bassa Val Polcevera. Il triangolo blu è il polo del cerchio massimo che meglio approssima l'inviluppo della scistosità.**



**Figura 60 – Sezione E-W attraverso il versante destro della Val Polcevera, dal foglio CARG Genova (Capponi et al., 2007). Sono evidenziati i principali elementi strutturali delle pieghe di fase 3, disegnate nel profilo, che definiscono il fianco rovescio di una piega coricata plurichilometrica, per un raffronto con quanto descritto nel testo.**

### 7.3.3 L'evento deformativo D4

L'ultima fase deformativa, denominata D4, si rileva nell'unità Figogna quasi esclusivamente a scala cartografica e dall'analisi dei dati strutturali che mostrano una dispersione dei piani assiali D3 (superfici SP+1, o S3). Anche per la fase D4 la riattivazione metamorfica è ridotta o nulla.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 318"> <tr> <td>Foglio 98 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 98 di 157
Foglio 98 di 157		

## 7.4 Le deformazioni post-metamorfiche

Le note illustrative del Foglio Genova (Capponi et al., 2008) identificano, sul versante ligure, due set principali di faglie, osservabili a scala regionale e in parte corrispondenti a stadi evolutivi successivi:

- Set 1: faglie con direzione subparallela all'andamento della Zona Sestri-Voltaggio e del sistema SLS, con direzioni prevalenti da NNW-SSE.
- Set 2: faglie con direzione compresa tra ENE-WSW e ESE-WNW; questo set è riferito dagli autori delle note illustrative a una fase successiva a quella che avrebbe generato l'associazione strutturale del Set 1.
- Una terza famiglia di discontinuità è riferita a un insieme di giunti e fratture con orientazioni comprese tra NE-SW ed ENE-WSW (Set 3).

Dal punto di vista dell'evoluzione strutturale le associazioni strutturali tardive (pieghe D4 descritte nei paragrafi precedenti e sistemi di faglie) sono, secondo Capponi et al. (2008), geometricamente e cinematicamente congruenti con un raccorciamento regionale di direzione NE-SW, correlato all'instaurarsi del regime transpressivo legato alla convergenza obliqua oligo-miocenica delle placche europea e adriatica.

In questo contesto, la zona Sestri-Voltaggio avrebbe costituito un sistema di svincolo trascorrente destro, di ordine minore, necessario ad accomodare la più importante trascorrenza regionale sinistra della megasutura localizzata lungo il bordo meridionale del cuneo formato dalla placca Adria (Figura 2). Al tempo stesso, secondo Capponi et al. (2009), durante il sovrascorrimento delle unità metaofiolitiche Liguri-Piemontesi sulle sottostanti unità flyschoidi, si sarebbe generato un sistema di faglie regionali, con direzione media NNW-SSE (Figura 61) e con movimento prevalente di tipo trascorrente destro, denominato "sistema di faglie Sestri-Voltaggio/Lemme/Scivia" (SLS), affiorante a cavallo tra il versante ligure e quello piemontese.

Queste strutture avrebbero agito come *tear faults*, cioè strutture trascorrenti che isolano lateralmente un settore in sovrascorrimento da quelli adiacenti (Figura 40), accomodando a scala locale, insieme ai sovrascorrimenti correlati, la trascorrenza sinistra instauratasi lungo il bordo meridionale della placca Adria a partire dall'Oligocene sup.

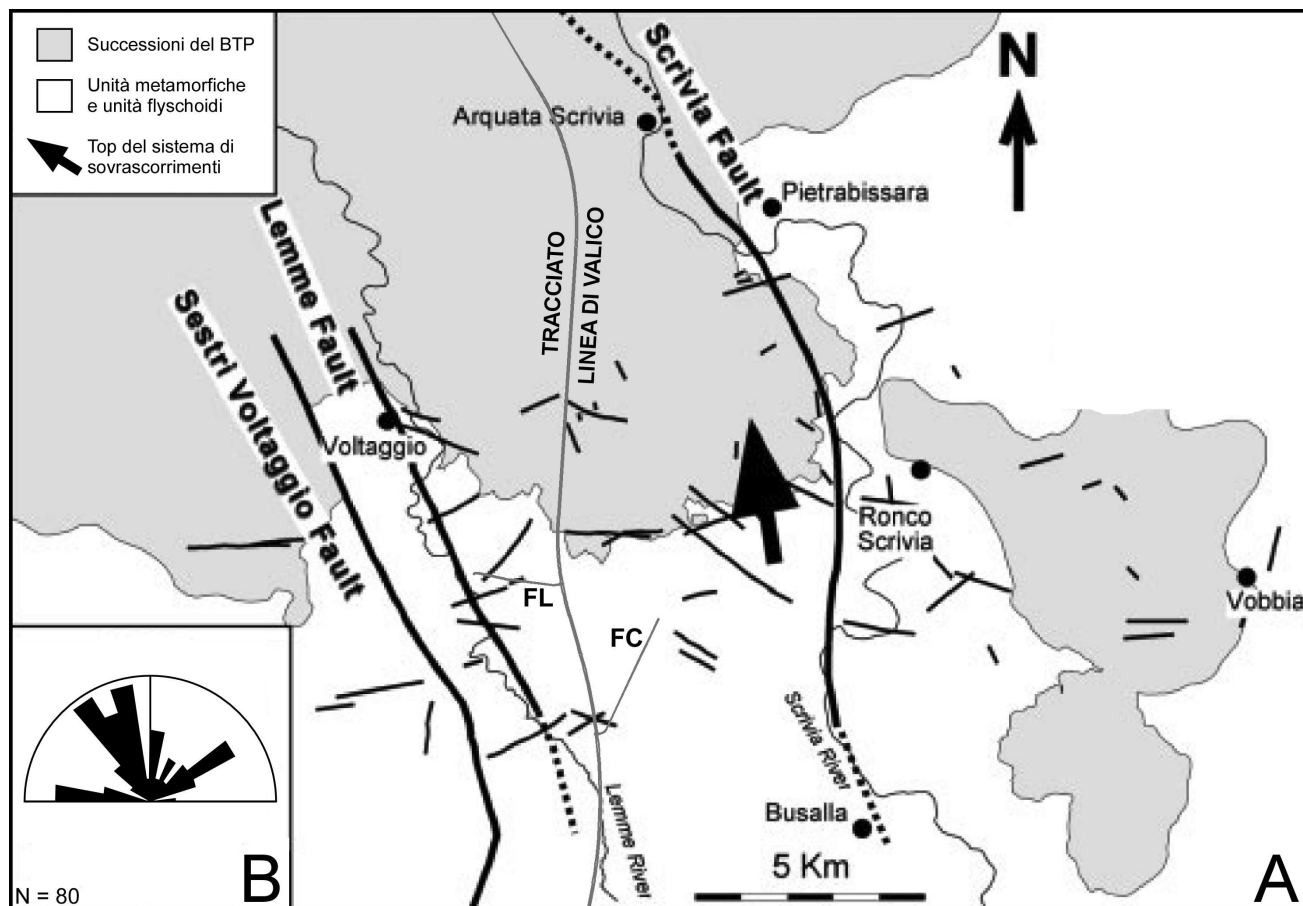
L'attività delle faglie del sistema SLS è circoscritta dall'età dei sedimenti coinvolti (conglomerati di Molare e, a E del T. Scivia, conglomerati di Savignone), che va dal Rupeliano medio al Rupeliano inferiore; poiché questo sistema di faglie ha differenziato le aree sorgente dei conglomerati (cfr. paragrafo 7.1.2 "L'evoluzione post-Oligocenica"), la sua attività dovrebbe essere databile dal tardo Priaboniano al Rupeliano ("Fase Ligure II" di Mutti et al., 1995).

La fine dell'attività tettonica è suggerita dall'instaurarsi, nel settore della Val Lemme, nel Rupeliano inferiore-medio, di condizioni di scogliera (Quaranta et al., 2007): poiché la costruzione di scogliere carbonatiche richiede condizioni di stabilità tettonica del bacino, è plausibile che a questo stadio l'attività tettonica fosse terminata.

Il movimento verso nord delle Alpi Liguri non sembra comunque limitato all'Oligocene inferiore, dato che Mutti et al. (1995) descrivono, dopo una fase di distensione, una ripresa dei sovrascorrimenti vergenti a N-NE nella "Fase Ligure III", un evento che gli autori correlano a una fase tettonica di

compressione in senso SW-NE (Oligocene sup. - Miocene inf.), che ha prodotto pieghe e sovrascorrimenti vergenti a NE (d'Atri et al. 1997; Piana et al. 1997; Capponi et al. 1999a, 1999b).

È verosimile che le faglie della Valle Scrivia e della Val Lemme siano state riattivate in questa fase, con una cinematica simile. Lo scenario risultante è quindi quello di un regime geodinamico di lunga durata (dal primo Oligocene al primo Miocene), dominato da fasi di raccorciamento dirette NE-SW e correlate alla migrazione verso nord delle Alpi Liguri (Capponi et al., 2009).



**Figura 61 – A:** schema geologico del settore tra Voltaggio, Arquata Scrivia e Busalla, con individuazione delle faglie principali. **B:** diagramma a rosa della distribuzione spaziale delle direzioni delle faglie osservate nell'area (il cerchio rappresenta il 13%; il “petalo” più grande è pari al 12.5%) (da Capponi et al., 2009, modif.). FC: Finestra Castagnola; FL: Finestra Val Lemme.

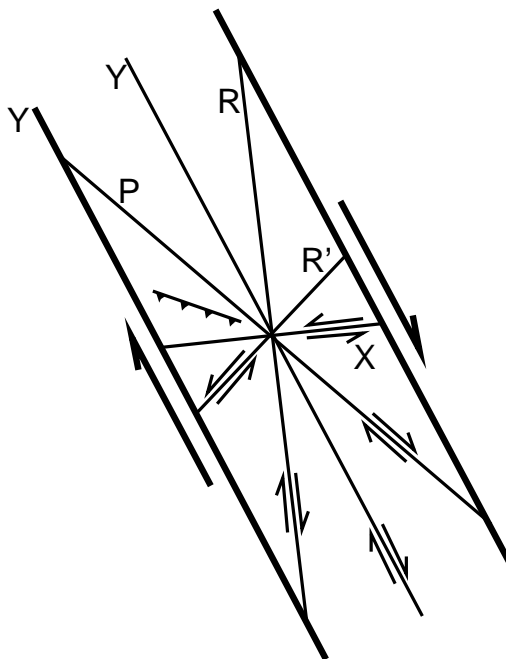
Secondo questa lettura, è possibile inquadrare in un contesto strutturale omogeneo i dati strutturali di terreno, riferendo le diverse famiglie di strutture misurate ad associazioni strutturali specifiche. In particolare, l'associazione strutturale legata allo sviluppo del sistema trascorrente SLS, sembra poter corrispondere al “Set 1” indicato a inizio paragrafo ed è composta, secondo lo schema di Figura 62, da:

- a) faglie principali trascorrenti destre di direzione NNW-SSE (piani “Y”)
- b) faglie secondarie trascorrenti destre di direzione prevalente:
  - NW-SE (piani P)
  - N-S (piani R)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 100 di 157

c) faglie secondarie trascorrenti sinistre di direzione prevalente:

- NE-SW (piani R')
- da E-W a ENE-WSW (piani X)



**Figura 62 – Associazione strutturale di faglie principali e secondarie in un sistema trascorrente (da Capponi et al., 2009).**

Per quanto riguarda l'associazione strutturale corrispondente al "Set 2", questo caratterizzerebbe, secondo Capponi et al. (2008), uno stadio evolutivo successivo, tagliando spesso le strutture fragili preesistenti; alla medesima fase gli autori riferirebbero anche la riattivazione di tipo *dip-slip* dei sistemi preesistenti, con cinematismi da normali a inversi. Tuttavia, è plausibile che almeno in parte le faglie di questo sistema possano appartenere alla medesima associazione strutturale dei sistemi della Valle Scrivia e della Val Lemme, come si può vedere dallo schema successivo.

Il Set 2 di faglie, con direzione ENE-WSW e ESE-WNW, è costituito principalmente da faglie trascorrenti destre e sinistre, con giacitura subverticale e persistenza metrico-decamentrica, cui si associano livelli di microbreccie di faglia, di potenza centimetrico-decimentrica. A questa fase si accompagnerebbe la formazione di fibre di calcite e/o asbesto (a seconda della composizione delle rocce) lungo le superfici di faglia.

Le faglie del Set 2 sono molto disperse ed eterogeneamente distribuite; si rinvennero prevalentemente nell'unità Palmaro-Caffarella e nei settori sud-orientali delle unità Voltri, Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde. L'insieme delle strutture di questa famiglia e dei sistemi riattivati formerebbe localmente, secondo Capponi et al. (2008), dei graben subparalleli alla linea di costa, controllando la sedimentazione dei depositi pliocenici di Genova, Borzoli e Arenzano.

In fine, il "Set 3" è descritto da Capponi et al. (2008) come un'associazione strutturale generata durante le fasi tardive dell'evoluzione tettonica e non correlata allo sviluppo di rocce di faglia, ma rappresentata da un complesso di giunti e fratture con distribuzione areale uniforme e con



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Foglio 101 di 157
GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00		

orientazione preferenziale NE-SW e ENE-WSW. Si tratta prevalentemente di discontinuità subverticali, a persistenza metrica e spaziatura decimetrico-metrica.

#### 7.4.1 Analisi strutturale per settori

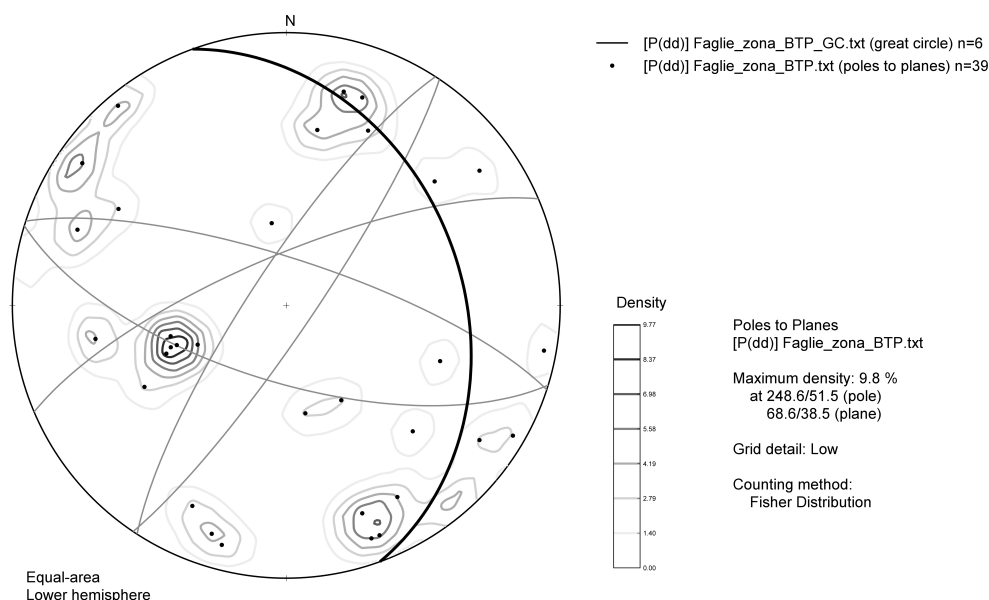
I diagrammi strutturali successivi presentano i dati relativi alle faglie misurate nei diversi settori interessati dallo sviluppo del tracciato di linea, suddivisi su base geologica regionale in:

- settore del BTP;
- settore Valle Scrivia-Val Lemme (unità tettonometamorfica Figogna);
- settore della Val Polcevera (unità tettonometamorfica Figogna);
- settore di Isoverde (unità tettonometamorfiche Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde).

##### 7.4.1a Bacino Terziario Piemontese

Nel settore del Bacino Terziario Piemontese i dati relativi alle faglie non sono molti, per la difficoltà di identificare le strutture fragili in rocce sedimentarie caratterizzate da bassa rigidità e per le condizioni di affioramento non sempre favorevoli. Il diagramma seguente presenta i dati relativi a 39 faglie misurate in litotipi diversi. Si nota una certa prevalenza di strutture trascorrenti destre, con direzione NNW-SSE, subparallele al sistema SLS e all'asse vallivo della Valle Scrivia.

Famiglie minori di strutture sono rappresentate dalle direzioni NE-SW, ENE-WSW e WNW-ESE.



**Figura 63 – Faglie misurate nel settore del BTP. Proiezione equiareale di Schmidt, emisfero inferiore. Con un tratto più marcato è evidenziato il cerchio massimo relativo al set con maggiore densità di dati.**

All'interno dei conglomerati di Molare, nei livelli stratigrafici più ricchi in clasti serpentinitici, le faglie possono presentare riempimenti di gouge argilloso non coesivo sia tra i clasti, sia nella matrice; non si esclude la possibilità che in questa litofacies ricca in clasti di ultrabasiti le zone di faglia e i piani

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 102 di 157

minori di frattura ad esse associati possano essere caratterizzati, localmente, da mineralizzazioni a crisotilo e/o antigorite fibrosi di neoformazione.

Nelle litofacies degli stressi conglomerati di Molare più ricche in clasti calcarei, le zone di faglia possono essere accompagnate da un certo grado di cementazione causata dalla circolazione di fluidi ricchi in carbonato lungo le superfici di discontinuità.

Sempre nella formazione di Molare, in fase di Progetto Definitivo sono state rappresentate nel profilo geologico alcune zone di faglia e piani di taglio a basso angolo, con rigetto non valutabile. Nel corso delle verifiche di terreno realizzate nel corso degli studi per il Progetto Esecutivo, queste strutture a basso angolo sono state osservate sia nella formazione di Molare sia nella formazione di Rigoroso.

Si tratta in genere di piani o zone di taglio a basso angolo rispetto alla stratificazione, con vergenza a nord, quindi leggermente immergenti verso sud (non rappresentate nel diagramma strutturale). Nei conglomerati/arenarie di Molare queste zone di taglio sono meno potenti, da alcuni decimetri a pochi metri, essendo probabilmente condizionate da un comportamento reologico molto più rigido degli starti detritici cementati; nelle marne di Rigoroso si osservano invece fasce di deformazione potenti anche diverse decine di metri, a cui è difficile porre dei limiti precisi.

All'interno delle zone di taglio le superfici di stratificazione sono sovente obliterate, con sovrapposizione di piani di taglio anastomosati che separano lioni centimetrici o decimetrici, in cui si sviluppa un clivaggio pervasivo da dissoluzione, a spaziatura millimetrico-centimetrica, deformato e trascinato lungo i piani di movimento.

#### 7.4.1b Settore Valle Scrivia-Val Lemme

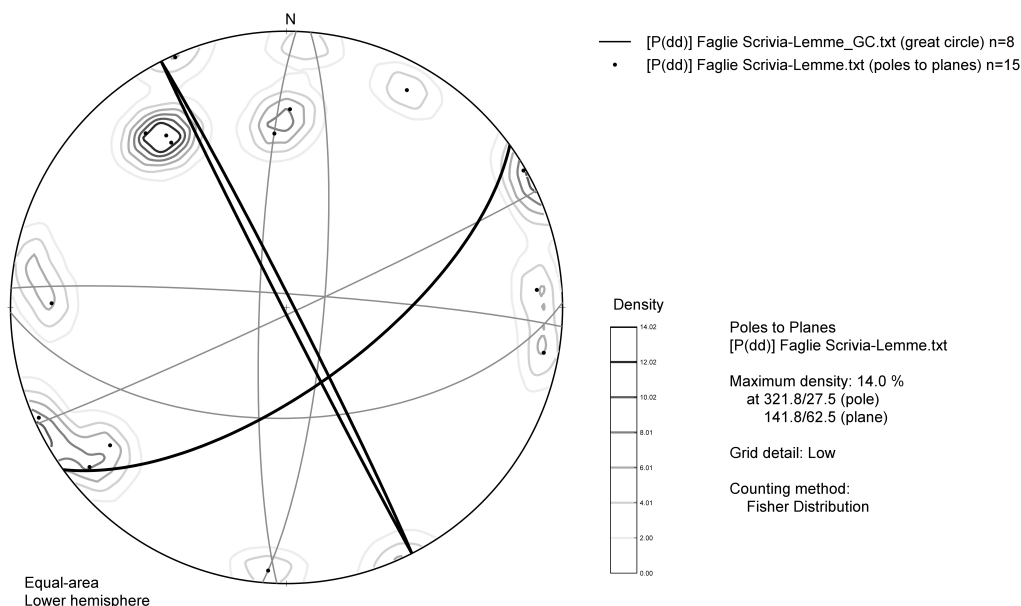
Le poche faglie misurate in questo settore all'interno dell'unità Figogna e a cavallo tra questa e il soprastante BTP presentano dei massimi di densità intorno alle direzioni NNW-SSE e NE-SW. Il primo gruppo di strutture segue l'andamento a scala regionale della Zona Sestri-Voltaggio in territorio piemontese ed è parallelo alle strutture regionali descritte da Capponi et al. (2009) per il "sistema Sestri-Voltaggio/Lemme/Scrivia" (piani Y in Figura 62). Il secondo gruppo di strutture (NE-SW) potrebbe far parte della famiglia di piani R' individuata in Figura 62.

Anche gli altri sistemi minori, circa E-W e circa N-S sembrano coerenti con lo schema di Figura 62, individuando, rispettivamente, i piani X e R.

Il set principale di discontinuità con andamento NNW-SSE è caratterizzato da faglie subverticali, con persistenza da decametrica a plurichilometrica e con fasce di deformazione di potenza da decimetrico-metrica a ettometrica.

Le rocce di faglia sono tipicamente costituite da cataclasiti, *gouge* (sensu Sibson, 1977) e microbrecce; i movimenti individuabili sono prevalentemente trascorrenti o transpressivi destri, con minori riattivazioni tardive di tipo dip-slip, sia normali che inverse.

I sistemi minori associati, ad orientazione compresa tra NE-SW, E-W e N-S, sono definiti da faglie metrico-decametriche, in gran parte trascorrenti destre, talora sinistre, con associate cataclasiti e microbrecce di potenza per lo più decimetrica.



**Figura 64 – Faglie misurate nel settore compreso tra Valle Scivia e Val Lemme. Proiezione equiareale di Schmidt, emisfero inferiore. Con un tratto più marcato è evidenziato il cerchio massimo relativo al set con maggiore densità di dati.**

Questa associazione strutturale sembra caratterizzare i primi stadi dell'evoluzione tettonica fragile e riattivando le strutture preesistenti, soprattutto i contatti duttili e le fasce di deformazione milonitica concentrate intorno allo sviluppo della ZSV e determinando la formazione, a tutte le scale, di strutture transpressive “a fiore positivo”. Questa fase riattiva quindi certamente, almeno in parte, le vecchie zone di shear duttile sin-D2, che rappresentano delle zone di debolezza a scala regionale, soprattutto laddove si associano a rocce milonitiche con parametri di resistenza meccanica relativamente bassi, in primo luogo argilloscisti e serpentinoscisti.

### **La faglia della Val Carbonasca**

Un'estesa zona di taglio fragile è stata messa in evidenza dai sondaggi realizzati in fase di PE, nell'ambito della progettazione degli interventi di messa in sicurezza del versante interessato dalla frana di Cascina Carbonasca, sul versante sinistro della vale omonima, che si sviluppa in direzione NW-SE, con sbocco nei pressi di Voltaggio (AL).

In questo settore, Cortesogno & Haccard (1984) avevano individuato cartograficamente un'ipotetica faglia sepolta, al contatto tra le unità Cravasco-Voltaggio e Figogna. Gli approfondimenti di studio condotti in fase di PE hanno evidenziato la presenza di una potente fascia di deformazione tettonica caratterizzata da fasce metriche o plurimetriche di gouge argilloso, cataclasiti e brecce di faglia che isolano porzioni di roccia relativamente meno deformata.

All'interno di questa zona di taglio, i contatti tra litotipi (calcarei di Voltaggio, serpentiniti, scisti di Larvego e argilloscisti) non sono definiti da superfici nette e ben individuate, ma piuttosto da fasce tettonizzate di potenza da metrica a pluridecamentrica, disposte a sciami parallelamente ai contatti principali; la struttura a grande scala della zona di taglio è definita da scaglie tettoniche con direzione NNW-SSE e giacitura subverticale; la struttura è quindi parallela sia alla Zona Sestri-

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" style="float: right; margin-left: auto;"> <tr> <td>Foglio 104 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 104 di 157
Foglio 104 di 157		

Voltaggio, sia alle *master faults* del sistema Sestri-Voltaggio/Lemme/Scrvia descritto da Capponi et al. (2009).

Le caratteristiche osservate portano quindi alle seguenti conclusioni:

- la formazione di consistenti spessori di rocce di faglia è stata probabilmente favorita dalla riattivazione in campo fragile di preesistenti zone di taglio duttile, identificabili con fasce milonitiche sin-D2; in particolare, i serpentinoscisti e gli argilloscisti a tessitura milonitica localizzati lungo queste zone di taglio sin-D2 hanno subito intensi fenomeni di riduzione di grana per frizione, che hanno portato allo sviluppo di *gouge* di faglia a dominante componente argillosa.
- Le deformazioni in campo fragile non hanno obliterato completamente le strutture milonitiche sin-D2, che si riconoscono per la presenza di litoni allungati di rocce diverse (serpentiniti, calcari), relativamente meno deformate, separati da zone di taglio cataclastico all'interno della fascia di deformazione.
- La megastruttura duttile-fragile presente sul fianco sinistro della Val Carbonasca potrebbe corrispondere al piano principale della "Faglia della Val Lemme" di Capponi et al. (2009) (cfr. Figura 61) o a un importante piano di taglio direttamente correlato a questa *master fault*, con andamento ad essa subparallelo.
- La presenza lungo il versante di una potente zona di forte disturbo tettonico, correlata alla presenza di litotipi con scadenti caratteristiche geomeccaniche, può aver influenzato negativamente le condizioni di stabilità del pendio anche a livelli relativamente profondi, facilitando l'insacco dei movimenti che hanno prodotto la "frana Carbonasca", responsabile del ripetuto danneggiamento della S.P. 163. Non vi è ovviamente alcuna relazione tra fenomeni franosi e movimenti lungo il piano di della faglia, che come sottolineato dagli autori precedentemente citati, ha esaurito la propria attività a partire dal Miocene medio.

#### 7.4.1c Settore di Isoverde

Nel settore circostante il tracciato di linea è interessato dall'affioramento delle unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde l'assetto strutturale è fortemente condizionato dalla presenza delle strutture tettoniche regionali di pertinenza della Zona Sestri-Voltaggio

Anche in quest'area, che si colloca a ridosso del contatto con l'unità Figogna, affiorante immediatamente a E del tracciato di linea, la fase deformativa D3 è seguita dallo sviluppo di faglie, coerentemente con la transizione di questo settore di catena verso livelli crostali più superficiali.

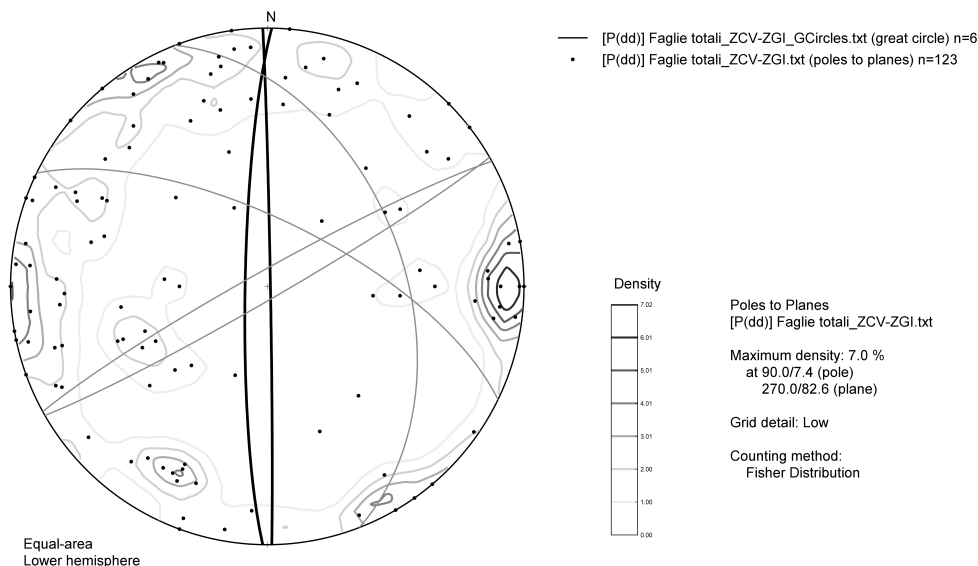
Il sistema principale osservato è costituito da strutture subverticali transpressive destre, con direzione N-S (da N350°E a N10°E; Figura 70), associate allo sviluppo di fasce decametriche di protobrecce, breccie tettoniche e *gouge* all'interno dei litotipi più rigidi, quali serpentiniti (Figura 66), metabasalti e calcari dolomitici.

All'interno degli argilloscisti e delle facies milonitiche la deformazione cataclastica sembra più circoscritta, probabilmente perché gran parte della deformazione fragile si scarica attraverso la riattivazione delle superfici di scistosità preesistenti; in queste litofacies la deformazione si esprime



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 105 di 157

principalmente attraverso uno sciame di superfici discrete minori, con rocce di faglia di spessore al massimo decimetrico (Figura 67).



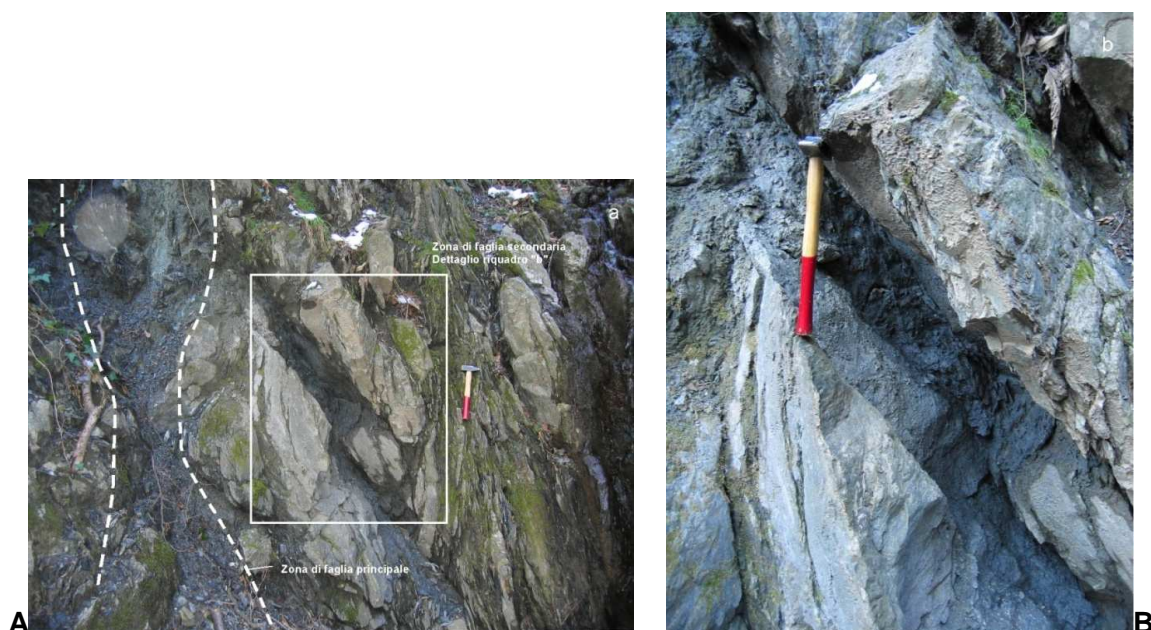
**Figura 65 – Faglie misurate nel settore di affioramento delle unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde interessato dal tracciato di linea. Proiezione equiareale di Schmidt, emisfero inferiore. Con un tratto più marcato è evidenziato il cerchio massimo relativo al set con maggiore densità di dati.**

Una fascia di deformazione cataclastica particolarmente importante, relativa a questo sistema N-S, ma la cui continuazione verso sud non è definita, è localizzata nella zona immediatamente a est del Passo della Bocchetta e di Pietralavezzara. Altri due sistemi di faglie circa ENE-WSW e WNW-ESE (direzioni N60-70°E e N110-120°E) sono presenti in questo settore (Figura 70) e sembrerebbero post-datate il sistema N-S anche se, dal punto di vista geometrico, potrebbero corrispondere ai piani R' e X associati al sistema trascorrente principale (cfr. diagramma di Figura 62, con un'opportuna rotazione dell'intero blocco).

Anche questi sistemi producono fasce di deformazione cataclastica di potenza metrico-decamentrica; ad essi è riferibile un'importante struttura affiorante in superficie alla testata del bacino del Rio Rizzolo, presso il contatto tra le dolomie del M. Gazzo e i Calcari di Gallaneto, dove è presente una fascia di brecce tettoniche carbonatiche poco coesive di potenza decamentrica (Figura 68).



**Figura 66 - Zona di deformazione cataclastica associata a una faglia di direzione circa N-S, cava di Pietra Cucco a N di Pietralavezzara.**



**Figura 67 - Faglia all'interno degli argilloscisti nei dintorni di Case Noage (progressiva della Galleria di Valico 9+700 ca.). Si notino le superfici di movimento caratterizzate da gouge non coesivo.**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00

Foglio  
107 di  
157



**Figura 68 – Fascia di breccie tettoniche associate alla faglia E-W localizzata alla testata del Rio Rizzolo.**

#### 7.4.1d Settore della Val Polcevera

Nel settore della Val Polcevera l'osservazione diretta di faglie sul terreno è resa più difficoltosa dall'elevato grado di alterazione superficiale dei litotipi argillitici che costituiscono l'unità Figogna, che produce una coltre detritica pressoché ubiquitaria. Gli affioramenti più significativi si localizzano soprattutto nei settori di testata, mentre nella parte medio-bassa del bacino del T. Polcevera la percentuale di affioramento è piuttosto ridotta, anche a causa dell'estesa copertura boschiva.

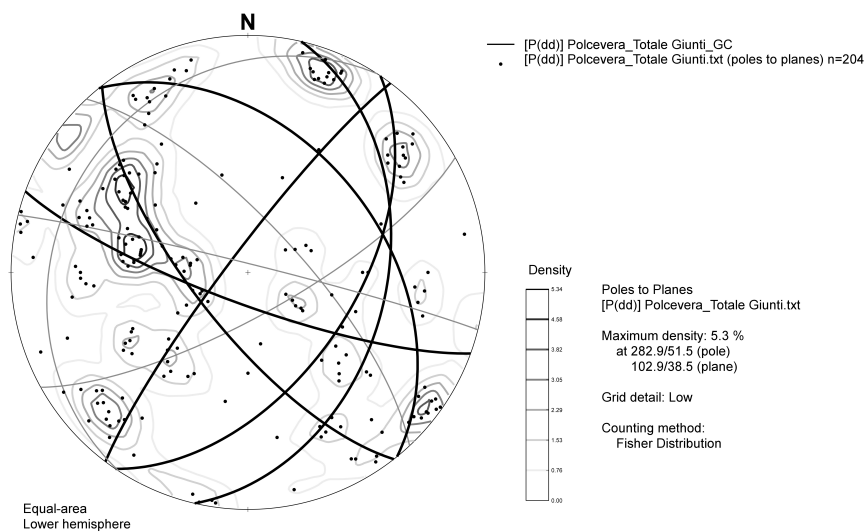
In affioramento non sono state individuate faglie particolarmente significative; anche le faglie individuate dalla cartografia CARG sono in quest'area da considerare solo come strutture presunte, in quanto sul terreno non vi sono chiare evidenze della loro presenza; infatti, l'apparente dislocazione delle unità litostratigrafiche lungo tali strutture, indicata nel Foglio "Genova" 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 contro, mentre alcune strutture con potenza della zona cataclastica dell'ordine di alcuni metri sono state intercettate dai sondaggi realizzati lungo lo sviluppo del tracciato ferroviario. In particolare, una faglia principale (spessore stimato della zona cataclastica di 3-6 m ca.) è stata attraversata dal sondaggio SC18; la faglia è associata a una fascia cataclastica principale della potenza stimata di 2-3 m e a diverse zone di taglio minori con cataclasiti, breccie e gouge; la potenza complessiva è dell'ordine di 5-6 m, spessore che include diversi litoni di roccia poco deformata.

Il successivo diagramma di Schmidt relativo a 204 strutture fragili misurate (comprendenti sia giunti sia mesofaglie) permette di individuare almeno due famiglie predominanti di discontinuità (tenendo conto di variazioni giaciturali comprese nell'arco di 10-20° sia in direzione sia in inclinazione); queste due famiglie hanno rispettivamente direzione i) NNW-SSE con immersione a medio-alto angolo verso SSE e ii) tra NW-SE e WNW-ESE, con immersione ad alto angolo sia verso NE sia verso SW.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00	Foglio 108 di 157



**Figura 69 – Discontinuità (giunti e mesofaglie) misurate nel settore della Val Polcevera. Proiezione equiareale di Schmidt, emisfero inferiore. Con un tratto più marcato sono evidenziati i cerchi massimi relativi ai set con maggiore densità di dati.**

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

- piccoli piani di taglio a medio-basso angolo non cartografabili (mesofaglie), associati a cataclasi di spessore centimetrico, sono spesso 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 numerosi sondaggi che attraversano gli argilloscisti dell'unità Figogna sono frequenti le zone di roccia brecciata e argillificata, che ricorrono con spaziatura da decametrica a ettometrica e che possono essere riferite sia a zone di faglia s.s. sia a piani di taglio cataclastico a basso angolo.
- 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 o al limite alla fase D4.

In definitiva, negli argilloscisti dell'unità Figogna, molte strutture a carattere fragile sono riferibili a fasi deformative che, a scala regionale, sono ancora di tipo duttile, a cominciare dalla fase D3, dato anche il corrispondente grado metamorfico, basso o molto basso. Queste deformazioni possono essere ricondotte a scorrimenti lungo foliazione nelle zone di cerniera di pieghe megascopiche D3, o allo sviluppo di piani di taglio duttile-fragile subparalleli ai clivaggi di piano assiale D3.

La deformazione fragile successiva alle fasi D3-D4 ha probabilmente modo di scaricarsi in gran parte attraverso la riattivazione di queste zone di debolezza, in parte attraverso micro-deformazioni a livello della scistosità regionale e solo in parte attraverso la creazione di nuove strutture (faglie) discordanti con tutte le strutture preesistenti.



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 109 di 157</p>

#### 7.4.2 Fotolineamenti

Anche se in linea generale non è necessariamente verificato che in una data area gli indizi morfologici e fotogeologici derivati dalla fotointerpretazione siano direttamente correlabili all'assetto strutturale del substrato prequaternario, è comunque appurato che, almeno a livello statistico, la presenza di pattern ricorrenti nelle forme morfologiche quali, ad esempio, lo sviluppo del reticolato idrografico superficiale, risente del controllo strutturale legato alla presenza di discontinuità tettoniche, che rappresentano delle zone di maggiore debolezza lungo cui può concentrarsi l'erosione.

Le riprese aeree disponibili per il settore a cavallo tra Piemonte e Liguria interessato dallo sviluppo del tracciato di valico consentono di individuare alcune famiglie di fotolineamenti, legati principalmente alle caratteristiche morfologiche del reticolato idrografico come, ad esempio, brusche variazioni della direzione degli alvei, tratti di impluvio approssimativamente rettilinei, allineamenti di impluvi minori che tagliano gli assi vallivi principali, scarpate con andamento lineare, ecc. Questi lineamenti possono 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.

La figura seguente mostra una mappa dei lineamenti tracciati mediante fotointerpretazione su fotografie aeree e attraverso l'analisi di un modello digitale del terreno con maglia di 20 m, lungo una fascia di circa 5 km di larghezza a cavallo del tracciato di linea. I diagrammi a rosa riportati a fianco della mappa permettono di visualizzare la distribuzione dei lineamenti in relazione a direzione (strike) e frequenza, per le due grandi unità geologiche rappresentate del Bacino Terziario Piemontese (diagramma 1) e dalle unità metamorfiche del basamento alpino (unità Fogogna, Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde; diagramma 2).

Le linee radiali di ciascun diagramma rappresentano variazioni azimutali di direzione di 10°, gli "spicchi" rappresentano invece classi di 5°, le linee concentriche indicano la percentuale di ogni classe di direzione sul totale dei lineamenti; la lunghezza degli spicchi è proporzionale al numero di lineamenti individuati per ogni classe di direzione, ma non alla lunghezza delle tracce.

Tanto nel BTP quanto nelle unità metamorfiche alpine si individuano sostanzialmente tre set dominanti di direzioni. Nel BTP queste sono, in ordine di importanza: i) ENE-WSW, ii) N-S e iii) WNW-ESE, mentre nel basamento pre-oligocenico il set N-S appare più disperso, con orientazioni che vanno fino a NNW-SSE e il set WNW-ESE risulta più ampiamente rappresentato. I diagrammi a rosa di rappresentano comunque una statistica basata sul conteggio dei singoli lineamenti, senza alcun riferimento alla loro persistenza, per analizzare la quale è necessario fare riferimento alla successiva Figura 71, che mostra la persistenza media delle tracce al variare della direzione.

È possibile osservare che, anche se numericamente meno frequenti, il set con direzione da N-S a NNW-SSE è costituito da lineamenti nettamente più persistenti rispetto agli altri set, come si vede anche dallo stralcio cartografico di Figura 70.

Le tre direzioni strutturali individuate sono spesso legate allo sviluppo di tratti di fondovalle, anche di notevole lunghezza, con andamento rettilineo o quasi; dall'analisi delle fotografie aeree questo

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 110 di 157</p>

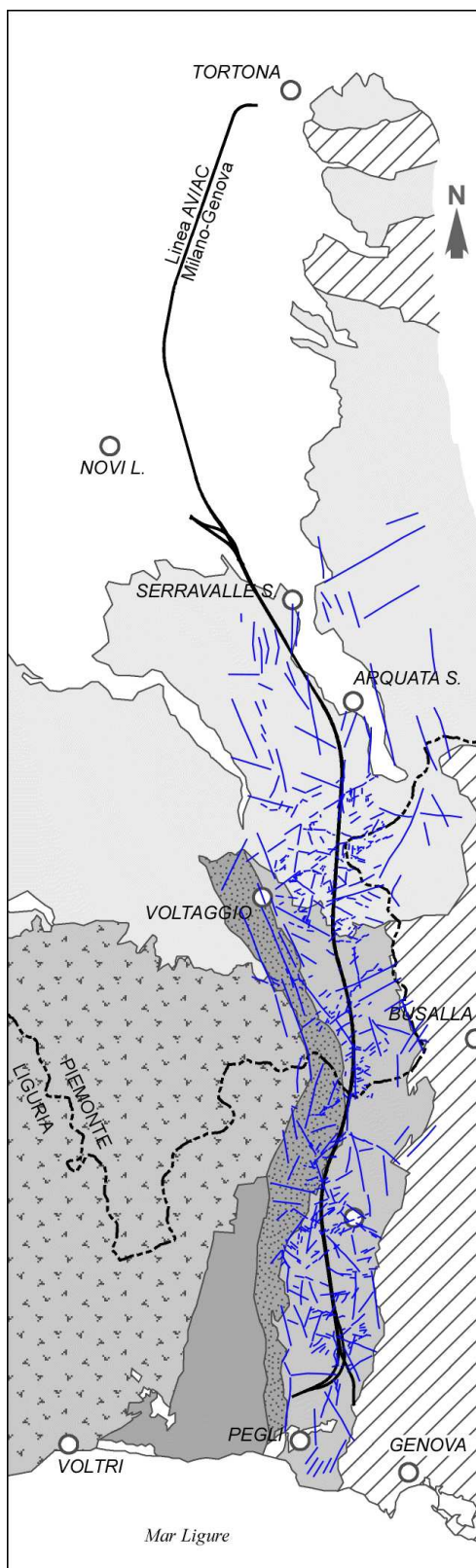
risulta il carattere morfologico dominante, tuttavia potrebbe essere un fattore leggermente sovrastimato legato alla direzione di illuminazione delle foto aeree, che è ovviamente limitata ai quadranti da SE a SW. L'analisi del DEM permette di ovviare a questo inconveniente, poiché è possibile impostare un'illuminazione virtuale da una qualsivoglia direzione; in effetti, il set N-S è meglio evidenziato dal DEM che dalle fotografie aeree, anche se in questo caso vi è un secondo fattore di incertezza che condiziona l'interpretazione, rappresentato dal fatto che la maglia del modello digitale disponibile è piuttosto grossolana (20 m) e non consente quindi di mettere in evidenza lineamenti troppo poco accentuati o troppo poco persistenti.

Tenendo conto di queste limitazioni, il fatto che il set da N-S a NNW-SSE appaia come il più persistente è comunque da mettere probabilmente in relazione al fatto che questi lineamenti sono subparalleli alla direzione della Zona Sestri-Voltagigo, che rappresenta la discontinuità tettonica a scala regionale in assoluto più importante in tutta l'area. Ciò appare anche una conferma indiretta di quanto questa struttura regionale sia stata in grado di condizionare l'evoluzione strutturale dell'area durante le fasi deformative più recenti, quelle cioè che hanno come espressione faglie e fratture che, a loro volta, condizionano in maniera più o meno marcata l'evoluzione della morfologia superficiale e lo sviluppo del reticolato idrografico.

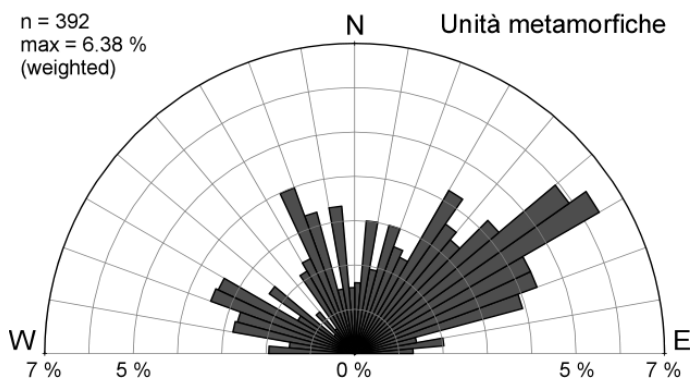
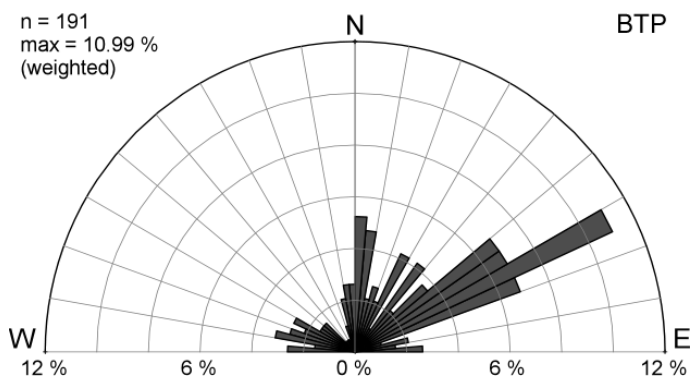
Un altro aspetto di interesse riguarda il comportamento reologico dei diversi litotipi delle formazioni interessate dal progetto; appare infatti evidente che i litotipi caratterizzati da maggiore durezza e da un comportamento nel complesso più rigido, sono in grado di registrare meglio la deformazione fragile, il che si traduce nel fatto che i lineamenti strutturali hanno in queste rocce un'espressione morfologica più marcata; fanno parte di questo insieme di litotipi, ovviamente, tutti quelli che costituiscono il basamento metamorfico alpino e i conglomerati della formazione di Molare. Dall'altro lato, i litotipi marnoso-argillosi del BTP, più erodibili e con un comportamento reologico meno rigido, preservano con maggiore difficoltà tracce di morfologie riconducibili a lineamenti di possibile origine strutturale; in questo caso, l'interpretazione dei fotolineamenti è spesso condizionata da maggiori incertezze.

Lo stralcio cartografico riportato in Figura 72 mostra i principali lineamenti strutturali dell'area di interesse, suddivisi in i) faglie presunte e ii) fotolineamenti. Si nota chiaramente un pattern strutturale regolare, definito da quattro distinte famiglie di lineamenti, con direzione, rispettivamente a) NNW-SSE, b) NNE-SSW, c) WNW-ESE e d) ENE-WSW.

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



- Successioni post-plioceniche
- Bacino Terziario Piemontese
- Unità di flysch
- Unità Figogna
- Unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde
- Unità Palmaro-Caffarella
- Unità Voltri



**Figura 70 – Carta dei fotolineamenti e diagrammi a rosa della distribuzione delle direzioni (stike) lungo lo sviluppo del tracciato di linea. 1: settore del BTP; 2: unità del basamento metamorfico alpino (settore Val Lemme/Val Polcevera).**

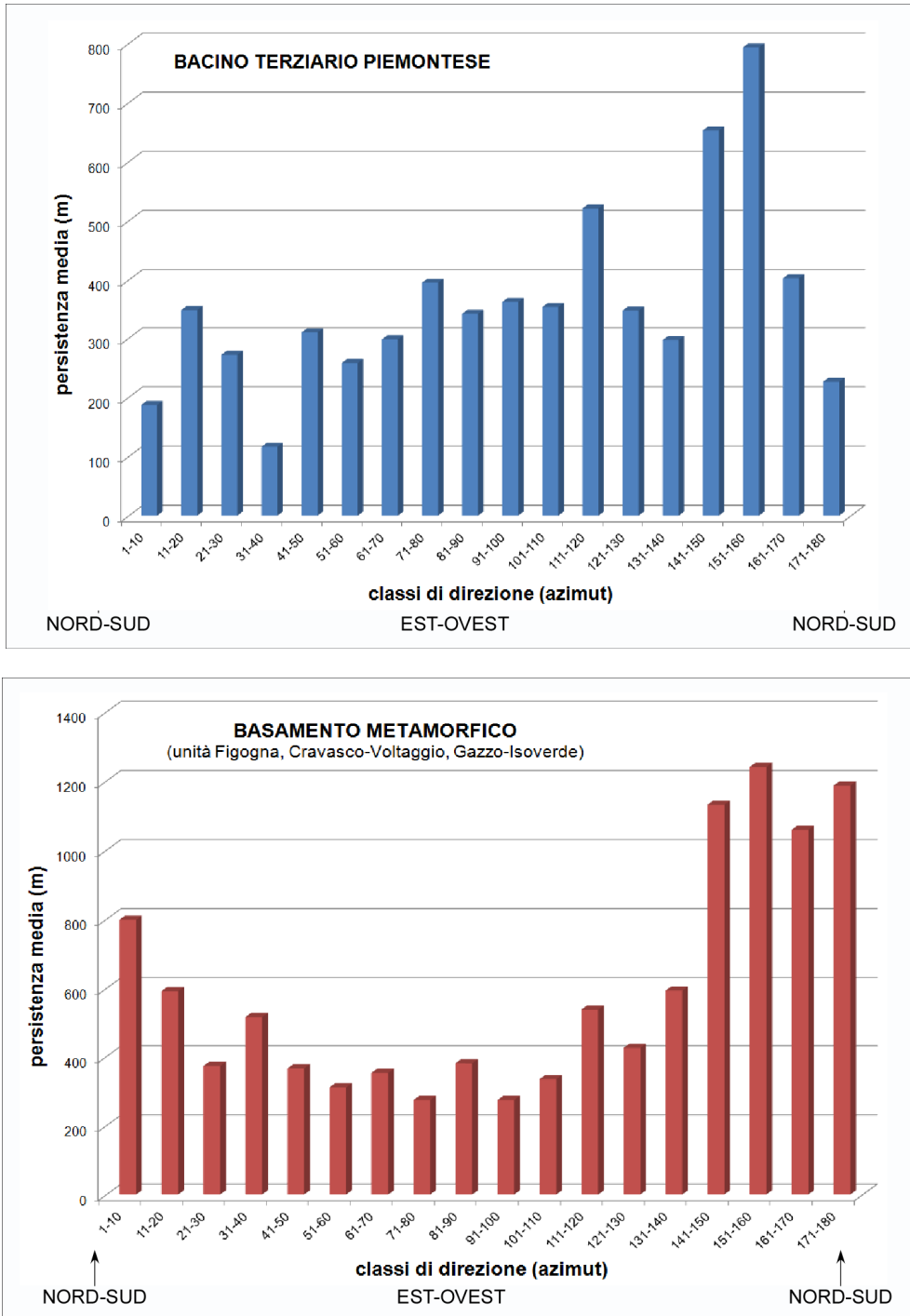
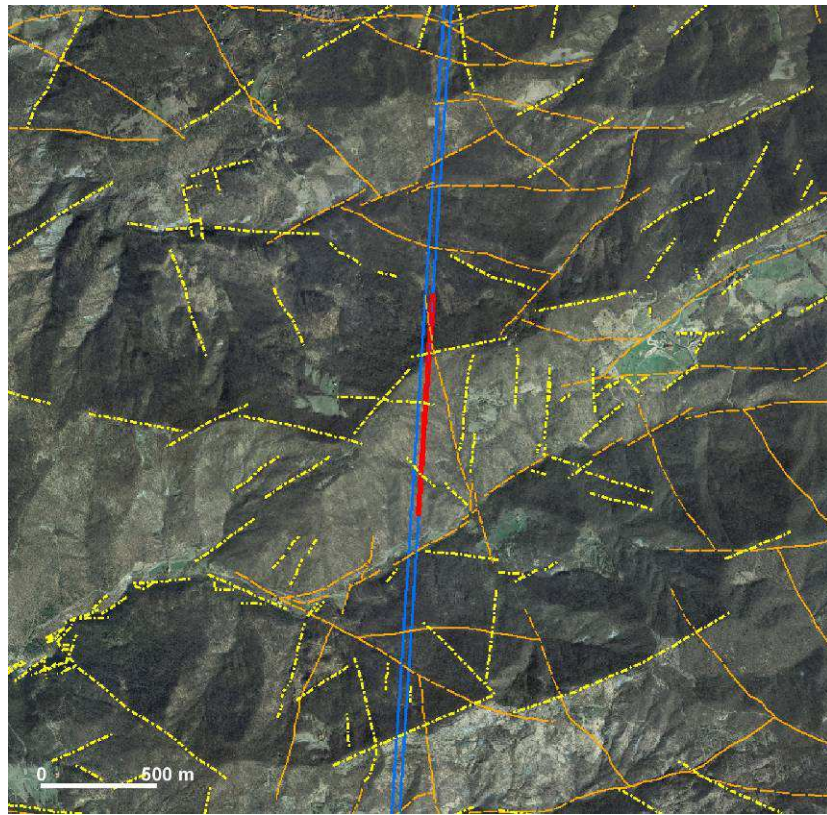


Figura 71 – Persistenza media dei lineamenti in funzione della direzione.





**Figura 72 – Principali fotolineamenti del settore interessato dalla WBS in esame. (arancione): principali faglie presunte; (giallo): fotolineamenti. In blu la traccia delle gallerie di linea, in rosso la WBS in esame.**

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 315"> <tr> <td>Foglio 114 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 114 di 157
Foglio 114 di 157		

## 8 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO DI PROGETTO

In questo capitolo vengono sinteticamente descritte le condizioni geologiche attese lungo il tracciato di progetto; si tratta sostanzialmente di una sintesi di quanto già descritto, in maggiore dettaglio, nelle relazioni specifiche riguardanti le singole WBS che compongono l'opera in progetto e a cui si rimanda per ulteriori informazioni. In questa sede si fornisce un quadro generale della geologia dell'opera, con riferimento, in primo luogo, ai profili geologico-idrogeologici generali, in scala 1:5.000 e 1:5.000/1:1.000 (tavole allegate da 1/6 a 6/6 per binario Pari e Dispari).

La sintesi che segue presenta una descrizione per tratte geologicamente omogenee, raggruppando le diverse WBS che ricadono in un medesimo contesto geologico, di cui di volta in volta verranno riassunte le principali criticità previste dal punto di vista geologico; per gli aspetti idrogeologici si fa riferimento ai contenuti della relazione specifica.

Nel testo che segue si farà riferimento alle progressive chilometriche di progetto, misurate lungo l'asse del binario pari (identificate dalla sigla "BP" di fianco alla progressiva); la posizione dei contatti litostratigrafici e tettonici e degli altri elementi geologici descritti (es. faglie), può variare da binario pari a binario dispari, in maniera irrilevante o significativa, a seconda che questi contatti siano perpendicolari all'asse di linea oppure lo intercettino a basso angolo o ancora siano ad esso subparalleli. Per la localizzazione precisa dei principali elementi geologici si rimanda comunque alle relazioni inerenti le singole WBS.

La posizione degli elementi geologici in riferimento alle progressive chilometriche di progetto è da intendersi sempre con un margine di incertezza variabile, ma comunque almeno dell'ordine di alcune decine di metri, e ciò in considerazione, da un lato, della complessità litostratigrafica e strutturale delle formazioni attraversate, dall'altro della copertura topografica che limita la possibilità di estrapolare con precisione in profondità l'andamento dei contatti geologici osservati in superficie. Laddove siano presenti dei sondaggi geognostici, il margine di indeterminazione è ovviamente più ridotto e la corrispondente ricostruzione geologica più precisa.

La descrizione generale viene affrontata per singola WBS di linea, da sud verso nord; tutti i riferimenti a "destra" e "sinistra" nel testo che segue sono quindi intesi ipotizzando una direzione di scavo da sud verso nord, per progressive crescenti.

In generale, la suddivisione del tracciato per grandi unità geologiche è la seguente:

- pk 0+000 - 8+960<sup>BP</sup> ca.: Argille a Palombini del p.so della Bocchetta;
- pk 8+950<sup>BP</sup> - 10+670<sup>BP</sup> ca.: zona milonitica di Isoverde, ad argilloscisti filladici e argilloscisti neri, con scaglie tettoniche di metacalcarei scisti micaceo-carbonatici, serpentinoscisti, metabasalti, scisti silicei, scisti carbonatici liassici, Calcari di Gallaneto, anidriti e gessi;
- pk 10+670<sup>BP</sup> - 19+620<sup>BP</sup> ca.: Argille a Palombini del p.so della Bocchetta con intercalazioni di metabasalti;
- pk 19+620<sup>BP</sup> - 34+300 ca.: Bacino Terziario Piemontese (BTP)
- pk 34+300 - 38+500 ca.: successioni post-messiniane + Quaternario (depositi alluvionali del conoide del T. Scrivia)
- pk 38+500 – termine linea: Quaternario (depositi alluvionali del conoide del T. Scrivia)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Foglio 115 di 157
GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00		

La descrizione delle condizioni geologiche attese lungo il tracciato segue uno schema che sintetizza i seguenti aspetti:

- unità geologica
- formazioni attraversate
- litologia
- geomorfologia (se rilevante)
- strutture duttili
- stratificazione (se presente)
- strutture fragili
- rapporti tra geologia e fronte di scavo
- criticità particolari

## 8.1 Unità tettonometamorfica Figogna

WBS interessate:

		<i>binario pari</i>	<i>binario dispari</i>		
PROGRESSIVE CRESCENTI ↑		Galleria di valico - GN14R	Galleria di valico - GN15R	N O R D	↑
		Camerone innesto finestra Vallemme – GN14P	Camerone innesto finestra Vallemme – GN15Q		
		Galleria di valico - GN14M, GN14N	Galleria di valico - GN15N, GN15P		
		Camerone innesto finestra Castagnola - GN14L	Camerone innesto finestra Castagnola - GN15L		
		Galleria di valico – GN14E, GN14F, GN14J, GN14K	Galleria di valico – GN15F, GN15G, GN15J, GN15K		
		Camerone innesto finestra Polcevera – GN14D	Camerone innesto finestra Polcevera – GN15D		
		Galleria di valico - GN14C	Galleria di valico - GN15C		
		Camerone tipo B2 interconness. Voltri - GN14B	Camerone tipo B2 interconness. Voltri - GN15B		
		Galleria di valico - GN14A	Galleria di valico - GN15A		
		Camerone di tipo "C" - GN13 imbocco S Valico attraversamento del Rio Trasta Imbocco N Campasso Galleria Campasso Imbocco S Campasso		S U D	

### 8.1.1 Formazioni attraversate

- Argille a Palombini del Passo della Bocchetta, sottounità degli Argilloscisti di Costagiutta (AGI) e degli Argilloscisti di Murta (AGF).
- Metabasalti del Monte Figogna (B').
- Metasedimenti silicei di Madonna della Guardia (...)

### 8.1.2 Litologia

All'interno dell'unità Figogna, la formazione delle Argille a Palombini rappresenta l'unità geologica largamente dominante per buona parte del tracciato, tra le pk 0+000 e 19+575<sup>BP</sup>. Si tratta di una

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 116 di 157

formazione costituita essenzialmente da metapeliti, suddivisa, dove possibile, nelle due sottunità degli Argilloscisti di Costagiutta (AGI) con i tipici interstrati calcarei ("Palombini") e degli Argilloscisti di Murta (AGF, senza interstrati calcarei). Spesso i rapporti geometrici tra le due litofacies a quota tunnel sono definibili solo qualitativamente, a causa sia di una certa convergenza di facies, sia della transizione graduale di natura stratigrafica, sia infine delle notevoli complicazioni per piega che intercorrono a tutte le scale.

AGF: argilloscisti più o meno siltosi (metapeliti), da grigio scuro a grigio-nerastri, con strati centimetrici di metasiltiti e metaareniti e con sporadiche intercalazioni centimetriche di calcari detritici.

AGI: argilloscisti grigi a patina sericitica, con strati e banchi di calcari micritici  $\pm$  silicei, di colore grigio o grigio-bruno.

In entrambe le litofacies sono diffusissime lenti e noduli biancastri cm-dm, a qz  $\pm$  cc di origine metamorfica, sia concordanti sia discordanti rispetto alla scistosità principale (SP).

L'unità delle Argille a Palombini può includere al proprio interno lenti e masse allungate, di dimensioni dm-km, di metavulcaniti basaltiche (B'), eventualmente associate a scisti silicei varicolori (dM), che in genere indicano la posizione del top stratigrafico. Metabasalti e scisti silicei sono comunque assenti a sud della pk 9+000.

B': metabasalti di colore variabile dal grigio-verde al verde scuro, da massicci a scistosi a microgranulari, talora con tessiture a pillow e relitti di tessiture brecciate (*pillow-breccia*) e con frequenti zonature composizionali. L'ammasso è permeato da numerose vene mm-dm a calcite  $\pm$  albite. L'alterazione, quando presente, è rappresentata da aloni rossi dovuti alla probabile ossidazione di ematite, mineralizzazioni a manganese, solfuri.

I corpi maggiori di metabasalti, di dimensioni almeno ettometriche o pluriettometriche, individuati dai sondaggi profondi sono localizzati:

- tra le pk<sup>BP</sup> 12+600 e 12+900;
- tra le pk<sup>BP</sup> 15+830 e 16+430;
- tra le pk<sup>BP</sup> 17+790 e 18+180;
- tra le pk<sup>BP</sup> 18+850 e 19+330.

Non è escluso che tali corpi possano essere notevolmente più estesi di quanto dedotto in base ai dati di sondaggio. Il contatto tra i metabasalti e gli argilloscisti può essere o di tipo duttile saldato o associato a piani di taglio cataclastico di spessore anche pluridecamentrico; questi piani di taglio sono in genere legati a riattivazioni di preesistenti piani di taglio duttile sin-metamorfici. È quindi probabile che sia una strutturazione a zone di taglio duttili e/o duttili-fragili a controllare la distribuzione geometrica delle masse di metabasalto all'interno degli argilloscisti.

### 8.1.3 Strutture duttili

La scistosità principale (SP) è una scistosità composita (S1+S2), interessata da serie di pieghe a scala da millimetrica a chilometrica, da aperte a serrate, spesso disarmoniche, di fase D3. Le pieghe D3 hanno vergenza a W, asse diretto tra NNW e NNE (subparallelo al tracciato di linea) e



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 117 di 157</p>

piano assiale a medio-basso angolo immergente verso ENE-ESE. Il piano assiale è spesso associato allo sviluppo di clivaggi e di piani di taglio inverso, più frequenti in zona di cerniera e di fianco rovescio.

La SP immerge di 10-40° tra ESE e ENE (fianchi lunghi delle pieghe D3), 60-80° tra WNW e WSW (zone di cerniera D3) e 60-80° nuovamente verso ENE -ESE (fianchi corti rovesciati D3). Lo stile disarmonico delle pieghe D3 fa sì che vi sia comunque una certa dispersione delle giaciture della SP a scala locale, con scostamenti anche significativi dalle direzioni medie sopra indicate. La presenza di pieghe serrate D2, coassiali con le pieghe D3, può complicare ulteriormente l'assetto strutturale a scala locale.

Il parallelismo degli assi delle pieghe dam-km di fase D2 e D3 rispetto all'asse di linea, fa sì che lungo la galleria possano essere incontrate variazioni di litofacies anche abbastanza frequenti e del tutto imprevedibili, rispetto a quanto riportato sul profilo, poiché variazioni di direzione degli assi di solo pochi gradi implicano lo spostamento dei contatti litologici di decine o centinaia di metri lungo l'asse tunnel.

#### 8.1.4 Strutture fragili

In generale, gli argilloscisti sono molto fratturati e alterati, per fenomeni di ossidazione, alterazione dei feldspati, disgregazione meccanica ad opera del gelo, ecc., nei primi 2-5 m ca. dalla superficie, localmente anche a profondità maggiori, fino a 15-20 m. Ciò riveste una certa importanza esclusivamente per le zone di imbocco delle gallerie e per i settori a più bassa copertura topografica, richiedendo in generale opere di sostegno sia delle trincee di imbocco sia dei tunnel nei primi metri di scavo.

Ad essere potenzialmente interessate da questo problema sono principalmente le zone degli imbocchi sud e nord della galleria Campasso e dell'imbocco sud della galleria di valico.

In condizioni normali, la densità di fratturazione dell'ammasso roccioso indisturbato è da bassa a molto bassa, con giunti a spaziatura dm-m; gli RQD determinati in base alle carote di sondaggio sono > 70 per più del 60% della lunghezza totale carotata; valori compresi tra 40 e 60 sono circa il 20% del totale, mentre valori < 20 (20% del totale) si riscontrano esclusivamente in zone di forte fratturazione, quasi esclusivamente nella fascia superficiale, fino a 25 m di profondità o in prossimità di zone di faglia.

Nei metabasalti il grado di fratturazione è da medio-alto a molto alto (in prossimità delle zone di faglia), a causa della relativa maggiore rigidità del litotipo. Parte della deformazione fragile all'intorno dei corpi maggiori di metabasalto può scaricarsi attraverso la riattivazione di preesistenti piani di taglio duttile; in questo caso, i metabasalti possono essere bordati da piani di taglio cataclastico, spesso a basso angolo.

Si osserva lo sviluppo di fratture più nette all'interno di livelli più compatti (ad es. i "Palombini" o i metabasalti) e di clivaggi di fratturazione pervasivi nei litotipi fillosilicatici, dove gran parte della deformazione fragile viene assorbita da scorrimenti intra-foliazione. La discontinuità principale negli argilloscisti è rappresentata dalla SP, lungo cui l'ammasso si suddivide in lastre e scaglie con spaziatura cm-dm. Ciò potrebbe determinare instabilità localizzate e possibili splaccamenti, principalmente in calotta.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 118 di 157</p>

Per quanto riguarda le faglie principali, va sottolineato che queste sono raramente osservabili in affioramento, a causa sia della bassa percentuale di affioramento dovuta a una copertura detritico-colluviale pressoché ubiquitaria, sia della folta vegetazione che prevale su quasi tutti i versanti. Le faglie classificate come “certe” nel profilo interpretativo sono state osservate in sondaggio o, in rari casi, direttamente sul terreno; le faglie indicate come “presunte” sono state dedotte in base ai dati cartografici preesistenti e/o ai dati fotogeologici. In sintesi, per quanto riguarda le strutture probabilmente, o possibilmente intercettate dal tracciato, si può riassumere quanto segue:

- **WBS GN13 - Camerone tipo “C”:** una faglia ad alto angolo (inclinazione 60-70° ca.) di spessore plurimetrico, attraversata dal sondaggio SC18 e corrispondente a un fotolineamento di direzione NNE-SSW, potrebbe intercettare l’asse del camerone intorno alla PK 1+625. La potenza reale della *damage zone* associata è di circa una decina di metri (20-30 m lungo scavo). La zona di faglia dovrebbe comparire sul paramento sinistro per spostarsi poi gradualmente verso destra con l’avanzamento dello scavo.
- **WBS GN14A<sup>BP</sup>:** due faglie presunte, di spessore plurimetrico, con inclinazione di circa 60-70°, potrebbero intercettare l’asse dello scavo della Galleria di Valico intorno alle PK<sup>BP</sup> 1+730 ca. e 1+900 ca. La faglia attraversata dal sondaggio SC18 e intercettata dal camerone GN13, descritta al punto precedente, si collocherebbe appena fuori dalla tratta in esame, ma potrebbe ancora essere presente la *damage zone* ad essa associata. In corrispondenza delle zone di faglia si prevede un decremento delle caratteristiche geomeccaniche dell’ammasso per uno spessore reale di circa una decina di metri (20-30 m lungo scavo, in funzione dell’angolo di intersezione).
- **WBS GN14B<sup>BP</sup>:** un fotolineamento di direzione ESE-WNW con persistenza > 1000 m e giacitura apparentemente subverticale, potrebbe intersecare l’asse scavo intorno alla pk<sup>BP</sup> 2+400; una seconda faglia presunta è proiettata sul profilo intorno alla pk<sup>BP</sup> 2+470, senza raggiungere la quota tunnel.
- **WBS GN14C<sup>BP</sup>:** alcune faglie individuate dai sondaggi potranno intersecare l’asse del tracciato:
  - pk<sup>BP</sup> 4+540÷4+550 - faglia attraversata dal foro SC21 tra 143 e 165 m; *master fault* potente da 4 a 8 m ca., inclinazione ipotizzata tra 70 e 80° verso NNE;
  - pk<sup>BP</sup> 4+850÷4+860 - faglia attraversata dal foro AA301G116 tra 220.5 e 238.5 m; *master fault* potente 6 m ca., inclinazione presunta di circa 70-80° verso NNE.

Entrambe le faglie farebbero parte del set di strutture e fotolineamenti di direzione WNW-ESE. Altre faglie presunte, potenzialmente in grado di intersecare l’asse tunnel, sono:

- pk<sup>BP</sup> 2+675 - faglia presunta, in assenza di evidenze dirette di terreno, indicata nella cartografia CARG;
- pk<sup>BP</sup> 3+440 - faglia presunta, identificata nella cartografia CARG;
- pk<sup>BP</sup> 4+290 - faglia osservata sul terreno e coincidente con un fotolineamento parallelo al set WNW-ESE e alle due faglie intercettate dai sondaggi;
- pk<sup>BP</sup> 5+120 - faglia presunta.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 119 di 157

Alcuni fotolineamenti particolarmente persistenti (500-1000 m) potrebbero corrispondere a strutture fragili estese a quota galleria (cfr. profilo), tuttavia la loro interpretazione come vere e proprie faglie è ad oggi incerta.

- **WBS GN14E<sup>BP</sup>**: nella tratta interessata da queste WBS, le faglie riportate nella carta geologica non sembrano in grado di determinare un significativo peggioramento delle condizioni geomeccaniche in galleria. Anche le faglie presunte identificate dalla cartografia CARG sono strutture di persistenza limitata, prive di riscontri oggettivi di superficie e che, probabilmente, non arrivano a quota tunnel; non si esclude comunque che alcune strutture minori, non affioranti, possano essere intercettate dallo scavo.

A titolo di ipotesi, sono proiettate dalla superficie alla quota tunnel due faglie, intorno alle pk<sup>BP</sup> 5+460 e 5+760 ca.; alcuni fotolineamenti particolarmente persistenti (8-900 m) potrebbero corrispondere a strutture persistenti, di cui è ipotizzata la presenza intorno alle pk<sup>BP</sup> 6+450, 7+000 e 7+370, sia pur con un elevato grado di incertezza.

In generale, constatata l'assenza di faglie principali, più che l'esatta collocazione delle singole strutture di secondo ordine, estremamente difficile da definire, può essere di maggiore utilità, a livello costruttivo, considerare la spaziatura media presunta delle strutture, che per la tratta in esame può essere stimata intorno a 300-500 m ca.

- **WBS GN14J<sup>BP</sup>**: zona di faglia presunta, subverticale, tra le pk<sup>BP</sup> 12+650 e 12+675. Alcune faglie segnalate nel Foglio "Genova" sono strutture solamente presunte, senza chiare evidenze di affioramento, che non sembrano interessare il tracciato. Alcuni fotolineamenti potrebbero invece essere riconducibili a faglie minori eventualmente interferenti con l'opera, tuttavia la loro presenza è ad oggi ipotetica.
- **WBS GN14K<sup>BP</sup>**: nel settore sono presenti due faglie principali, con direzione WSW-ENE, riportate nel profilo interpretativo alle pk<sup>BP</sup> 13+220 e 14+000, con una *damage zone* stimata intorno a 20-30 m. Si tratta di due faglie individuate nel Foglio "Genova" e che parrebbero dislocare i contatti tra metabasalti, metagabbri e argilloscisti; la loro estensione a quota tunnel è ipotetica.

Alcune faglie minori in parte individuate da fotolineamenti potrebbero eventualmente intersecare l'opera, tuttavia la loro presenza e posizione non sono determinabili con precisione alla profondità dell'opera.

- **WBS GN14M<sup>BP</sup>**: nel tratto in esame non sono presenti faglie principali affioranti; una zona di faglia principale (*damage zone* di 20-30 m ca.) è ipotizzata intorno alla pk<sup>BP</sup> 16+180.

Il sondaggio SR14 (a nord del tratto in esame) ha attraversato per diverse decine di m una sequenza di piani di taglio cataclastico, associati a protobrecce, breccie, cataclasi e *gouge*; si ritiene che questo insieme di rocce di faglia definisca una zona di taglio duttile, potente da 30 a 60 m ca., riattivata in regime cataclastico, con giacitura a basso angolo e, probabilmente, con direzione coerente con l'andamento circa N-S della Zona Sestri-Voltaggio. Questo, e altri piani di taglio analoghi, potrebbero essere responsabili della comparsa delle masse maggiori di metabasalto all'interno della sequenza di argilloscisti; i metabasalti rappresenterebbero quindi in molti casi delle scaglie tettoniche, piuttosto che delle intercalazioni stratigrafiche (colate localizzate).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 120 di 157

- **WBS GN14N<sup>BP</sup>**: nel tratto in esame viene ipotizzata la presenza di un piano di taglio simile a quello individuato dal foro SR14, che controllerebbe la comparsa dei metabasalti intorno alla pk<sup>BP</sup> 15+830 e anche di eventuali altre scaglie minori. L'intersezione della zona di taglio con la galleria è ipotizzata tra le pk<sup>BP</sup> 15+650 e 15+900, quindi per circa 250 m. È probabile che a questa o ad altre zone di taglio simili si associno scaglie tettoniche di metabasiti a tessitura cataclastica, come riscontrato in sondaggio.

I sondaggi SR14 e L2-AS3 hanno attraversato per diverse decine di m una sequenza di piani di taglio cataclastico, associati a protobrecce, brecce, cataclasiti e *gouge*; si ritiene che questo insieme di rocce di faglia definisca una zona di taglio duttile, potente da 30 a 60 m ca., riattivata in regime cataclastico, con giacitura a basso angolo e, probabilmente, con direzione coerente con l'andamento circa N-S della Zona Sestri-Voltaggio. Questo, e altri piani di taglio analoghi, potrebbero essere responsabili della comparsa delle masse maggiori di metabasalto all'interno della sequenza di argilloscisti; i metabasalti rappresenterebbero quindi in molti casi delle scaglie tettoniche, piuttosto che delle intercalazioni stratigrafiche (colate localizzate).

Nel tratto in esame questo piano di taglio principale viene intercettato tra le pk<sup>BP</sup> 16+500 e 16+900, quindi per circa 400 m; è possibile che la zona di taglio sia ribassata da alcune faglie subverticali più recenti; al suo interno è inoltre prevedibile la presenza di scaglie tettoniche di metabasalti, più o meno deformati e localmente con tessitura brecciata e cataclastica, in relazione alla deformazione fragile.

- **WBS GN14R<sup>BP</sup>**: lo studio dei fotolineamenti e le evidenze morfologiche di terreno indicano la presenza di un sistema di faglie ben sviluppato con direzione circa ESE-WNW e di numerose strutture minori (subpersistenti) dirette ENE-WSW e NNW-SSE.

Sono ipotizzate numerose faglie principali alle pk<sup>BP</sup>:

- 17+975÷18+000; questa faglia è stata intercettata dal sondaggio L2-AS4/AS4bis che ha evidenziato la presenza di diverse decine di m di rocce di faglia, sia negli argilloscisti sia nei metabasalti; appare evidente che il sondaggio ha seguito una zona di faglia subverticale, intercettando più volte lo stesso involuppo di piani di taglio.
- 18+650,
- 18+950,
- 19+075,
- 19+330,
- 19+575; questa faglia è stata intercettata dal sondaggio SR15, che ha evidenziato la presenza di un *gouge* argilloso ad elementi di argilloscisti e basalti.
- 20+320
- 20+815.

Non si hanno dati certi per stimare il rigetto di queste strutture, che tuttavia, pur non affiorando in superficie, sembrano indurre alcune dislocazioni importanti a livello dei principali contatti litologici. Si ipotizza in particolare che tra le pk<sup>BP</sup> 19+200-19+700 queste faglie dislochino la superficie di appoggio basale delle unità sedimentarie sul basamento metamorfico, con rigetto di diverse decine di m, come pare suggerito dal foro SR15, che al di sotto delle unità del BTP incontra ripetizioni basalto/argilloscisto/basalto in concomitanza con rocce di faglia di varia



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 318"> <tr> <td>Foglio 121 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 121 di 157
Foglio 121 di 157		

natura. All'interno delle zone di faglia principali saranno spesso presenti scaglie tettoniche e litoni di litotipi diversi, trascinati lungo il piano di movimento principale. La potenza delle *master faults* è in genere m-dam, la *damage zone* associata è dell'ordine di 20-40 m.

Lungo il tunnel saranno sicuramente incontrate numerose faglie minori (*master fault* < 1 m, *damage zone* < 5 m), impossibili da collocare con precisione; tali faglie possono essere riferibili a i) strutture fragili tardive discordanti rispetto a tutte le altre strutture ("faglie" s.s.), ii) zone di *slip* flessurale intra-foliazione, parallele o subparallele alla SP o iii) piani di taglio inverso a medio-basso angolo, paralleli ai clivaggi di piano assiale sin-D3 e associati allo sviluppo di fasce di cataclasi dm-m.

Tutte queste strutture minori non rappresentano comunque un fattore di particolare criticità per le condizioni geomeccaniche dell'ammasso, inducendo solo peggioramenti modesti e localizzati, anche se potrebbero veicolare alcune venute d'acqua. La frequenza in sondaggio delle faglie s.s. minori è dell'ordine di una struttura ogni centinaio di m o più, mentre i piani di taglio cataclastico a basso angolo saranno molto frequenti, poiché si ritrovano in sondaggio con una spaziatura da decametrica a pluridecametrica. La loro presenza potrebbe indurre distacchi in calotta e richiedere un infittimento dei sostegni (chiodature).

#### 8.1.5 Geomorfologia

Dal punto di vista geomorfologico vi sono alcuni aspetti di interesse unicamente per quanto riguarda i tratti di linea prossimi alla superficie, vale a dire gli imbocchi delle gallerie e in particolare l'imbocco N della galleria Campasso e l'imbocco S della galleria di Valico, entrambi affacciati sulla piccola valle laterale del Rio Trasta (GE), tra le pk 1+160 e 1+232.

In questo tratto le opere interesseranno anche i terreni della copertura quaternaria, in particolare depositi alluvionali a granulometria ghiaioso-sabbiosa molto grossolana, di spessore esiguo (0,5 - 1 m ca.), coltre detritico-colluviale e depositi di frana, costituiti da limi argillosi localmente sabbiosi, inglobanti frammenti da centimetrici a pluridecimetrici di argilloscisti. Lo spessore medio dei depositi di versante varia da 2-4 m ca., fino a 20 m ca. in presenza di accumuli rimodellati di frana (es. imbocco sud Galleria di Valico).

In tutta l'area sono attivi processi di ruscellamento sui versanti, di erosione concentrata di fondo lungo fossi ed impluvi laterali e di erosione di fondo e spondale lungo il Rio Trasta. I versanti sono suscettibili al dissesto superficiale, per le mediocri caratteristiche geotecniche e geomeccaniche dei terreni e del substrato alterato.

È presente la nicchia rimodellata di una frana di scivolamento a carico della coltre detritica, presso l'imbocco N della Galleria Campasso (sponda destra del Rio Trasta), con accumulo, parzialmente vegetato e rimodellato, al piede del versante. Un secondo e più esteso accumulo di frana quiescente, si trova presso l'imbocco S della Galleria di Valico (sponda sinistra), dove raggiunge uno spessore di 15-20 m; l'accumulo è caratterizzato da diffusi ristagni d'acqua dovuti alla scarsa capacità drenante ed è interessato da un colamento lento che origina una morfologia ondulata.

#### 8.1.6 Interazioni geologia/scavo

Come caratteri generali tipici di tutto il tratto che attraversa la formazione delle Argille a Palombini con masse di metabasalti, si può riassumere quanto segue:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 122 di 157</p>

- a) l'ammasso roccioso è litologicamente molto omogeneo alla scala del fronte di scavo tranne che, probabilmente, all'interno della litofacies AGI, dove sono presenti di livelli calcarei compatti, di spessore fino a plurimetrico, alternati a livelli di argilloscisti foliati meccanicamente meno resistenti. La presenza di fronti misti, con contatti litologici tra litotipi a differente competenza meccanica è ipotizzabile anche in funzione della possibile presenza di lenti minori (m-dam) di basalti  $\pm$  scisti silicei, inglobate negli argilloscisti.
- b) In generale, all'interno delle Argille a Palombini ed associate masse di metabasalti sono stimate (al di fuori delle zone di faglia) condizioni di stabilità a breve-medio termine, con locali situazioni di instabilità, che sono strettamente funzione dei rapporti di intersezione geometrica tra asse di scavo e strutture geologiche; in particolare sono possibili splaccamenti lungo la SP, principalmente in calotta o sulla parte alta dei paramenti; in presenza di scistosità verticalizzate da pieghe D3 potranno verificarsi splaccamenti anche nella parte bassa dei paramenti.
- c) É presente una forte anisotropia strutturale, data dalla fitta SP metamorfica e dalle sue continue variazioni di orientazione media rispetto all'asse di scavo, causate dalle pieghe D2+D3. La SP è interessata da pieghe da aperte a serrate a tutte le scale con assi approssimativamente paralleli all'asse di linea; di conseguenza, la SP sarà inclinata prevalentemente verso il paramento sinistro o verso il paramento destro, con angoli estremamente variabili per effetto della disarmonicità della deformazione duttile.
- d) I metabasalti saranno caratterizzati da una maggiore omogeneità tessiturale e strutturale, tuttavia, essendo corpi relativamente più rigidi rispetto agli argilloscisti incassanti, saranno mediamente più fratturati; inoltre, ai bordi, è prevedibile che si possano concentrare deformazioni di taglio legate al contrasto di competenza con gli argilloscisti. Queste zone di taglio possono essere associate a riattivazioni cataclastiche di modesta entità (livelli di gouge di spessore cm-m), che contribuiscono a determinare un elemento di debolezza meccanica sul fronte di scavo senza però indurre un significativo peggioramento dei parametri geomeccanici, oppure a zone di taglio dello spessore di diverse decine di metri e con persistenza verosimilmente pluriometrica; in tal caso, il peggioramento delle caratteristiche geomeccaniche è marcato e interessa grandi volumi di roccia.

Questa situazione è attesa in particolare tra le pk<sup>BP</sup> 15+500 e 17+000 (WBS<sup>BP</sup>: GN14M, GN14N), dove la probabile giacitura a basso angolo di questi piani di taglio può indurre condizioni geologiche sfavorevoli e diffusi problemi di stabilità del cavo e di convergenze elevate (copertura > 500 m) per tratte di lunghezza variabile da alcune decine ad alcune centinaia di m.

- e) Il parallelismo tra l'asse del tunnel e le principali direzioni strutturali, con particolare riferimento agli assi di piega D2 e D3, ma anche alle strutture fragili che costituiscono la riattivazione più recente della zona Sestri-Voltaggio. In considerazione di ciò, si sottolinea che le geometrie rappresentate nel profilo interpretativo sono, spesso, delle geometrie apparenti, mentre la geometria reale delle strutture è meglio visualizzata nelle sezioni trasversali alla linea. Ciò comporta anche che sono probabili significative variazioni dell'assetto strutturale locale, con bruschi cambiamenti anche nello spazio di pochi metri,

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 123 di 157

legate principalmente alla deformazione D3, e che tali cambiamenti non possono essere prevedibili.

- f) Il contatto con le formazioni sedimentarie del BTP è localizzato intorno alla pk<sup>BP</sup> 19+600-19+700. Anche se la superficie di appoggio è una superficie erosionale netta, pur se caratterizzata da probabili irregolarità, ci si attende che questo contatto possa essere dislocato da deformazioni per faglia trascorrente, con rigetti potenzialmente importanti (decine o centinaia di m) e con scaglie tettoniche di litotipi diversi.

### 8.1.7 Criticità particolari

Riassumendo le principali criticità di natura geologica che caratterizzano lo scavo del tratto di linea compreso tra le pk 0+000 e 19+700<sup>BP</sup>, si prevede quanto segue:

- 1) l'imbocco sud della Galleria di Valico e la successiva WBS GN12 saranno caratterizzati dall'interferenza con un accumulo di frana poggiate su un substrato di argillocisti fortemente degradati, i primi 15-30 m di scavo in sotterraneo incontreranno in calotta dapprima detrito incoerente, quindi un setto in roccia alterata di ridotto spessore. Sono possibili venute d'acqua all'interfaccia coltre/substrato e substrato alterato/sano e potenziali problemi di instabilità dello scavo e della volta, con necessità di ricorrere al supporto di tutta la tratta.
- 2) Lungo la WBS GN14A<sup>BP</sup> è previsto lo scavo di un tratto con copertura < 50 m tra le pk<sup>BP</sup> 1+850 e 1+930 ca.
- 3) Tra le pk 2+700 e 6+000 verrà probabilmente attraversato più volte, e in maniera del tutto imprevedibile, il limite transizionale tra le litofacies AGF e AGI delle Argille a Palombini. La presenza di pieghe D2+D3 a tutte le scale introdurrà un'ulteriore incertezza nel prevedere la localizzazione e la lunghezza delle singole tratte; percentualmente si può stimare un 60-70% in AGI e un 30-40% in AGF.
- 4) In corrispondenza del camerone di tipo B2 / interconnessione Voltri BP (WBS GN14B) è previsto lo scavo di un tratto con copertura < 50 m, tra le pk<sup>BP</sup> 1+850 e 1+930 ca.
- 5) WBS GN14C<sup>BP</sup>: è previsto lo scavo di un breve tratto con copertura topografica < 50 m in corrispondenza dell'attraversamento della valle del Rio Molinassi (pk<sup>BP</sup> 3+200 - 3+220).
- 6) WBS<sup>BP</sup> GN14M / GN14N: è previsto l'attraversamento di zone di taglio cataclastico di diversi metri o decine di metri di spessore, con direzione subparallela all'asse tunnel e giacitura a basso angolo; sono attesi diffusi problemi di stabilità del cavo per tratte di lunghezza variabile da alcune decine ad alcune centinaia di m, dato il parallelismo delle strutture con la direzione di avanzamento.
- 7) WBS<sup>BP</sup> GN14R: il tratto compreso tra le pk<sup>BP</sup> 17+700 e 19+700 è quello più complesso dal punto di vista litologico, data la probabile frequente presenza di masse di metabasalti di dimensioni estremamente variabili (dam-km), il contatto con le formazioni sedimentarie del BTP e la probabile presenza di numerose zone di faglia trascorrente. In linea generale, si ripropongono, talora accentuate, le stesse problematiche riassunte in precedenza:
  - a) elevata eterogeneità litologica e presenza frequente di fronti misti, con contatti litologici tra litotipi a differente competenza meccanica;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 124 di 157

- b) impossibilità di determinare con esattezza l'estensione dei corpi di metabasalti ( $\pm$  scisti silicei associati) individuati dai sondaggi;
  - c) impossibilità di definire con certezza se siano presenti masse minori (m-dam) nei settori non investigati dai carotaggi;
  - d) presenza di numerose zone di faglia con scaglie tettoniche di litotipi diversi;
  - e) transizione alle unità sedimentarie del BTP caratterizzata da irregolarità primarie della superficie di appoggio basale e da dislocazioni significative per faglia;
  - f) incertezze sullo spessore delle sequenze detritiche basali (Brecce di Costa Cravara), caratterizzate da notevoli e frequenti cambiamenti laterali.
  - g) elevata anisotropia strutturale, a causa della SP molto pervasiva e delle frequenti intercalazioni carbonatiche nelle Argille a Palombini.
- 8) Andamento della copertura topografica: un lungo tratto di linea è caratterizzato da copertura topografia > 400 m, tra le pk<sup>BP</sup> 10+670 e 17+060; al suo interno vi sono due tratti con copertura > 500 m, compresi tra le pk<sup>BP</sup> 11+550 e 12+900 e tra le pk<sup>BP</sup> 14+550 e 15+900.
- In particolare, per tutta l'estensione delle zone di taglio che interessano le WBS GN14M-GN14N (cfr. punto 6) è presente una copertura > 400 m.

## 8.2 Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde (pk<sup>BP</sup> 8+950 – 10+670)

WBS interessate:

<i>binario pari</i>	<i>binario dispari</i>
Galleria di valico – GN14F, GN14J	Galleria di valico – GN15G, GN15J

### 8.2.1 Formazioni attraversate

- Zona milonitica di Isoverde:
  - argiloscisti filladici (f)
  - argiloscisti neri Mn
  - calcari di Gallaneto (cG)
  - gessi del Rio Riasso (gC)
  - scaglie tettoniche di metabasalti, calcari, serpentiniti

### 8.2.2 Litologia

In questo tratto, che attraversa la Zona milonitica di Isoverde, prevalgono argiloscisti filladici milonitici (f), da grigio-argentei a grigio scuro, con vene trasposte di quarzo; sono inoltre presenti: i) subordinati argiloscisti neri milonitici (Mn) con intercalazioni di calcari impuri grigio-nerastri fortemente laminati e rari metacalcari micacei a tessitura laminata e trasposta e ii) scaglie tettoniche m-dam di metabasalti, serpentiniti, calcari o evaporiti, con tessitura intensamente laminata, intercettate dai fori SR11 (pk<sup>BP</sup> 10+480) e SR12 (pk<sup>BP</sup> 10+750).



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 125 di 157

Nella parte terminale della WBS GN14<sup>FBP</sup> i sondaggi indicano la presenza dei Calcari di Gallaneto (cG), comprendenti metacalcari grigi, scisti carbonatici grigio-argentei e locali bancate di calcari cristallini tegulari grigio chiaro e di calcari scuri a tessitura massiccia, con un fitto *stockwork* di vene carbonatiche secondarie.

Tra le pk<sup>BP</sup> 10+500 - 10+540 (WBS GN14J), in corrispondenza di una zona di faglia intercettata dal sondaggio SR11, sono presenti scaglie tettoniche di anidriti compatte e non carsificate, rinvenute anche in affioramento a W dell'asse di linea.

### 8.2.3 Strutture duttili

Questa zona è caratterizzata dalla presenza di una SP milonitica pervasiva (S1 ± S2), intensamente laminata e stirata, inglobante lenti tettoniche di litotipi diversi, con giacitura media immergente verso SSE ma fortemente dispersa per effetto delle pieghe D2 e D3.

La deformazione D3, in particolare, genera pieghe aperte e disarmoniche a tutte le scale, con vergenza verso W o WSW, associate a piccoli piani di taglio cataclastico, immergenti verso E-ENE, con cinematismo prevalentemente inverso, paralleli al piano assiale e più frequenti in zona di cerniera e di fianco inverso.

### 8.2.4 Strutture fragili

Nel profilo geologico sono individuate alcune faglie principali, osservate in sondaggio o riportate dalla cartografia CARG; queste sono ubicate alle pk<sup>BP</sup>:

- 9+760 (faglia CARG),
- 9+820 (sondaggio L2-CR3)
- 10+320 (sondaggio L2-CR5) - direzione WSW-ENE
- 10+300 ÷ 10+330 (sondaggio CR5) - direzione WSW-ENE
- 10+500 ÷ 10+540 (sondaggio SR11) - direzione WSW-ENE

Si tratta di strutture composite, con piani principali anastomosati, associati a fasce di *gouge* argilloso di spessore dm-m, che avvolgono litoni di roccia integra ma fratturata e tettonizzata. La *damage zone* ha potenza complessiva decametrica. In particolare, la faglia alla pk<sup>BP</sup> 10+320, con direzione WSW-ENE ribassa, probabilmente con un movimento di tipo trascorrente obliquo, il blocco N, portando gli argilloscisti milonitici a contatto con i litotipi carbonatici

### 8.2.5 Interazioni geologia/scavo

In tutto il tratto, come all'interno delle Argille a Palombini, l'asse tunnel è subparallelo agli assi delle pieghe più recenti (D3), quindi le geometrie rappresentate nel profilo riflettono una giacitura apparente; i contatti litologici potranno spostarsi anche di molto, al variare di solo pochi gradi della direzione degli assi di piega.

L'ammasso roccioso è litologicamente eterogeneo, anche alla scala del fronte di scavo, per la presenza di lenti e intercalazioni tettoniche di litotipi diversi. È presente, inoltre, una forte anisotropia strutturale, dovuta sia alla presenza di frequenti intercalazioni di litotipi a comportamento reologico e

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 126 di 157

geomeccanico differenziato, sia alla foliazione milonitica pervasiva e alle sue continue variazioni di orientazione media rispetto all'asse di scavo.

All'interno delle eventuali lenti tettoniche di metabasalti è prevedibile una maggiore omogeneità tessiturale e strutturale, mentre ai bordi è prevedibile che si possano concentrare deformazioni di taglio legate al contrasto di competenza con gli argilloscisti incassanti, potenzialmente associate a un marcato peggioramento dei parametri geomeccanici dell'ammasso.

### 8.2.6 Criticità particolari

Sono stimate (al di fuori delle zone di faglia) condizioni di stabilità a breve-medio termine, con possibili splaccamenti controllati dalla geometria di intersezione tra la foliazione e l'asse tunnel. In zona di faglia sono ipotizzabili condizioni geomeccaniche da sfavorevoli a molto sfavorevoli, con frequente comparsa di piani tettonici a *gouge* argilloso e marcato decadimento dei parametri.

La presenza di lenti di anidriti non dovrebbe dare luogo a problemi legati al carsismo, poiché in sondaggio questo litotipo appare intatto e compatto.

La copertura topografica è > 400 m per gran parte del tratto considerato.

## 8.3 Bacino Terziario Piemontese

WBS interessate:

		<i>binario pari</i>	<i>binario dispari</i>		
PROGRESSIVE CRESCENTI ↑		Galleria di Serravalle / Scavo meccanizzato – GN1BA, GN1BB, GN1BC	Galleria di Serravalle / Scavo meccanizzato – GN1CA, GN1CB	SUD ↑ NORD	
		Galleria di Serravalle / Camerone tipo "D" – GN1A			
		Galleria di Serravalle / Imbocco sud – GA1K			
		Rilevato di linea – RI11, RI12			
		Trincea di linea – TR12			
		Galleria di valico / Camerone tipo "D" – GN16			
		Galleria di valico / Imbocco nord – GN98	Galleria di valico / Imbocco nord – GN15X		
		Galleria di valico / scavo meccanizzato – GN14W, GN14T, GN14U, GN14V, GA1U	Galleria di valico / scavo meccanizzato – GN15U, GN15T, GN15V, GN15W, GA1U		
		Galleria di valico – GN14R, GN14S	Galleria di valico – GN15R, GN15S		

### 8.3.1 Formazioni attraversate

BTP:

- Breccie di Costa Cravara (cR)
- Formazione di Molare (Fmbc, Fmp, Fma, Fmc) - pk<sup>BP</sup> 19+620 ÷ 23+460
- Formazione di Rigoroso (mR, fR) - pk<sup>BP</sup> 23+460 ÷ 24+685
- Formazione di Costa Montada (uMa, uMb, uMc) - pk<sup>BP</sup> 24+685 ÷ 25+400
- Formazione di Costa Areasa (fC, fCa) - pk<sup>BP</sup> 25+400 ÷ 28+670
- Marne di Cessole (mC, mC1) - pk<sup>BP</sup> 28+670 ÷ 29+905

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 127 di 157</p>

- Formazione di Serravalle (aS) - pk<sup>BP</sup> 29+905 ÷ 31+210
- Marne di S. Agata Fossili (mA1, mA2) - pk<sup>BP</sup> 31+210 ÷ 32+860
- Formazione Gessoso-Solfifera, Membro di Riomaggiore (gS) - pk<sup>BP</sup> 32+860 ÷ 33+270
- Conglomerati di Cassano Spinola (cC) - pk<sup>BP</sup> 33+270 ÷ 33+900

Formazioni quaternarie:

- depositi detritico-colluviali (c)
- depositi alluvionali recenti (fl3)

### 8.3.2 Litologia

Le Breccie di Costa Cravara (cR) non fanno strettamente parte del BTP rappresentando una fase di deposizione di detriti grossolani in ambiente continentale; la loro presenza in galleria è incerta. Si tratta di breccie monogeniche a composizione basaltica, con matrice verdastra ben cementata, con clasti di dimensioni variabili da millimetrici a decimetrici. Roccia abbastanza compatta con rare fratture naturali, irregolari e con patina di ossidazione rossastra.

Nell'ambito della Formazione di Molare, i litotipi intercettati dall'asse di linea sono, in sequenza:

- Fmbc (tratto compreso tra le pk<sup>BP</sup> 19+620 e 19+685): breccie monogeniche a supporto di clasti, ad elementi di serpentiniti e subordinate metaperidotiti in scarsa matrice argillosa grigio-verdastra; localmente presenti blocchi metrici. Litofacies ben cementata, con scarsa maturità composizionale e tessiturale e assenza di strutture sedimentarie.
- Fmp (tratto compreso tra le pk<sup>BP</sup> 19+685 e 23+460 ca.): conglomerati con subordinati livelli arenacei, da clast- a matrix-supported con matrice arenacea, in strati metrici. Ciottoli da subangolosi a ben arrotondati di prevalenti metabasiti, serpentiniti, eclogiti, calcescisti, marmi e micascisti, ± dolomie, ± calcari. I clasti serpentinitici possono raramente contenere asbesto in modeste quantità, concentrato in fratture millimetriche. I clasti hanno dimensioni medie decimetriche, eccezionalmente > 1 m. Gli strati arenacei, di potenza centimetrico-decimetrica, sono costituiti da litareniti con lamine oblique a piccola scala e piano-parallele.
- Fmbc: tra le pk<sup>BP</sup> 22+000 e 22+700 possibili corpi lenticolari di breccie monogeniche ad elementi di serpentiniti e subordinate metaperidotiti, localmente con blocchi metrici, ben cementate.
- FMa: possibili corpi lenticolari (più probabili tra le pk<sup>BP</sup> 21+000 e 22+000) di arenarie da grossolane a fini localmente fossilifere, in strati dm-m gradati e caratterizzati da cementazione differenziale; localmente sono presenti lamine oblique a basso angolo. Sono presenti, soprattutto nella parte inferiore della litofacies, intercalazioni cm-dm di conglomerati e microconglomerati ad elementi caratterizzati da un buon grado di arrotondamento e sfericità. Depositi intensamente bioturbati, con gallerie da bioturbazione di tipo *Thalassinoides* con diametro centimetrico. Localmente alla base dell'unità è presente un livello a grossi ciottoli e blocchi.
- Fmc (tratto compreso tra le pk<sup>BP</sup> 22+740 e pk<sup>BP</sup> 23+055): possibili corpi lenticolari di conglomerati e breccie poligeniche prevalentemente clast-supported, a matrice arenacea

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 128 di 157</p>

grigiastra fortemente cementata. Clasti cm-m costituiti da prevalenti litotipi calcarei e dolomitici, subordinatamente da basalti e metafolioli. La netta dominanza di clasti a composizione carbonatica è la principale causa della forte cementazione che caratterizza la litofacies. Gli elementi di maggiori dimensioni (max. 1-2 m) sono spesso concentrati e allineati secondo la stratificazione. In tutta la litofacies sono presenti livelli metrici di areniti grossolane microconglomeratiche, con laminazione piano-parallela (nei sedimenti più fini) e livelli di breccie calcaree ad elementi centimetrici.

Nonostante l'abbondanza di rocce serpentitiche tra i clasti che compongono la formazione di Molare, la presenza di asbesto è irrilevante, con modeste concentrazioni in rare patine e vene submillimetriche all'interno di alcuni clasti, mai disperso nella matrice.

Il passaggio con la soprastante Formazione di Rigoroso avviene intorno alla pk<sup>BP</sup> 23+460. La linea attraversa nell'ordine:

- litofacies marnosa mR (tratto compreso tra le pk<sup>BP</sup> 23+460 e 24+360): la litofacies è costituita, in prossimità del passaggio alla sottostante formazione di Molare, da alternanze di siltiti micacee e areniti fini bioturbate, di colore giallo-ocra, in strati dm-m, con scarso contenuto fossilifero rappresentato da bivalvi, gasteropodi e frustoli vegetali. Al di sopra seguono marne e marne siltose emipelagiche di colore grigio con stratificazione mal definita e locali intercalazioni decimetriche di arenarie risedimentate e livelli centimetrici lenticolari biancastri vulcano-sedimentari, mineralizzati a zeoliti di Ba.
- Litofacies arenacea fR (pk<sup>BP</sup> 24+360 - 24+685 ca.): marne con livelli di arenarie medio-grossolane, in strati decimetrici, gradati, intensamente bioturbati.

Segue la Formazione di Costa Montada (pk<sup>BP</sup> 24+685 - 25+400), rappresentata, nell'ordine, da:

- litofacies marnosa uMa (pk<sup>BP</sup> 24+685 - 25+025 ca.): marne e marne silicizzate con locali intervalli ricchi in liste e noduli di selce e livelli di arenarie risedimentate;
- litofacies arenitica uMb (pk<sup>BP</sup> 25+025 - 25+200 ca.): arenarie medio-grossolane in strati dm-m, gradati e laminati, localmente presentano un intervallo basale ruditico-conglomeratico, talora fossilifero;
- litofacies marnoso-arenitica uMc (pk<sup>BP</sup> 25+200 - 25+400 ca.): alternanze di arenarie torbiditiche fini e molto fini in strati decimetrici e di peliti in strati cm-m, con rapporto arenarie/peliti < 1.

La successiva Formazione di Costa Areasa (pk<sup>BP</sup> 25+400 – 28+670) è rappresentata da:

- litofacies arenacea fine fCa (pk<sup>BP</sup> 25+400 - 25+610 ca.) areniti medie e fini, da mediamente a ben cementate, in strati dm-m interamente laminati, passanti verso l'alto stratigrafico alla formazione di Costa Areasa s.s. (fC);
- litofacies marnoso-calcareo fC (pk<sup>BP</sup> 25+610 – 28+670): alternanze di strati torbiditici arenaceo-pelitici e livelli di emipelagiti. La facies pelitico-arenacea è costituita da cicli torbiditici di spessore cm-m, con prevalenza della porzione pelitica; le peliti siltose, omogenee e di colore grigio scuro, formano strati di spessore generalmente superiore a quello degli strati arenacei, costituiti da arenarie da medio-grossolane a molto fini. La facies calcareo-marnosa costituisce strati spessi da pochi cm a qualche decina di cm, intercalati agli strati torbiditici; si tratta di marne calcaree debolmente siltose, compatte, omogenee, a frattura concoide.



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 129 di 157</p>

La formazione fC passa, con un contatto transizionale che si sviluppa entro pochi metri, alle Marne di Cessole (mC), attraversate dallo scavo tra le pk<sup>BP</sup> 28+670 e 29+905 e costituite in prevalenza da:

- mC: alternanza di marne e marne siltose omogenee, bioturbate, in strati dm-m, con intercalati strati cm-dm risedimentati siltosi e/o arenacei molto fini. Localmente si osservano strati di arenarie fini e marne siltose, gradati, con alla base *clay chips* e al tetto peliti nerastre eterolitiche bioturbate. Contenuto fossilifero localmente abbondante, rappresentato da bivalvi a guscio sottile, gasteropodi e radioli di echinidi. In prossimità della località Libarna è presente un intervallo di circa 10 m di areniti e calcareniti gradate (mC1, pk<sup>BP</sup> 29+805 – 29+825), risedimentate, con base erosionale; la presenza di un intervallo marnoso alla base e al tetto e la composizione calcarenitica permettono di riferirlo alla formazione mC.

Le Marne di Cessole passano gradualmente alla sovrastante Formazione di Serravalle (aS), costituita da:

- aS: alternanze irregolari di siltiti e arenarie ricche di bioclasti (bivalvi e scafopodi), intensamente bioturbate, in gruppi di strati di potenza plurimetrica, organizzati internamente in strati di spessore decimetrico. I corpi arenacei hanno geometria debolmente lenticolare a scala pluridecimetica. Al loro interno, gli strati arenacei sono amalgamati e caratterizzati da sottili concrezioni stratiformi, contatti di base netti, gradazione normale, laminazione piano-parallela mal definita alla base e livelli a *clay-chips*, ripples o lamine oblique a basso angolo verso il tetto. Nelle siltiti si osservano lamine isolate sabbiose a base piana e tetto convesso o ondulato ad estensione laterale dm-m, interpretabili come treni isolati di ripples. Nelle siltiti sono comuni bioturbazioni e rare tracce di echinidi. Localmente sono presenti strati e gruppi di strati costituiti da quarzareniti passanti ad areniti ibride grossolane o microconglomeratiche a struttura caotica, con base e tetto netti, potenti mediamente 1 m e con continuità laterale chilometrica.

Le Marne di S. Agata Fossili comprendono due litofacies, nell'ordine di attraversamento da parte della linea:

- mA2 (porzione inferiore dell'unità; pk<sup>BP</sup> 31+210 - 32+540): marne argillose passanti a marne calcaree omogenee di colore grigio a stratificazione mal distinta, bioturbate e ricche in foraminiferi planctonici, nannofossili calcarei e livelli pelitici laminati. Nella parte basale, ai sedimenti marnosi si intercalano intervalli pluridecimetrici diatomitici e caratteristici livelli silicizzati finemente laminati, inoltre strati cm-dm di arenarie spongolitiche e livelli costituiti interamente da cristalli di dolomite primaria. Gli intervalli diatomitici si presentano fittamente stratificati e finemente laminati e contengono un'associazione di forme marine planctoniche.
- mA1 (parte superiore della formazione; pk<sup>BP</sup> 32+540 - 32+860): litologicamente distinta da quella inferiore in quanto caratterizzata da un significativo aumento di intercalazioni pelitiche laminate di colore scuro, ricche in sostanza organica, sempre più frequenti verso l'alto.

Le ultime due formazioni del BTP attraversate dalla linea sono:

- gS: argille, siltiti e subordinate arenarie con stratificazione centimetrica molto ben sviluppata e laminazione millimetrica, a cui si intercalano, in misura subordinata, depositi evaporitici rappresentati da livelli millimetrici di gesso cristallino e solo localmente da banchi pluridecimetrici di gesso costituito da gesso laminato microcristallino e da gessoclastiti.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 130 di 157</p>

- cC: alternanze arenaceo-pelitiche con subordinati corpi lenticolari di conglomerati. I livelli arenacei hanno spessore dm-m, sono omogenei o gradati e sono caratterizzati da laminazioni piano-parallele, oblique, ondulate e/o convolute. Le intercalazioni pelitiche hanno spessore cm-m e corrispondono a intervalli compositi, costituiti da alternanze ritmiche di strati cm-dm di argille omogenee, strati centimetrici di siltiti e/o strati mm-cm di areniti fini.

I corpi conglomeratici possono raggiungere 2-3 m di spessore e mostrano un'estensione laterale decametrica. Si tratta di conglomerati *clast-supported*, con matrice sabbiosa, a ciottoli cm-dm, passanti lateralmente ad areniti medie e grossolane, con stratificazione mal definita. Il contatto con i sedimenti pelitico-siltosi sottostanti risulta netto ed erosionale.

A partire dall'imbocco nord della Galleria di Valico - (WBS GA1J, pk 28+264.73 - 28+324.23) diventa importante l'interazione tra gli scavi di linea e le formazioni quaternarie, in particolare rappresentate dai depositi fluviali terrazzati del fondovalle Scrivia.

A parte la coltre detritico-colluviale che ricopre con continuità i versanti collinari e che ha uno spessore in genere di alcuni metri, le principali formazioni presenti nel tratto di linea che attraversa le unità sedimentarie del BTP sono i depositi fluviali recenti (f13), costituiti da ghiaie e sabbie con minori argille e limi, di spessore complessivo variabile da 1-2 m a oltre 40 m, differenziabili in due unità sovrapposte:

- f13a: unità stratigraficamente inferiore, costituita da ghiaie sabbioso-limoso-argillose (64% ghiaia, 19% sabbia, 11% limo, 6% argilla), da mediamente a poco alterate. Localmente sono presenti livelli metrici di argille e silt argillosi. La superficie di appoggio basale, di natura erosiva, è modellata sul substrato; i depositi fluviali f13a non si trovano mai in affioramento ma sono sempre ricoperti dall'unità f13b.
- f13b: l'unità è costituita da ghiaie sabbiose con clasti (3-4 cm max.), con ripartizione granulometrica 75% ghiaia, 18% sabbia, 4% limo, 3% argilla, poco o non alterate. La superficie di appoggio basale, di natura erosiva, è modellata nei depositi fluviali f13a.

I depositi fluviali recenti sono ricoperti da suoli a grado di evoluzione medio-basso, di spessore medio variabile da 0,5 a 2 m, attualmente utilizzati come coltivo.

### 8.3.3 Stratificazione

La stratificazione all'interno delle unità sedimentarie del BTP è in genere grossolana e/o mal definita, con spaziatura dm-m e giacitura variabile tra 10 e 30° verso NNW.

La stratificazione nei depositi alluvionali è suborizzontale.

### 8.3.4 Strutture fragili

All'interno delle unità sedimentarie la stratificazione grossolana non rappresenta in genere una discontinuità importante; solo nelle facies cementate, che comunque in profondità costituiscono gran parte del volume roccioso, è possibile la formazione di set di giunti dotati di una certa coerenza strutturale. Nei livelli più cementati della Formazione di Molare è favorito lo sviluppo di giunti persistenti, che non si propagano però all'interno degli orizzonti a granulometria fine e/o meno cementati; la spaziatura dei set di giunti rilevati nella Formazione di Molare è di ordine dm-m.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 131 di 157</p>

Lo studio dei fotolineamenti e le evidenze morfologiche di terreno indicano la presenza di un pattern strutturale regolare, definito da quattro distinte famiglie di lineamenti, con direzioni a) NNW-SSE, b) NNE-SSW, c) WNW-ESE e d) ENE-WSW. I lineamenti dei set (c) e (d) condizionano in maniera evidente lo sviluppo del reticolato idrografico principale; al set (d) è riferibile il sistema di faglie che presumibilmente corre sul fondovalle del Rio della Barca, tra l'asse di linea e la zona di Borlasca. Nel complesso, la spaziatura media delle strutture principali fotointerpretate è di circa 400-600 m.

Il passaggio tra le varie litofacies che costituiscono la formazione di Molare, lungo il tracciato dell'opera, è spesso controllato da faglie trascorrenti, subverticali, che determinano dislocazioni importanti nella sequenza sedimentaria, mentre il passaggio tra le formazioni di Molare e Rigoroso è di tipo stratigrafico.

All'interno della formazione di Molare, nei livelli stratigrafici più ricchi in clasti serpentinitici, le faglie possono presentare riempimenti di gouge argilloso non coesivo, sia tra i clasti, sia nella matrice. In entrambi i casi la *damage zone* intorno alla superficie di faglia è stimata di potenza pluridecаметrica.

All'interno della formazione di Rigoroso e delle unità stratigraficamente soprastanti, le faglie sono molto più difficilmente individuabili, soprattutto a causa:

- a) della reologia dei litotipi, piuttosto teneri e quindi facilmente erodibili;
- b) dell'assenza di marker stratigrafici che permettano di evidenziare eventuali incongruenze geometriche all'interno della formazione;
- c) della diffusa coltre detritico-colluviale;
- d) della densa copertura vegetale;
- e) delle rielaborazioni agricole.

Le poche strutture osservate in affioramento non danno luogo in genere a vere e proprie cataclasi ma risultano costituite da fasci di piani con scorrimento da centimetrico a decimetrico, che nel complesso possono dare luogo a rigetti metrici o plurimetrici; più che di una *damage zone* e di una *master fault* cataclastica si può quindi parlare di fasce di fratturazione concentrata, disposte secondo dei piani tettonici più o meno persistenti a livello locale e/o regionale. Non si ipotizza pertanto in queste formazioni, costituite da litotipi più teneri e a carattere prevalentemente marnoso, la presenza di estese zone caratterizzate da comportamento geomeccanico scadente.

In generale, nelle zone di faglia è prevedibile un locale aumento dello stato di fratturazione del substrato, una maggiore permeabilità proporzionale alla maggiore densità di fratture, la presenza di alcune venute d'acqua e in generale una maggiore alterazione della roccia legata alla circolazione di acqua. Localmente, a seconda delle caratteristiche del litotipo interessato dalla deformazione, si possono sviluppare fenomeni secondari quali, ad esempio, fenomeni pervasivi di decementazione dell'ammasso (specialmente nei conglomerati della F. di Molare) o, nelle facies conglomeratiche a dominante componente calcarea, il fenomeno opposto, ovvero la parziale mobilizzazione del carbonato da parte delle acque circolanti, che potrebbe indurre, almeno localmente, una maggiore cementazione lungo la faglia.

Le faglie principali ipotizzate in base ai dati geologici, geomorfologici e di sondaggio sono le seguenti:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 132 di 157</p>

- pk<sup>BP</sup> 21+900 ÷ 21+950: faglia a basso angolo di intersezione con l'asse di linea, in virtù del quale la *damage zone* associata potrebbe estendersi tra le pk<sup>BP</sup> 21+800 e 22+000. In questo tratto possono presentarsi diffusi fenomeni di decementazione dell'ammasso.
- pk<sup>BP</sup> 22+275
- pk<sup>BP</sup> 22+540
- pk<sup>BP</sup> 22+610
- pk<sup>BP</sup> 22+910 ÷ 22+920
- pk<sup>BP</sup> 23+050 ÷ 23+075
- pk<sup>BP</sup> 23+290
- pk<sup>BP</sup> 23+580 ÷ 23+590
- pk<sup>BP</sup> 24+560 ÷ 24+570, ipotizzata su base geomorfologica, giacitura subverticale
- pk<sup>BP</sup> 24+890 ÷ 24+900, ipotizzata su base geomorfologica, giacitura subverticale
- pk 30+505 ÷ 30+550, zona di faglia nelle Arenarie di Serravalle
- pk 30+975 ÷ 31+020, zona di faglia nelle Arenarie di Serravalle.
- pk 32+615 - 32+660, zona di faglia che mette in contatto tettonico le formazioni mA2 e gS; la presenza in quest'ultima unità di lenti di gessi potrebbe determinare, in corrispondenza della faglia, la comparsa di cavità da dissoluzione carsica, eventualmente riempite da depositi residuali di dissoluzione con scadenti caratteristiche geotecniche, nonché la possibile presenza di acque chimicamente aggressive nei confronti del calcestruzzo.

Sono inoltre presenti alcuni piani di taglio a basso angolo, con rigetto non valutabile e troppo discontinue per poterle collocare geometricamente con precisione nel profilo. Le zone di taglio sono subparallele alla stratificazione, immergono verso nord e hanno uno spessore m-dam; al loro interno la stratificazione è completamente obliterata, con alternanze di piani di taglio e litoni poco deformati in cui si sviluppa un clivaggio da dissoluzione pervasivo (mm-cm) trascinato lungo i piani di movimento. In genere tuttavia, tali strutture non determinano significative variazioni a livello geomeccanico.

Il grado di fratturazione dell'ammasso al di fuori delle zone tettonizzate varia da medio a basso o molto basso e dipende soprattutto dalla reologia del litotipo considerato e dalla presenza o meno di fenomeni di cementazione (es.: Molare). Lo stato di fratturazione nella formazione mR è piuttosto basso con spaziatura dei giunti di ordine metrico.

### 8.3.5 Morfologia

L'influenza dei fenomeni geomorfologici superficiali è di scarsa rilevanza nei confronti dei tratti di linea realizzati completamente in sotterraneo, mentre può diventare rilevante per quei tratti che attraversano l'interfaccia substrato-coperture avvicinandosi progressivamente alla superficie, quindi indicativamente, a partire dalla pk 32+800. Sono ipotizzabili, a seconda dei casi, interferenze con i) morfologia sepolta (es. paleoalvei) e ii) morfologia superficiale.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 133 di 157

Il tratto in esame si sviluppa al raccordo tra la piana alluvionale terrazzata del T. Scrivia e il versante collinare sinistro della Valle Scrivia. La zona di raccordo è caratterizzata da piccoli conoidi detritico-alluvionali alimentati dal reticolato idrografico secondario, la cui dinamica è attualmente inibita da interventi di regimazione e canalizzazione. Non si evidenziano processi deposizionali attivi, mentre i conoidi sopra descritti sono dissecati da piccoli alvei con drenaggio verso NE.

In generale, la morfologia dolce e poco acclive di tutti i versanti permette di escludere in questo settore l'esistenza di fenomeni di instabilità gravitativa profonda. La dinamica di versante è, anzi, irrilevante o molto ridotta, data la bassa acclività dei pendii. In occasione di forti piogge possono localmente innescarsi piccole frane per fluidificazione dei terreni della coltre detritica superficiale, caratterizzata da granulometria fine e bassa permeabilità, di cui tuttavia non è stata riscontrata traccia durante i rilievi di terreno; gran parte dei versanti è attualmente colonizzata da bosco o da prati e coltivi stabili.

La dinamica del reticolato idrografico secondario è attualmente inibita da interventi di regimazione e canalizzazione correlati allo sviluppo agricolo della zona; nell'area di indagine non si evidenziano processi deposizionali e/o di esondazione attivi; i conoidi sopra citati sono per lo più dissecati da piccoli alvei con drenaggio verso N o NE, approfonditi anche di alcuni metri rispetto al piano campagna.

Due sondaggi realizzati in fase di PE (L2-S38 e L2-S47) hanno messo in evidenza l'esistenza di un possibile paleoalveo sepolto, riferibile al corso d'acqua principale, che incide il basamento prequaternario a ridosso del versante. L'ipotesi proposta è che questo paleoalveo, di larghezza piuttosto ridotta, incida il substrato secondo un asse curvo che passa tra i due sondaggi XA301V002 e XA301V003, intersechi i due fori della serie L2 e si diriga verso la pianura più a nord. L'intersezione tra l'asse di linea e l'asse del paleoalveo è ipotizzata alla pk 32+925.

Il settore è stato interessato in passato da attività estrattive che hanno modificato la morfologia originaria dell'area; in particolare si segnalano due cave, una in località Mulinara, attualmente occupata da insediamenti industriali e una in località Cascina Muriassi, segnalata nel Foglio "Alessandria" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.

### 8.3.6 Interazioni geologia/scavo

Le principali interazioni tra l'assetto geologico e stratigrafico delle unità del BTP e lo scavo di linea si possono sintetizzare come segue, per tratte omogenee:

#### a) Galleria di valico – WBS GN14R (pk<sup>BP</sup> 17+680.00 - 20+988.50). Litofacies: Fmp.

Superato il contatto erosionale (irregolare) tra il basamento metamorfico (Argille a Palombini) e la Formazione di Molare, ed entrata nella litofacies Fmp, la galleria incontrerà per tutto lo sviluppo della WBS una notevole omogeneità litologica. Tuttavia, a livello di comportamento del fronte allo scavo bisogna tenere conto i) della possibile presenza di blocchi isolati di serpentinite, metrici o plurimetrici, ii) di possibili fenomeni di decementazione del sedimento, in particolare in prossimità delle zone di faglia, iii) della possibile presenza di strati arenacei dm-m non cementati.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 134 di 157

In particolare, l'eventuale presenza di blocchi metrici isolati di serpentiniti massive potrà dare luogo a situazioni locali di forte contrasto reologico, soprattutto qualora il materiale inglobante dovesse presentare fenomeni locali di decementazione.

*b) Galleria di valico - WBS<sup>BP</sup> GN14S (pk<sup>BP</sup> 20+988.50 - 22+000.00). Litofacies: Fmp, Fma.*

In linea generale, lo scavo interesserà un ammasso litologicamente molto omogeneo, a grande scala, con locali eterogeneità legate alla possibile comparsa di lenti m-hm della formazione Fma, prevalentemente arenacea, all'interno dei conglomerati Fmp predominanti.

Alla scala del fronte di scavo bisogna tenere conto i) della possibile presenza di blocchi isolati di serpentinite, metrici o plurimetrici, ii) di possibili fenomeni di decementazione del sedimento, in particolare in prossimità delle zone di faglia, iii) della possibile presenza di strati arenacei dm-m non cementati.

*c) Galleria di valico / scavo meccanizzato - WBS<sup>BP</sup> GN14W (pk<sup>BP</sup> 22+000.00 - 24+186.97). Litofacies: Fmp, Fma, mR*

Sono previste le medesime condizioni che caratterizzano la WBS precedente. Nella formazione mR è prevista una notevole omogeneità sia litologica sia strutturale, fatta salva la presenza di fasce di intensa fratturazione in corrispondenza delle zone di faglia ipotizzate.

*d) Galleria di valico / scavo meccanizzato - WBS<sup>BP</sup> GN14T (pk<sup>BP</sup> 24+186.97 - 24+286.97). Litofacies: mR.*

Nella formazione mR è prevista una notevole omogeneità sia litologica sia strutturale, fatta salva la presenza di fasce di intensa fratturazione in corrispondenza delle zone di faglia ipotizzate.

*e) Galleria di valico / scavo meccanizzato - WBS<sup>BP</sup> GN14U (pk<sup>BP</sup> 24+286.97 - 25+971.48). Litofacies: fR, mR, uMa, uMb, uMc, fC, fCa.*

Nelle formazioni attraversate è prevista una notevole omogeneità sia litologica sia strutturale, pur in presenza di frequenti variazioni di litofacies legate all'attraversamento della sequenza sedimentaria. Per quanto riguarda la valutazione qualitativa del grado di stabilità del fronte di scavo, sono state stimate in generale condizioni di stabilità a breve termine per tutta la successione sedimentaria attraversata.

Le problematiche di scavo saranno legate essenzialmente alle condizioni di stabilità a breve termine nei litotipi marnosi deformati, specialmente in corrispondenza di eventuali zone di faglia e fasce di fratturazione.

L'influenza di fenomeni geomorfologici superficiali e della presenza di formazioni quaternarie è da ritenersi di scarsa rilevanza

*f) Galleria di valico / scavo meccanizzato - WBS<sup>BP</sup> GN14V (pk<sup>BP</sup> 25+971.48 - 27+657.93). Litofacies: fC.*

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 135 di 157</p>

fondovalle laterali. I problemi di stabilità in calotta potrebbero ulteriormente accentuarsi qualora l'interfaccia tra substrato e depositi detritico-colluviali risultasse satura.

Per la fase costruttiva è opportuno prevedere a titolo cautelativo la presenza costante di una falda idrica all'interno dei depositi superficiali, con base situata all'interfaccia con il substrato marnoso, o alla base dell'orizzonte di alterazione delle marne stesse. Le azioni preventive da mettere in opera sono descritte in dettaglio nella documentazione relativa alla WBS corrispondente al tratto in esame, cui si rimanda.

g) *Galleria di valico / camerone tipo D e – WBS GN16, GA1J (pk 27+657.93 - 28+324.23). Litofacies: fC, c.*

Il substrato prequaternario indisturbato si presenta molto omogeneo e con un ridotto grado di fratturazione. La presenza di una fascia superficiale di spessore plurimetrico, interessata da un maggior grado di alterazione e fratturazione, può indurre un marcato scadimento dei parametri geomeccanici di cui si dovrà tenere conto soprattutto nei settori a minore copertura topografica e in corrispondenza del portale nord.

h) *Trincea di linea – WBS TR12 (pk 28+324.23 - 28+667.75). Litofacies: fC, c, fl3.*

Il substrato prequaternario indisturbato si presenta molto omogeneo e con un ridotto grado di fratturazione. La presenza di una fascia superficiale di spessore plurimetrico, a diretto contatto con i depositi quaternari può costituire un orizzonte con parametri geomeccanici scadenti.

i) *Rilevato di linea WBS RI11, RI12 (pk 28+667.75 - 29+491.39). Litofacies: fC, mC, c, fl3.*

L'interfaccia substrato-depositi alluvionali è probabilmente caratterizzata da una fascia di maggiore alterazione, più permeabile, che può costituire un orizzonte con parametri geomeccanici scadenti.

In prossimità del settore in esame è possibile la presenza di accumuli di materiale di riporto correlabili alle passate attività estrattive, che localmente hanno modificato l'originaria morfologia dell'area, creando ad esempio alcuni specchi d'acqua poco profondi che in parte lambiscono il tracciato

j) *Galleria di Serravalle / imbocco sud e camerone di tipo D – WBS GA1K, GN1A (pk 29+491.39 - 29+958.49). Litofacies: mC, mC1, aS, c, fl3.*

L'imbocco sud della galleria di Serravalle non presenta criticità particolari, dato l'esiguo spessore dei depositi di copertura. Si prevede una sezione di scavo interamente impostata all'interno della formazione mC, fino alla pk 29+890, con l'interposizione di un livello arenaceo (mC1) decametrico, che verrà intersecato alla quota dell'arco rovescio intorno alla pk 29+805; sono quindi attese condizioni di fronte misto mC/mC1 tra le pk 29+790 e 29+805, e un ammasso con anisotropia più pronunciata, per la presenza di una stratificazione meglio definita, rispetto ai termini francamente marnosi che costituiscono gran parte della formazione mC.

Verso la pk 29+890 è prevista la comparsa (in calotta) del contatto con le Arenarie di Serravalle (aS), che verrà intersecato alla quota dell'arco rovescio intorno alla pk 29+905; sono quindi attese condizioni di fronte misto mC/aS tra le pk 29+890 e 29+905, dopodiché la sezione di scavo sarà interamente impostata all'interno della formazione delle Arenarie di Serravalle (aS).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 318"> <tr> <td>Foglio 136 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 136 di 157
Foglio 136 di 157		

k) *Galleria naturale di Serravalle / scavo meccanizzato – WBS GN1BA (pk 29+958.49 - 33+959.95). Litofacies: aSmA1, mA2, gS, cC, aL.*

In questo tratto le condizioni geologiche variano rapidamente con il progredire del tracciato nella verso i termini più recenti della sequenza sedimentaria; nell'ordine, si incontreranno le seguenti situazioni:

- pk 29+958.49 ÷ 31+210 ca.: sezione di scavo interamente impostata all'interno della formazione delle Arenarie di Serravalle (aS), con strati immergenti tra NNW e NNE, quindi con blande ondulazioni a scala dam sul fronte di scavo.
- pk 31+210: contatto in arco rovescio con le Marne di S. Agata Fossili (mA2); condizioni di fronte misto tra le pk 31+175 (prima comparsa in calotta delle marne) e 31+220 (scomparsa delle arenarie in arco rovescio).
- pk 31+210 ÷ 32+615: attraversamento delle Marne di Sant'Agata Fossili; presenza della litofacies mA2 fino alla pk 32+545 ca., quindi, verso il termine del tratto, approssimativamente al di là della pk 32+545, attraversamento, dapprima in calotta e quindi a tutta sezione, della litofacies mA1.
- pk 32+615 ÷ 32+660: contatto per faglia con la formazione Gessoso-Solfifera (vedi sopra).
- pk 32+660 ÷ 33+375: attraversamento della formazione gS; possibile presenza di livelli gessosi di potenza m-dam, concordanti con la stratificazione, a tessitura sia microcristallina, sia brecciata (gessoclastiti e gessoruditi a matrice siltoso-argillosa). Sono possibili locali fenomeni di dissoluzione a carico dei gessi, con conseguenti problematiche a livello di stabilità del contorno del cavo. È anche ipotizzabile la presenza di acque chimicamente aggressive nei confronti del calcestruzzo.

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

Nella tratta tra le pk 33+020 e 33+375 lo spessore di substrato prequaternario al di sopra della calotta è piuttosto ridotto, dell'ordine di 10-15 m al massimo, con una copertura di 8-12 m di alluvioni quaternarie del Fluviale Medio fl2. In questa tratta sono prevedibili fenomeni di plasticizzazione del cavo che potrebbero andare ad incrementare il grado di connettività idraulica tra la galleria e la base del fluviale fl2.

- pk 33+375 e 33+959.95: attraversamento dei Conglomerati di Cassano Spinola (cC) e progressivo passaggio alla formazione delle Argille Azzurre (Argille di Lugagnano, aL), che fanno la loro prima comparsa in calotta intorno alla pk 33+750. La debole inclinazione degli strati e del contatto cC/aL fa sì che gran parte della tratta sia caratterizzata da condizioni di fronte misto, al passaggio tra le due formazioni. L'intera tratta è caratterizzata da condizioni di debole copertura topografica (20-25 m ca.); buona parte di questa copertura (da 8 a 10 m almeno) è costituita dai depositi alluvionali fl2, che non contribuiscono al sostegno dello scavo, andando a gravare passivamente sulla volta. La base dei depositi alluvionali è inoltre satura. Non si esclude infine la possibilità che vengano intercettate dalla galleria delle morfologie sepolte (paleovalvei) che possono portare le alluvioni a quota della calotta, con conseguenti potenziali venute d'acqua e problemi di stabilità e di cedimenti superficiali.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 137 di 157

Il contatto stratigrafico con i soprastanti Conglomerati di Cassano Spinola è ipotizzato intorno alla pk 33+375; tuttavia, data la bassa inclinazione degli strati e del contatto (10-15° parallelamente o quasi rispetto alla direzione di avanzamento), sono prevedibili condizioni di fronte misto per circa 220 m, tra le pk 33+210 (prima comparsa in calotta dell'unità cC) e 33+435 (scomparsa in platea dell'unità gS).

Il tratto tra le pk 32+875 e 33+020 si presenta piuttosto critico per la possibile concomitanza di diversi fattori sfavorevoli, e cioè:

- la presenza di una zona di faglia con associata *damage zone* e con possibili zone di dissoluzione;
- la presenza di lenti di gesso che, soprattutto in relazione alla faglia sopra citata, potrebbero essere affette da dissoluzione carsica con sviluppo di cavità, zone geotecnicamente scadenti, presenza di prodotti residuali a dominante componente argillosa, sacche d'acqua intrappolate, acque chimicamente aggressive;
- la presenza di un possibile paleoalveo sepolto, che porta le alluvioni sature del fluviale fl2 a comparire in calotta, con conseguenti problemi legati sia alla presenza di acqua, sia alla presenza di depositi quaternari sciolti.

### 8.3.7 Criticità particolari

Nonostante la notevole abbondanza di litotipi serpentinitici tra i clasti che costituiscono la formazione di Molare, non si osservano mai mineralizzazioni ad asbesto significative, salvo rare e ridottissime concentrazioni in vene submillimetriche all'interno di singoli clasti serpentinitici isolati, mai comunque disperse nella matrice arenacea; la probabilità che si incontrino zone con concentrazioni fuori soglia è quindi estremamente bassa. Questo rimane tuttavia un aspetto da monitorare, in particolare in corrispondenza delle zone di faglia.

A partire dalla GN14V inizieranno a manifestarsi potenziali problemi derivanti dalla bassa copertura topografica al di sopra della volta del tunnel, con possibili interferenze con i depositi superficiali e con la falda idrica in essi ospitata, cedimenti e subsidenze.

La WBS GN1BA presenta lunghi tratti con scarsa copertura topografica, con possibile innesco di subsidenze in fase di scavo. Inoltre, è probabile la presenza di gessi, potenzialmente interessati da cavità carsiche e, in relazione ai gessi, la presenza di acque chimicamente aggressive. Sono inoltre previsti tratti di scavo con possibile comparsa di alluvioni sature in calotta e l'attraversamento di almeno un probabile paleoalveo sepolto del T. Scrivia.

## 8.4 Successioni post-messiniane

WBS interessate:

		<i>binario pari</i>	<i>binario dispari</i>		
PROGRESSIVE CRESCENTI ↑	Galleria di Serravalle / Imbocco N - GA1L				SUD ↑ NORD
	Galleria di Serravalle / Tratto BC - GN1BC		Galleria di Serravalle / Tratto CB - GN1CB		
	Galleria di Serravalle / Camerone di tipo B raccordo tecnico III Valico-Novì Ligure - GN1BB		Galleria di Serravalle / Tratto CA - GN1CA		

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00

Foglio  
138 di  
157

	Galleria di Serravalle / Scavo meccanizzato - GN1BA		
--	--	--	--

#### 8.4.1 Formazioni attraversate

Unità post-messiniane:

- Argille Azzurre (Argille di Lugagnano, aL)

Formazioni quaternarie:

- depositi alluvionali recenti (fl3)

#### 8.4.2 Litologia

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

La formazione aL è costituita da argille e argille siltose, localmente sabbiose-fini, di colore beige (zona di alterazione superficiale) o grigio-azzurro, a stratificazione mal distinta, localmente sottolineata da livelli con maggior contenuto in sostanza organica. Si mostrano localmente bioturbate e contengono resti di bivalvi, gasteropodi, echinidi, pteropodi, associazioni a foraminiferi planctonici e bentonici ed abbondanti frustoli vegetali. Il contenuto fossilifero ed in generale la scarsa frazione carbonatica tendono a diminuire verso la parte alta della formazione. Localmente si rinvenivano livelli di arenarie e microconglomerati, che costituiscono corpi lenticolari, potenti fino a qualche metro.

fl3: sedimenti a granulometria grossolana costituiti, in generale, da ghiaie e sabbie, con percentuali variabili di argille e limi. Trattandosi di depositi fluviali di tipo *braided*, la geometria interna dei corpi sedimentari è piuttosto irregolare, con corpi ghiaioso-sabbiosi piano-concavi, di spessore da metrico a plurimetrico ed estensione laterale decametrica, intercalati a depositi più fini, sabbiosi, sabbioso-limosi e limoso-argillosi.

Lo spessore complessivo dei depositi fluviali recenti (fl3) varia da 1-2 metri a oltre 60 metri. Al loro interno sono state distinte due sub-unità geometricamente sovrapposte (fl3a e fl3b).

fl3a: ghiaie sabbiose limoso/argillose con la seguente composizione granulometrica: 64% ghiaia, 19% sabbia, 11% limo e 6% argilla. Nel complesso si presentano da mediamente a poco alterate, localmente sono presenti livelli metrici di argille e silt argillosi.

La superficie di appoggio basale, di natura erosiva, è modellata sul substrato costituito da Sabbie di Asti - Villafranchiano *auct.* (vL). L'unità fl3a non si trova mai in affioramento ed è sempre ricoperta dalla sub-unità fl3b, che appoggia su di essa con un contatto dalla morfologia irregolare, probabilmente legato al riempimento di canalizzazioni.

fl3b: ghiaie sabbiose, con clasti che presentano vari gradi di arrotondamento e sfericità e diametro massimo di circa 3-4 cm, solo localmente diametro maggiore. La superficie di appoggio basale, probabilmente di natura erosiva, è modellata nell'unità fl3a. I depositi fl3b sono ricoperti da suoli che presentano un grado di evoluzione medio-basso con potenza media variabile da 0,5 a 2 metri, prevalentemente utilizzati come coltivo. Dal punto di vista granulometrico sono composti da 75%

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00
	Foglio 139 di 157

ghiaia, 18% sabbia, 4% limo e 3% argilla. Nel complesso, si presentano da poco alterati a non alterati.

#### 8.4.3 Stratificazione

Gli strati e i limiti geologici e stratigrafici hanno in questo settore una giacitura mediamente inclinata di 10-20° tra NNE e NNW; in galleria si presenterà quindi una stratificazione debolmente inclinata nella direzione di avanzamento, con possibile leggera immersione apparente dal paramento destro al paramento sinistro, o viceversa.

#### 8.4.4 Strutture fragili

Non sono note né ipotizzabili strutture fragili nel tratto in esame.

#### 8.4.5 Morfologia

Dal punto di vista geomorfologico, il tratto lungo cui si sviluppa la parte terminale della Galleria di Serravalle si colloca in una zona caratterizzata da svariati ordini di terrazzi fluviali di pertinenza del T. Scrivia. A parte i terrazzi più antichi, sospesi sul fondovalle, questi terrazzi delimitano estese aree poco acclivi o pianeggianti che formano l'ampio conoide del T. Scrivia tra Serravalle e Tortona e sono in gran parte modellati nei depositi fluviali medi (f12). Il gruppo di terrazzi che modella e delimita arealmente i depositi fluviali recenti (f13) si colloca a poche decine di metri dall'alveo ordinario del T. Scrivia.

Nel complesso i depositi fluviali del bacino dello Scrivia appoggiano, da sud a nord, con una superficie di discontinuità stratigrafica, sulle successioni sedimentarie del BTP, sulle successioni post-messiniane (le uniche ad interessare il tracciato della Galleria di Serravalle) e sui depositi "villafranchiani" auct. (intercettati solo in sondaggio). La superficie di appoggio basale dei depositi fluviali è molto superficiale in prossimità dei rilievi (Serravalle Scrivia e Novi Ligure), mentre tende ad approfondirsi notevolmente procedendo verso nord (depocentro del Bacino Alessandrino).

#### 8.4.6 Interazioni geologia/scavo

Il modello geologico di riferimento prevede che il camerone di tipo "B" attraversi principalmente la formazione delle Argille Azzurre (aL), con la possibile presenza in arco rovescio, nella prima parte, dei litotipi costituenti i Conglomerati di Cassano Spinola (cC) del Gruppo della Gessoso-Solfifera.

La debole inclinazione dei limiti geologici fa sì che la posizione del contatto aL/cC sia determinabile con un elevato margine di incertezza; è stato ipotizzato che in linea di massima tale contatto venga incontrato, alla quota dell'arco rovescio, oltre il camerone in progetto, cioè intorno alla pk 34+300 di linea. Tuttavia, poiché in questo settore il contatto è quasi suborizzontale, non si esclude che esso possa essere incontrato in posizione anche molto differente. Si ritiene che, come condizione più probabile, lo scavo del camerone trovi le Argille Azzurre per lo meno nel terzo superiore della sezione e le peliti, siltiti e sabbie dell'unità di Cassano Spinola nel terzo inferiore della sezione; l'elemento cC potrebbe però anche essere più basso, e presentarsi esclusivamente in arco rovescio, o anche mantenersi costantemente al di sotto della quota della galleria.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 140 di 157</p>

L'interfaccia tra il substrato prequaternario e i soprastanti sedimenti alluvionali riferibili al Fluviale Medio del bacino del T. Scrivia (f12) dovrebbe mantenersi al di sopra della volta del camerone, anche se non è possibile escludere a priori la presenza di irregolarità morfologiche della superficie di appoggio dei depositi quaternari, dovute ad es. a paleoalvei sepolti, che potrebbero portare i depositi fluviali alla quota della calotta.

Nel tratto relativo all'opera GN1BB non si configurano quindi particolari criticità in relazione alla presenza di fronti di scavo misti impostati nei litotipi aL e cC; si tratta, infatti, di due formazioni con caratteristiche litotecniche tra loro relativamente simili, il che non dovrebbe indurre comportamenti differenziali a livello dello scavo<sup>(1)</sup>.

Per contro, la sottilissima copertura topografica (poco più di 20 m) e il fatto che parte di questa copertura, per uno spessore di almeno 10-12 metri, sia in alluvioni quaternarie f12, rappresenta una criticità potenziale per lo scavo:

1. la possibile presenza di irregolarità della superficie basale di appoggio dei depositi fluviali quaternari sul substrato prequaternario, legate a morfologie erosionali sepolte, come ad esempio dei paleoalvei, potrebbe determinare la comparsa di alluvioni sature alla quota della volta del camerone.
2. Anche nel caso in cui le alluvioni non vengano intercettate, è verosimile che la zona plastica indotta dallo scavo si estenda verso l'alto fino a raggiungere l'interfaccia substrato/alluvioni; in questo caso, può generarsi una comunicazione idraulica tra la galleria e il mezzo saturo, con conseguente aumento degli afflussi d'acqua nello scavo.

In entrambe queste condizioni sono ipotizzabili venute d'acqua non trascurabili in calotta, provenienti dalle alluvioni sature soprastanti.

La ridotta copertura in Argille di Lugagnano implica anche una ridotta resistenza della volta e del contorno del cavo alle sollecitazioni imposte dal carico litostatico, con possibile insorgere di fenomeni di cedimento e di subsidenza del terreno in superficie. Infatti, lo strato di depositi alluvionali al di sopra della calotta, che ha uno spessore medio di 10-12 m, non fornisce alcun contributo al sostegno del cavo (a meno che non siano presenti livelli cementati), andando anzi a gravare passivamente sul ridotto spessore resistente della calotta. Questa condizione è peggiorata inoltre dal carico idraulico, essendo accertato che le alluvioni ospitano una falda freatica.

#### 8.4.7 Criticità particolari

Il camerone ha al di sopra della volta una copertura in Argille Azzurre di spessore molto ridotto, 5-10 metri al massimo; su questo diaframma sottile appoggiano le alluvioni f12, con uno spessore compreso tra 10 e 20 metri. Questo strato di alluvioni non contribuisce efficacemente al sostegno dello scavo, trattandosi per lo più di depositi sciolti, solo localmente cementati. Al contrario, il carico litostatico andrà a gravare passivamente sulla sottile volta impostata nel substrato prequaternario.

<sup>(1)</sup>: si rammenta che il termine "Conglomerati di Cassano Spinola" è un termine formazionale, derivato dalla letteratura storica e rimasto immutato negli anni, che però non riflette un'effettiva natura puramente conglomeratica della formazione. In realtà in questa unità predominano le siltiti e le sabbie, più o meno addensate e localmente con debole cementazione, mentre le lenti di conglomerato, pur presenti, sono discontinue e di ridotto spessore.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Foglio 141 di 157
GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00		

Dal punto di vista del comportamento geomeccanico quindi è prevedibile che lo sviluppo della zona plastica al contorno dello scavo può molto probabilmente estendersi fino a raggiungere l'interfaccia substrato/depositi. Questo potrà indurre deformazioni e subsidenze a livello della superficie.

## 8.5 La sezione di pianura

WBS interessate:

PROGRESSIVE CRESCENTI ↑	Rilevato di linea - R119	SUD ↑ NORD
	Trincea di linea - TR16	
	Rilevato di linea - R115	
	Trincea di linea - TR15	
	Galleria artificiale bretella A7-A26 - GA1N	
	Trincea di linea - TR14	
	Galleria artificiale di Pozzolo - GA1M	
	Trincea di linea - TR13	
	Rilevato di linea - R113, R114	

### 8.5.1 Formazioni attraversate

Unità post-messiniane (non intercettate dalle opere):

- Argille Azzurre (Argille di Lugagnano, aL)
- Villafranchiano e Sabbie di Asti (vL)

Formazioni quaternarie:

- depositi alluvionali recenti (fI3)

Dopo lo sbocco della Galleria di Serravalle sulla piana alluvionale del conoide del T. Scrivia, le formazioni del substrato prequaternario vanno progressivamente approfondendosi a partire dalla pk 39+000.

I depositi appartenenti alla successione sedimentaria post-messiniana sono rappresentati dalla Formazione delle Argille Azzurre (Argille di Lugagnano, aL), dalle Sabbie di Asti e dal Villafranchiano *auct.*, ma di queste solo l'unità aL interessa marginalmente la prima parte della tratta, fino circa alla pk 39+000, costituendo il primo substrato di appoggio dei depositi fluviali.

### 8.5.2 Litologia

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00

Foglio  
142 di  
157

verso la parte alta della formazione. Localmente si rinvencono livelli di arenarie e microconglomerati, che costituiscono corpi lenticolari, potenti fino a qualche metro.

vL (Sabbie di Asti): sabbie da fini a grossolane passanti a siltiti, a composizione silicoclastica, di colore giallo o grigio-azzurro, organizzate in strati da decimetrici a plurimetrici (fino a 5 m) amalgamati, a base netta e sovente irregolare. Gli strati mostrano cenni di laminazione piano-parallela (evidenziata da allineamenti sparsi di ciottoli e da concentrazioni di gusci isorientati di bivalvi e gasteropodi), tuttavia si presentano sovente omogenei a causa dell'intensa bioturbazione.

vL (Villafranchiano): i) sabbie da fini a grossolane passanti a siltiti, di colore giallo o grigio-azzurro, organizzate in strati da decimetrici a plurimetrici (fino a 5 m) amalgamati, a base netta e sovente irregolare. Gli strati mostrano cenni di laminazione piano-parallela, tuttavia si presentano sovente omogeneizzati dall'intensa bioturbazione. ii) Sabbie e sabbie ghiaiose in strati decimetrici, parzialmente cementate, alternate verso l'alto a peliti. Nella parte medio-bassa della formazione gli strati sabbiosi sono bioturbati (icnogenere *Ophiomorpha*) e sono presenti corpi conglomeratici a geometria canalizzata e a laminazione obliqua. Le siltiti sono per lo più laminate e più raramente bioturbate. Nel complesso sono interpretabili come depositi marini marginali, di fronte e piana deltizia. iii) Ghiaie e sabbie ghiaiose mal selezionate, parzialmente cementate, organizzate in corpi piano-concavi canalizzati. Sono localmente associate siltiti contenenti resti di molluschi dulcicoli e rizoconcrezioni. I sedimenti di quest'unità sono interpretabili come depositi fluviali di *braided stream* ghiaioso-sabbioso e subordinatamente di piana di inondazione.

Come risulta dalla descrizione sopra riportata, le Sabbie di Asti ed il *Villafranchiano auct.* presentano, a tratti, una marcata convergenza di facies; quindi, dalle sola osservazione delle carote di sondaggio, non risulta possibile distinguere con precisione le due unità. Per questa ragione, in fase di Progetto Esecutivo le due unità stratigrafiche sono state rappresentate con un unico termine che le comprende entrambe: Sabbie di Asti - *Villafranchiano auct.* (vL).

f13: sedimenti a granulometria grossolana costituiti, in generale, da ghiaie e sabbie, con percentuali variabili di argille e limi. Trattandosi di depositi fluviali di tipo *braided*, la geometria interna dei corpi sedimentari è piuttosto irregolare, con corpi ghiaioso-sabbiosi piano-concavi, di spessore da metrico a plurimetrico ed estensione laterale decametrica, intercalati a depositi più fini, sabbiosi, sabbioso-limosi e limoso-argillosi.

Lo spessore complessivo dei depositi fluviali recenti (f13) varia da 1-2 metri a oltre 60 metri. Al loro interno sono state distinte due sub-unità geometricamente sovrapposte (f13a e f13b).

f13a: ghiaie sabbiose limoso/argillose con la seguente composizione granulometrica: 64% ghiaia, 19% sabbia, 11% limo e 6% argilla. Nel complesso si presentano da mediamente a poco alterate, localmente sono presenti livelli metrici di argille e silt argillosi.

La superficie di appoggio basale, di natura erosiva, è modellata sul substrato costituito da Sabbie di Asti - *Villafranchiano auct.* (vL). L'unità f13a non si trova mai in affioramento ed è sempre ricoperta dalla sub-unità f13b, che appoggia su di essa con un contatto dalla morfologia irregolare, probabilmente legato al riempimento di canalizzazioni.

f13b: ghiaie sabbiose, con clasti che presentano vari gradi di arrotondamento e sfericità e diametro massimo di circa 3-4 cm, solo localmente diametro maggiore. La superficie di appoggio basale, probabilmente di natura erosiva, è modellata nell'unità f13a. I depositi f13b sono ricoperti da suoli che

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 143 di 157</p>

presentano un grado di evoluzione medio-basso con potenza media variabile da 0,5 a 2 metri, prevalentemente utilizzati come coltivo. Dal punto di vista granulometrico sono composti da 75% ghiaia, 18% sabbia, 4% limo e 3% argilla. Nel complesso, si presentano da poco alterati a non alterati.

### 8.5.3 Stratificazione

Da suborizzontale a debolmente inclinata verso N o NNE lungo le linee di drenaggio del conoide del T. Scrivia.

### 8.5.4 Interazioni geologia/scavo

In tutta la tratta di pianura le uniche possibili interazioni tra scavi e formazioni geologiche si hanno in corrispondenza delle trincee. In generale però, l'unica unità ad essere interessata dagli scavi è quella dei depositi fluviali recenti fl3b, con stratificazione sub-orizzontale e superficie di appoggio erosionale irregolare sulla sottounità fl3a.

Nei tratti in trincea prevalgono quindi le ghiaie sabbiose; localmente, a vari intervalli stratigrafici, potranno inoltre essere presenti livelli metrici argillosi e siltoso-argillosi.

I depositi fluviali recenti sono ricoperti da una coltre di suolo/terreno vegetale di spessore medio variabile da 1,0 a 1,5 metri. Lo strato superficiale di suolo e terreno vegetale/agricolo andrà interamente rimosso e riutilizzato per la risistemazione ambientale delle aree di cantiere.

È localmente presente materiale di riporto con spessore variabile da 0,5 a 2 metri, soprattutto in prossimità degli attraversamenti della rete stradale secondaria.

In generale, l'unica criticità potenziale è rappresentata dalla possibile presenza di livelli limoso-argillosi che potrebbero risultare compressibili, anche se il loro prevedibile ridotto spessore fa sì che questo non rappresenti un importante fattore condizionante.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" style="float: right; margin-left: auto;"> <tr> <td>Foglio 144 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 144 di 157
Foglio 144 di 157		

## 9 BIBLIOGRAFIA

- Agostinelli G., Comin C. & Pedemonte S. (1995) – Aspetti geologici applicativi allo scavo della galleria Fleres-Terme di Brennero. *Geologia Tecnica e Ambientale*, 3, 95.
- Allasinaz A., Gelati R., Gnaccolini M., Martinis B., Orombelli G., Pasquaré G. & Rossi P.M. (1971) - Note illustrative della carta geologica D'Italia in scala 1:100.000, Foglio 82 "Genova", II ed., Serv. Geol. It. Roma., 134 pp.
- 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.
- Baggio P., Elter G. & Malaroda R. (1960) –Il traforo del Monte Bianco; prime osservazioni geologiche sul tratto dall'imbocco italiano alla progressiva 1300. *Accademia nazionale dei Lincei, serie VII*, vol. XXVIII, fasc. 4, p. 471-476.
- Baggio P., Elter G. & Malaroda R. (1962) – Il traforo del Monte Bianco; prime osservazioni geologiche sul tratto dalla progressiva 2500 alla progressiva 3700 (parte italiana). *Accademia nazionale dei Lincei, serie VII*, vol. XXVIII, fasc. 3-4, 150-152.
- Barelli V. (1835) - Cenni di statistica mineralogica degli stati di S.M. il Re di Sardegna. *Tipografia Fodratti, Torino*.
- Baroni D., Cotta Ramusino S. & Peloso G.F. (1987) - La falda freatica nella pianura oltrepadana pavese e in quella alessandrina: considerazioni sulla vulnerabilità potenziale. *Atti Tic. Sc. Terra*, 31, 351-376.
- Bellini A. & Casella F. (1963) - La serie liassico-cretacea della zona Sestri-Voltaggio nei suoi rapporti litostratigrafici con le ofioliti. *Atti Ist. Geol. Univ. Genova*, 5, 145-186.
- Bianchetti G., Zuber F., Vuataz F.D. & Rouiller J.D. (1993) – Hydrogeologische und geothermische Untersuchungen im Simplontunnel. *Schweizerische Kommission, ETH-Zentrum Zurich.*, 75 pp.
- Biancotti A. & Cortemilia G.C. (1982) - Morphogenetic evolution of the river system of Southern Piedmont (Italy). *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 5, 10-13.
- Biancotti A., Motta L. & Motta M. (1999) - Morphotectonics of the Alpine Zone at the contact with the Ligurian and Po Basins. *Z. Geomorph. N.F.*, 118, 65-82.
- Biella G.C., Polino R., De Franco R., Rossi P.M., Clari P., Corsi A. & Gelati R. (1997) - The crustal structure of the western Po plain: reconstruction from the integrated geological and seismic data. *Terra Nova*, 9, 28-31.
- Biella G.C., Gelati R., Lozej A., Rossi P.M. & Tabacco I. (1988) – Sezioni geologiche nella zona limite Alpi occidentali - Appennino settentrionale ottenute da dati geofisici. *Rend. Soc. Geol. It.* 11, 287-292.
- Boni A. & Casnedi R. (1970) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000: Fogli 69 "Asti" e 70 "Alessandria". *Poligrafica & Carte Valori, Ercolano*, 64 pp.
- Borsi L., Petrini R., Cortesogno L., Gaggero L. & Crispini L. (1998) - Modeling of plagiogranite genesis and implications for the evolution of the Piedmont-Ligurian oceanic basin (Ligurian Alps, Italy). *N. Jb. Miner. Mh.*, 13.



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 315"> <tr> <td>Foglio 145 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 145 di 157
Foglio 145 di 157		

- Borsi L., Schaeer U., Gaggero L. & Crispini L. (1996) - Age, origin and geodynamic significance of plagiogranites in Iherzolites and gabbros of the Piedmont-Ligurian Basin. *Earth Planetary Science Letters*, 140, 227-241.
- Bortolami G. & Grasso F. (1969) - Osservazioni geologico-applicative sul cunicolo d'assaggio del traforo del Ciriegia e considerazioni sull'intero tracciato. Estratto degli atti del primo congresso internazionale sui problemi tecnici nella costruzione di gallerie. Torino, settembre 1969, 112-126.
- Braga G. & Casnedi R. (1973) - I depositi alluvionali dello Scrivia (Provincia di Alessandria). C.N.R., quaderni Ist. Ric. Acque, 28, 3, 83-88.
- 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>
- Bruni J., Canepa M., Cipolli F., Marini L., Ottonello G., Vetuschi Zuccolini M., Chiodini G., Cioni R., Longinelli A., Cataldi R., Mongelli F., Squarci P., Taffi L., Zito G. & Calore C. (1995). Geothermal ranking of Italian territory. *Geothermics*, 24, 115-129.
- Bruni J., Canepa M., Cipolli F., Marini L., Ottonello G., Vetuschi Zuccolini M., Chiodini G., Cioni R., Longinelli A. (2002) Irreversible water-rock mass transfer accompanying the generation of the neutral, Mg-HCO<sub>3</sub> and high-pH, Ca-OH spring waters of the Genova province, Italy. *Applied Geochemistry*, 17, 455-474.
- Capponi G. (1991) - Megastructure of the South-Eastern part of the Voltri Group (Ligurian Alps): a tentative interpretation. *Boll. Soc. Geol. It.*, 110, 391-403.
- 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., Piazza M. & Amandola L. (2001) - Field constraints to the Mid-Tertiary kinematics of the Ligurian Alps. *Ofioliti*, 26(2b), 409-416.
- Capponi G. & Crispini L. (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 213-230 "Genova". Progetto CARG, Università di Genova/Dip.Te.Ris., Regione Liguria.
- 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 (2008) - Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 213-230 "Genova".
- Capponi G., Crispini L., Federico L., Piazza M. & Fabbri B. (2009) - Late Alpine tectonics in the Ligurian Alps: constraints from the Tertiary Piedmont Basin conglomerates. *Geol. J.*, 44, 211-224 .
- Castellarin A. (1994) - Strutturazione eo- e mesoalpina dell'Appennino settentrionale attorno al "nodo ligure". *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. CROP 1-1°, 99-108.
- Castello B., Moro M., Chiarabba C., Di Bona M., Doumaz F., Selvaggi G. & Amato A. (2004) - Carta della sismicità in Italia. Centro Nazionale Terremoti - INGV.
- Chiarabba C., Jovane L. & Di Stefano R. (2005) - A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings. *Tectonophysics*, 395, 251-268.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 146 di 157</p>

- Chiesa S., Cortesogno L. & Forcella F. (1977) - Caratteri e distribuzione del metamorfismo alpino nel gruppo di Voltri e nelle zone limitrofe della Liguria Occidentale con particolare riferimento al metamorfismo di alta pressione. *Soc. It. Min. Petr.*, 33, 253-279.
- Chou L., Garrels R.M. & Wollast R. (1989) - Comparative study of the kinetics and mechanisms of dissolution of carbonate minerals. *Chem. Geol.* 78, 269-282.
- Cipolli F., Gambardella B., Marini L., Ottonello G. & Vetuschi Zuccolini M. (2004) - Geochemistry of high-pH waters from serpentinites of the Gruppo di Voltri (Genova, Italy) and reaction path modeling of CO<sub>2</sub> sequestration in serpentinite aquifers. *Applied Geochemistry*, 19, 787-802.
- Cognolato A. (2012) - Rapporti tra deformazione e sedimentazione in contesti episuturali e perisuturali: esempi e applicazioni in geologia del petrolio. Tesi di laurea, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze, 164 pp.
- Compagnoni R., Ferraris G. & Fiora L. (1983) - Balangeroite, a new fibrous silicate related to gageite from Balangero, Italy. *Am. Mineral.*, 68, 214-219.
- Compagnoni R., Ferraris G. & Mellini M. (1985) - Carlosturanite, a new asbestiform rock forming silicate from Val Varaita, Italy. *Am. Mineral.*, 70, 767-772.
- Compagnoni R. & Groppo C. (2006) - Gli amianti in Val di Susa e le rocce che li contengono. *Rend. Soc. Geol. It.*, 3, 21-28.
- Cortellesi D., Fanucci F., Giuffrè A., Tedeschi D. & Vignolo A. (1979) - Dati preliminari sulla neo-tettonica del foglio 82 "Genova". *Contr. Carta Neotettonica d'Italia*, Pubbl. n° 251 del P. F. Geodinamica, 251, 579-595.
- Cortesogno L. & Forcella F. (1978) - Il Massiccio Cristallino di Arenzano, frammento di crosta continentale Brianzonese al margine meridionale del Gruppo di Voltri. *Rend. Soc. It. Min. Petr.*, 34, 2, 307-350.
- Cortesogno L. & Haccard D. (1979) - Présentation des principales unités constitutive de la zone de Sestri-Voltaggio et de leur relation structurales. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, XXI, 7, 379-388.
- Cortesogno L., Grand Jacquet C. & Haccard D. (1979) - Contribution a l'étude de la liaison Alpes-Apennines; évolution tectono-métamorphique des principaux ensembles ophiolitiques de Ligurie (Apennines du Nord). *Ophioliti*, 4, 157-171.
- Cortesogno L., Di Battistini G., Lucchetti G. & Venturelli G. (1979) - Metamorphic assemblages of two high pressure-low temperature ophiolitic units of central-western Liguria: mineralogical and chemical features and tectonic significance. *Ophioliti*, 4 (2), 121-156.
- Cortesogno L. & Haccard D. (1984) - Note illustrative alla carta geologica della zona Sestri-Voltaggio. *Mem. Soc. Geol. It.* 28, 115-150.
- Crispini L. (1995) - Analisi strutturale dei metasedimenti del gruppo di Voltri e della zona Sestri-Voltaggio: implicazioni nell'evoluzione tettonica e geodinamica alpina. Tesi di dottorato, consorzio GE-TO-CA, 129 pp.
- Crispini L. & Capponi G. (2001) - Tectonic evolution of the Voltri Group and Sestri Voltaggio Zone (southern limit of the NW Alps): a review. *Ophioliti*, 26(2a), 161-164.
- D'Antonio D., Gosso G., Messiga B., Scambelluri M. & Tallone S. (1984) - Analisi strutturale e ricostruzione litostratigrafica al margine sud-occidentale del Massiccio di Voltri, zona Piemontese-Ligure, Alpi Liguri. *Mem. Soc. Geol. It.* 28, 7, 447-460.
- 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*, Bologna, III, 56/1, 79-95.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 315"> <tr> <td>Foglio 147 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 147 di 157
Foglio 147 di 157		

- 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.
- De Luca D., Masciocco L., Ricci P. & Zuppi G.M. (1987) - Studio Idrogeologico della Pianura Alessandrina.
- 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.
- Di Biase D. & Pandolfi L. (1999a) - I conglomerati della Val Borbera (Bacino Terziario Piemontese) e relative implicazioni per l'esumazione di unità alpine di alta pressione/bassa temperatura. Proceedings of the annual meeting of the Italian Sedimentology Group, CNR, Rimini, 3-6/10/99. Giornale di Geologia, 3a, 16-19.
- Di Biase D. & Pandolfi L. (1999b) - L'evoluzione composizionale dei conglomerati della Val Borbera (Bacino Terziario Piemontese). Evidenze e vincoli per l'esumazione di unità a metamorfismo HP/LT nelle Alpi Occidentali. Congresso FIST, 20-23/9/1999, Abstract Volume, 286-288.
- De Stefanis A., Marini M. & Terranova R. (1971) - La frana di Molinetti nell'alta Val Polcevera e i dissesti geomorfologici e idrogeologici da essa provocati, con riferimento alle alluvioni del 7-8 Ott. 1970. Atti 2° Conv. Naz. St. Probl. Geol. Appl., A.N.G.I., 17.
- Ellero A. (2000) - Assetto strutturale delle Unità Liguri Interne della Valpolcevera e dell'Alta Valle Scrivia (Appennino settentrionale). Boll. Soc. Geol. It. 119, 11, 321-338.
- Ellero A., Leoni L., Marroni M. & Sartori F. (2001) - Internal Liguride units from Central Liguria, Italy: new constraints to the tectonic setting from white mica and chlorite studies. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 81, 39-53.
- 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: Polino R. & Sacchi R. (Eds.) 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.
- Fanucci F. & Tedeschi D. (1979) - Linee di costa e terrazzi marini del foglio 82 (Genova). Contr. alla Carta Neotettonica d'Italia, Pubbl. n° 513 del P. F. Geodinamica, 513, 387-396.
- Fanucci F., Tedeschi D. & Vignolo A. (1979) - Nuovi dati di neotettonica rilevati sul foglio 82 (Genova). Contr. alla Carta Neotettonica d'Italia, Pubbl. n° 356 del P. F. Geodinamica, 356, 1293-1303.
- 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 315"> <tr> <td>Foglio 148 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 148 di 157
Foglio 148 di 157		

- Galli M., Messiga B. & Piccardo G.B. (1978) - Caractères pétrographiques du massif cristallin de Savone et du groupe de Voltri. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 21, 7, 389-400.
- 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. It. Paleont. Strat.*, 74, 865-967.
- Gelati R. & Pasquaré G. (1970) - Interpretazione geologica del limite Alpi-Appennino in Liguria. *Riv. It. Paleont. Strat.*, 76, 513-578.
- Gelati R. & Gnaccolini M. (1982) - Evoluzione tettonico-sedimentaria della zona limite tra Alpi e Appennini tra l'inizio dell'Oligocene ed il Miocene medio. *Mem. Soc. Geol. It.*, 24, 4, 183-191.
- Gelati R. & Gnaccolini M. (1988) - Sequenze deposizionali in un bacino episuturale, nella zona di raccordo tra Alpi ed Appennino settentrionale. *Atti Tic. Sc. Terra*, 31, 3, 340-350.
- 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.
- Giacomini F., Boerio V., Polattini S., Tiepolo M., Tribuzio R. & Zanetti A. (2010) - Evaluating asbestos fibre concentration in metaophiolites: a case study from the Voltri Massif and Sestri-Voltaggio Zone (Liguria, NW Italy). *Environmental Earth Sciences*, v. 61, n. 8, pp. 1621-1639.
- Gianfagna A. & Oberti R. (2001) - Fluoro-edenite from Biancavilla (Catania, Sicily, Italy): crystal chemistry of a new amphibole end-member. *Amer. Min.*, 86, 1489-1493.
- Gianfagna A., Ballirano P., Bellatreccia F., Bruni B., Paoletti L. & Oberti R. (2003) - Characterisation of amphibole fibres linked to mesothelioma in the area of Biancavilla, Eastern Sicily, Italy. *Mineralogical Magazine*, 67, 1221-1229.
- Giammarino (1984) - Evoluzione delle Alpi marittime liguri e relazioni con bacino terziario del Piemonte ed il Mar Ligure. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem., Serie A*, 91, 155-179.
- 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, Jacquín T. & Vail P. (Eds.), *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins*. *SEPM, Spec. Publ.* 60, 233-244.
- Groppo C. (2005) - Rischio amianto nelle Alpi occidentali. Cartografia, petrografia, quantificazione dei minerali fibrosi nelle serpentiniti asbestifere della Zona Piemontese. Applicazione alle valli di Susa e di Lanzo. Tesi di dottorato binazionale, Università degli Studi di Torino, Dip. di Scienze Mineralogiche e Petrologiche/Université J. Fourier, Grenoble, Laboratoire de Géodynamique des Chaînes Alpines, 179 pp.
- Groppo C. & Compagnoni R. (2003) - Polyphase metamorphic veins in the antigorite serpentinite of the Ultramafic Lanzo Massif, Western Italian Alps. *Journées Thématiques "Serpentines" (SGF)*, Paris, 20-21/11/2003, Abstracts Vol., 19.
- Groppo C. & Compagnoni R. (2007) - Ubiquitous fibrous antigorite veins from the Lanzo Ultramafic Massif, Internal Western Alps (Italy): characterisation and genetic conditions. *Per. Mineral., SPECIAL ISSUE: From Petrogenesis to Orogenesis*, 76: 169-181.
- Haccard D. (1971) - Nouvelles données stratigraphiques sur la zone de Sestri-Voltaggio (Genovesato, Italie). *C.R. Acad. Sc. Paris*, 272, 1063-1066.



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 149 di 157</p>

- Haccard D. & Thieuloy Y.P. (1973) - Presence d'Ammonites de l'Albien dans les flyschs de Busalla de la zone de Sestri-Voltaggio (région de Genes). C. R. Acad. Sc. Paris.
- Haccard D. (1976) - Carte géologique au 1/50000 de Sestri-Voltaggio. Pubblicazione CNR, Pisa.
- Haccard D. & Lorenz C. R. (1979) - Les déformations de l'Eocène supérieur au Stampien de la terminaison septentrionale de la zone Sestri-Voltaggio. Bull. Soc. Géol. Fr. 7, 401-413.
- 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.
- Hoogerduijn Strating E.H., Van Wamel W.A. & Vissers R.L.M. (1991) - Some constraints on the kinematics of the Tertiary Piemonte Basin (northwest Italy). Tectonophysics, 198, 47-51.
- Iaccarino S.M., Cita M.B., Gaboardi S. & Gruppini G.M. (1999) - High resolution biostratigraphy at the Miocene/Pliocene boundary in Holes 974B and 975B, Western Mediterranean. Proceedings of the ODP, Scientific Results, 161, 197-221.
- Ibbeken H. (1963) - Su un affioramento di porfido quarzifero permiano nella Zona Sestri-Voltaggio (Alessandria). Boll. Soc. Geol. It. 82, 173-178.
- Ibbeken H., Marini M., Schleyer R. & Tongiorgi M. (1984) - Nuovi dati su elementi ad affinità Brianzonese Ligure interna nella zona Sestri-Voltaggio. Boll. Soc. Geol. It. 28, 1, 481-486.
- Jiao Y. & Hudson, J.A. (1995) - The Fully-Coupled Model for Rock Engineering Systems. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 32, 5, 491-512.
- 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.
- Lorenz C. (1968) - Contribution à l'étude stratigraphique de l'oligocène et du miocène inférieur des confins ligure-piemontais (Italie). Atti Ist. Geol. Univ. Genova, 6 (2), 273-889.
- Lorenz C. & Rebora G. (1982) - Les niveaux oligocènes à lignite de Voltaggio (province d'Alessandria, Italie). Boll. Soc. Geol. It. 101, 7, 219-232.
- Loser M. (1998) - Valorisation des ressources en eaux drainées par les tunnels. Tesi post-dottorato, Università La Sapienza, Roma.
- Louis C. (1969) - A study of groundwater flow in jointed rock and its influence on the stability of rock masses. Imperial College Rock Mechanics Research Report n. 10, 90 pp.
- Lualdi A. (1991) - Il Trias Superiore-Lias della zona Sestri-Voltaggio (Unità di M. Gazzo-Isoverde). La sezione di Lencisa - M. dei Torbi. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, 34, 121-132.
- Maillet E. (1905) - Essais d'hydraulique souterraine et fluviale. Librairie Scientifique A. Hermann, Paris.
- Marechal J.C. (1998) - Les circulations d'eau les massifs cristallins alpins et relations avec les ouvrages. Thèse de Doctorat, Université de Lausanne.
- Marechal J.C. & Perrochet P. (2003) - New analytical solution for the study of hydraulic interaction between Alpine tunnels and groundwater. Bull. Soc. Géol. Fr., 174 (5), 441-448.
- Marini L. & Ottonello G. (eds.) (1997) - Atlante degli acquiferi del Comune di Genova. Volume I: Alta Val Bisagno ed Alta Val Polcevera. Pacini Editore, Pisa, 42 pp.
- Marini L., Canepa M., Cipolli F., Ottonello G. & Vetuschi Zuccolini M. (2001) - Use of stream sediment chemistry to predict trace element chemistry of groundwater. A case study from the Bisagno valley (Genoa, Italy). Journal of Hydrology, 241, 194-220.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 150 di 157</p>

- Marini L. & Ottonello G. (editori) (2002) - Atlante degli acquiferi della Liguria. Volume III: Le acque dei complessi ofiolitici (bacini: Arrestra, Branega, Cassinelle, Cerusa, Erro, Gorzente, Leira, Lemme, Lerone, Orba, Piota, Polcevera, Rumaro, Sansobbia, Stura, Teiro, Varenna, Visone, Pacini Editore, Pisa, 102 pp. (CD con documenti cartografici allegati).
- Marini L., Ottonello G. & Vetuschi Zuccolini M. (2003) - The "Archivio Geochimico Nazionale" and its cartographic products: a general overview. In: Ottonello G. and Serva L. (eds), Geochemical baselines of Italy, Pacini Industrie Grafiche, Pisa, 7-30.
- Marini M. (1976) - Serie ofiolitiche e assetto strutturale della Val Polcevera. *Ofioliti*, 1, 407-416.
- Marini M. (1977) - Carta geologica del versante Ligure della zona Sestri-Voltaggio. *Ofioliti*, 2, 333-346.
- Marini M. (1979) - Prime osservazioni sull'analisi strutturale della zona Sestri-Voltaggio. *Ofioliti*, 4, 331-350.
- Marini M. (1982) - Distinzione di tre diverse serie-tipo nell'unità carbonatica della zona Sestri-Voltaggio (Appennino Settentrionale). *Boll. Soc. Geol. It.* 101, 5, 17-26.
- Marini M. (1982) - Fasi deformative in Liguria e loro possibili riflessi nell'interpretazione geodinamica del passaggio Alpi-Appennino. *Mem. Soc. Geol. It.* 24, 4, 277-287.
- Marini M. (1984) - Il quadro deformativo del settore Ligure della zona Sestri-Voltaggio con particolare riguardo alle strutture a grande scala. *Mem. Soc. Geol. It.* 28, 519-535.
- Marini M. (1984) - Le deformazioni fragili del Pliocene Ligure. Implicazioni nella geodinamica alpina. *Mem. Soc. Geol. It.* 29, 10, 157-169.
- Marini M. (1989) - Litostratigrafia e assetto strutturale della Valpolcevera (Appennino Ligure): revisione, nuovi dati e nuove prospettive. *Giornale di Geologia*, 51, 14.
- 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.
- Messiga B. (1978) - Lithologie primaire et évolution métamorphique des metabasites de la nappe de Montenotte. 30-32
- Messiga B. (1984) - Il Metamorfismo Alpino nelle Alpi Liguri: alcuni aspetti petrologici. *Mem. Soc. Geol. It.* 28, 11, 151-179.
- Miletto M. & Polino R. (1992) - A gravity model of the crust beneath the Tertiary Piemonte Basin (northwestern Italy). *Tectonophysics*, 212, 243-256.
- 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.
- Passeri L. (1984) - Le successioni Triassico-Giurassiche dell'Appennino Settentrionale e delle Alpi Liguri nel quadro dell'evoluzione preoceanica della Tetide Occidentale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 28, 3, 353-369.
- Piana F., Tallone S., Cavagna S. & Conti A. (1997) - Tectonic coupling of alpine metamorphic rocks of the Ligurian Alps and Oligocene - Miocene sediments of the Alto Monferrato domain, NW Italy. Evidence for Neogene fault-related methane bearing fluids. *Journal of Earth Science*.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 318"> <tr> <td>Foglio 151 di 157</td> </tr> </table>	Foglio 151 di 157
Foglio 151 di 157		

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.

Piana F., d'Atri A. & Orione P. (1997) - The Visone Formation, a marker of the Early Miocene tectonics in the Alto Monferrato Domain (Tertiary Piemonte Basin, NW Italy). *Mem. Sci. Geol.*, 49, 145-162.

Piana F., Tallone S., Cavagna S. & Conti A. (2006) - Thrusting and faulting in metamorphic and sedimentary units of Ligurian Alps: an example of integrated field work and geochemical analyses. *Int. Journ. Earth Sci.*, 95, 413-430.

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.

Pipino G. (2005) – Liguria mineraria. *Miscellanea di giacimentologia, mineralogia e storia estrattiva*. Tipografia Pesce, Ovada. 265 pp.

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.

Polino R., Mosca P., Rogledi S. & Rossi M. (2007) - The Alps–Apennine junction: a patchwork of basement units controlling the evolution of sedimentary basins. *Rend. Soc. Geol. It., Nuova Serie*, 5, 205-206.

Pozzi R. & Francani V. (1968) - Lineamenti idrogeologici della Pianura di Alessandria. *Geol. Tecn.*, 15, 4, 131-143.

Principi G. & Treves B. (1984) - Il sistema corso-appenninico come prisma d'accrezione. *Riflessi sul problema generale del limite Alpi-Appennini*. *Mem. Soc. Geol. It.* 28, 10, 549-576.

Pagos, A. (2007) – Notizie sulle cave di gesso di Isoverde.

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.

Quaranta F., Piazza M. & Vannucci G. (2007) - Climatic and tectonic control on the distribution of the Oligocene reefs of Tertiary Piedmont Basin (NW Italy). *Rend. Soc. Geol. It., Nuova Serie*, 5, 207-208.

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.

Reposi E. (1919) - Ritrovamenti di fossili nella dolomia di M. Gazzo presso Sestri Ponente. *Rend. R. Acc. Lincei*. 28, 378-382.

Rimstidt J.D., Balog A. & Webb J. (1998) - Distribution of trace elements between carbonate minerals and aqueous solutions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62, 1851-1863.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00 <div style="float: right;">Foglio 152 di 157</div>

- Rossi M., Mosca P., Polino R., Rogledi S. & Biffi U. (2009) – New outcrop and subsurface data in the Tertiary Piedmont basin (NW-Italy): unconformity-bounded stratigraphic units and their relationships with basin-modification phases. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 115, 3, 305-335.
- 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.
- Schneider T.R. (1997) – Rapports géologiques sur la galerie Alp Transit Gothard. Inédits.
- Schumacher M.E. & Laubscher, H. P. (1996) - 3D crustal architecture of the Alps-Apennines join - a new view on seismic data. *Tectonophysics*, 260, 349-363.
- Sibson R.H. (1977) – Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc. Lond.* 133, 191-213.
- Sturani C. (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.
- 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.
- 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.
- Turci F. (2005) - Rischio amianto nelle Alpi occidentali. Caratteristiche di superficie di minerali asbestiformi naturali ed inattivati per via chimica o biotecnologica e messa a punto di test per l'individuazione della potenziale patogenicità di varie sorgenti di fibre. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Torino, Dip. di Chimica Inorganica, Fisica e dei Materiali , 226 pp.
- 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.
- Sanfilippo N. (1950) – Le grotte della Provincia di Genova e la loro fauna. Memoria n. 2 del Comitato Scientifico Centrale del C.A.I.
- Vezzolla G. (2006) – Parrocchia di Isoverde. Esecuzione di indagini geognostiche e prospezioni geofisiche per l'individuazione di cavità e la sistemazione del versante in prossimità della chiesa di Isoverde. SGG s.n.c. di Cairo Montenotte (SV), relazione tecnica, n° rif. 13/05/RL/00.



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



GE00-IG51-00-E-CV-RO-GE00-0X-002-A00

Foglio  
153 di  
157

## ALLEGATO 1 – Elenco sondaggi ESEGUITI



SIGLA SONDAGGIO	Lungh. (m)	PK	Quota cavo da Piano campagna (m)
L2-S1	30		
L2-S2	30		
L2-S3	30		
L2-S4	580	15+000 B.D.	560-570
L2-S4BIS (ex L2-S4)	580	14+821 B.D.	556-566
L2-S5	300	1+100	F.Castagnola
L2-S6	180	0+723	Pozzo F. castagnola
L2-CR5	350	10+300 B.D. (inclinato)	330-340
L2-CR1	250	orizzontale da cava	F. Cravasco
L2-CR1 BIS	95	inclinato 10°	F. Cravasco
L2-CR2	65		F. Cravasco
L2-CR3	180	960	F. Cravasco
L2-CR4	290+65	10+135 B.D.	272-282
L2-S11	30		
L2-S12	30		
L2-S14	350	5+197 B.D.m - INCL. DI 10° VERSO EST	280-300
L2-S15	40		
L2-S15Bis	15		
L2-S15Ter	15		
L2-S15Quater	15		
L2-S16	30		
L2-S16 Bis	30		
L2-S17	40		
L2-S18	70		
L2-S19	135	8+950 B.P.	118-128
L2-S22	370	20+250 B.P.	300-310
L2-S23	150	fuori asse	
L2-S23 Bis	150	fuori asse	
L2-S23 Ter	150	fuori asse	
L2-S24	50		
L2-S24bis	10		
L2-S25	340	fuori asse	
L2-S26	240	23+280 B.P.	220-230
L2-S28	105	26+000	fuori asse
L2-S29	60		
L2-S30	235	17+730 B.P.	215-225
L2-S31	230		Pozzo F. Vallemme
L2-S32	40		
L2-S33	40		
L2-S33Bis	40		



SIGLA SONDAGGIO	Lungh. (m)	PK	Quota cavo da Piano campagna (m)
L2-S34	40		
L2-S34Bis	40		
L2-S35	40		
L2-S35 Bis	40		
L2-S36	40		
L2-S36 Bis	40		
L2-S37	35		
L2-S38	30		
L2-S39	30		
L2-S40	30		
L2-S41	30		
L2-S42	30		
L2-S43	30		
L2-S44	30		
L2-S45	30		
L2-S46	30		
L2-S47	30		
L2-S48	30		
L2-S50	30		
L2-S52	25		
L2-S53	30		
L2-S56	30		
L2-S57	30		
L2_A-S1	500	13+300 B.D.	440-450
L2_A-S3	510	16+600	465-485
L2_A-S4	200	18+000	170-180
L2_A-S4 Bis	190	18+000	170-180
L3-S1	40		
L3-S2	40		
L3-S3	40		
L3-S4	135	29+958	115-125
L3-S5	55		
L3-S5Bis	50		
L3-S6	35		
L3-S7	40		
L3-S7Bis	20		
L3-S8	145	30+880 B.P.	125-135
L3-S10	70		
L3-S11	45		
L3-S12	80		
L3-S13	55		

SIGLA SONDAGGIO	Lungh. (m)	PK	Quota cavo da Piano campagna (m)
L3-S14	70		
L3-S16	40		
L3-S18	300	18+700	257-267
L3-S18BIS	240	fuori asse	
L3-S19	70	in corso	in corso
L3-S20	30		
L3-S21	30		
L3-S22	30		
L3-S24	30		
L3-S25	30		
L3-S26	30		
L3-S27	30		
L3-S29	30		
L3-S29 Bis	30		
L3-S30	30		
L3-S31	30		
L3-S33	30		
L3-S34	30		
L3-S35	30		
L3-S36	30		
L3-S37	30		
L3-S38	30		
L3-S38 Bis	30		
L3-S40	30		
L3-S41	30		
L3-S42	30		
L3-S43	30		
L3-S44	30		
L3-S45	30		
L3-S46	30		
L3-S47	30		
L3-S47 Bis	30		
L3-S48	30		
L3-S49	30		
L3-S51	25		
L3-S52	25		
L3-S53	25		
L3-S54	25		
L3-S55	25		
L3-S56	25		
L3-S57	25		





SIGLA SONDAGGIO	Lungh. (m)	PK	Quota cavo da Piano campagna (m)
L3-S58	25		
L3-S60	25		
L3-S62	25		
L3-S63	25		
L3-S65	25		
L4-S10	30		
L4-S14	265	3+774	245-255
L4-S15	225	6+710	205-215
L4-S16	55		
L4-S17	560	12+500	540-550
L4-S18	150	3+420	135-145
L4-S25	30		
L4-S25Bis	30		
L4-S27	20		
L4-S28	20		
L4-S30	20		
L4-S36	20		
L4-S44	20		
L5-S3	100	1+680 Interconn. B.P.	77-87
L5-S4	370	0+401	Interconnessione
L5-S5	70	1+430 Interconn.B.D.-fuori asse di circa 170 m	50-60
L5-S8	220	Proiettato a circa 2+440 su B.P.	200-210
L5-S9	20		
L5-S10	20		
S-OV42-1	60		15-35
S-OV42-2	60		15-35
S-OV42-3	50		18-28
S-OV42-4	40		7-17